

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS  
INTERMEDIÁRIOS PARA INCORPORAÇÃO DA PERSPECTIVA  
DA ATIVIDADE NA CONCEPÇÃO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS**

DANIEL BRAATZ

SÃO CARLOS  
2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS  
INTERMEDIÁRIOS PARA INCORPORAÇÃO DA PERSPECTIVA  
DA ATIVIDADE NA CONCEPÇÃO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS**

DANIEL BRAATZ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial à obtenção de título de Doutor em Engenharia de Produção.

*Orientação: Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon*

SÃO CARLOS  
2015

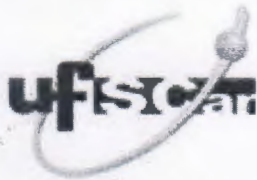
**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

B794ss Braatz, Daniel.  
Suportes de simulação como objetos intermediários para  
incorporação da perspectiva da atividade na concepção de  
situações produtivas / Daniel Braatz. -- São Carlos :  
UFSCar, 2015.  
247 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos,  
2015.

1. Ergonomia - Projetos. 2. Design. 3. Ergonomia –  
Condições de trabalho. 4. Simulação. I. Título.

CDD: 658.542 (20<sup>a</sup>)

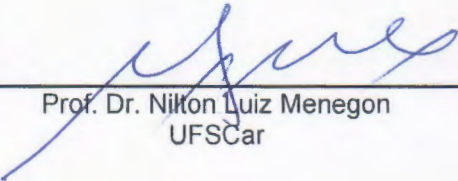


---

**Folha de Aprovação**

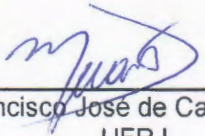
---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura, realizada em 03/07/2015:



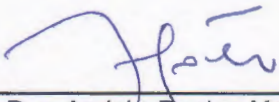
---

Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon  
UFSCar



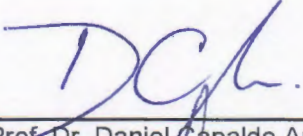
---

Prof. Dr. Francisco José de Castro Moura Duarte  
UFRJ



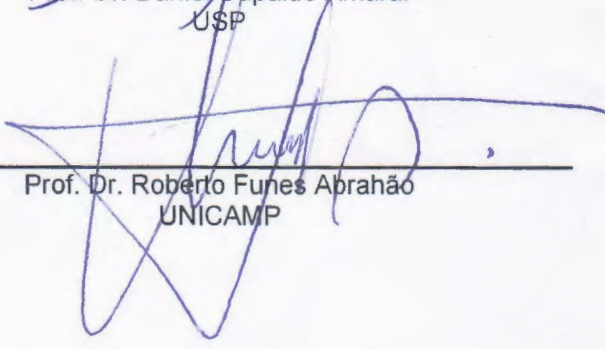
---

Profa. Dra. Andréa Regina Martins Fontes  
UFSCar



---

Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral  
USP



---

Prof. Dr. Roberto Funes Abrahão  
UNICAMP

*Dedico este trabalho à minha querida mãe, Maria da Glória (in memoriam), que sempre esteve ao meu lado e me amou incondicionalmente; e ao meu irmão, amigo e confidente Adriano Braatz (in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são genuínos e para muitos. Em especial, aos grandes amigos que presenciaram momentos especiais de minha vida e com os quais espero ter muitos outros. Arrisco-me a citar algumas das pessoas que considero fundamentais para o meu passado, presente e, espero sinceramente, futuro. É um risco, visto que certamente esquecerei de nomes que com toda justiça deveriam ser lembrados. A todas elas, o meu profundo e eterno agradecimento. Assim, agradeço:

Aos mestres e amigos Nilton Menegon, João Camarotto e Miguel Bueno (Mian), que confiaram em meu potencial e com os quais tenho orgulho de trabalhar. Aos colegas do SimuCAD de antigamente e aos atuais. Em especial ao Xan, pelos bons momentos compartilhados ao longo dos cinco anos de convivência na refinaria.

Aos professores presentes em minha banca: Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon, Prof. Dr. Francisco José de Castro Moura Duarte, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Regina Martins Fontes, Prof. Dr. Roberto Funes Abrahão e Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral, não somente pela significativa contribuição para o meu trabalho, mas pelos exemplos que são de profissionais e mestres.

Aos colegas do DEP, docentes e funcionários. Em especial, do PPGEP: valeu Robson e Natália!

Aos alunos da UFSCar que me incentivam e me fazem buscar melhorar sempre, como professor, orientador e amigo. Em especial à Bianca, Esdras e Rosane. ;)

À uma dupla mais que especial de amigos que me auxiliaram na elaboração e revisão deste trabalho: Andréa Fontes e Luiz Tonin. Espero que saibam o quanto reconheço e sou grato por tudo que fizeram.

À minha família, pelo amor, confiança e paciência durante os anos em que me dediquei a essa pesquisa. À minha esposa, Luciana, que me apoiou neste período. À minha filha, Maria Luiza, pela alegria que me proporciona e por ser fonte de motivação. Aos meus pais, Maria da Glória (*in memoriam*) e Hugo Mário, pelos estímulos constantes e por serem porto seguro nos momentos mais difíceis.

Enfim, a Deus, pela oportunidade de ter vivenciado com pessoas maravilhosas e pela força para conclusão desta etapa importante de minha vida.

*“Descobri que minha obsessão por cada coisa em seu lugar, cada assunto em seu tempo, cada palavra em seu estilo, não era o prêmio merecido de uma mente em ordem, mas, pelo contrário, todo um sistema de simulação inventado por mim para ocultar a desordem da minha natureza.”*

*(Gabriel García Marquez)*

## RESUMO

A ergonomia se preocupa em compreender o trabalho para transformá-lo. Para aumentar sua capacidade de intervenção efetiva esta disciplina se aproxima da engenharia, em especial da engenharia de produção, buscando métodos, técnicas e ferramentas que auxiliem no processo de concepção de situações produtivas. As áreas do conhecimento relacionadas ao design de engenharia e, em especial, do projeto do trabalho, podem colaborar substancialmente para a efetividade da incorporação da perspectiva da atividade (segundo conceito da ergonomia situada) neste processo. A partir de uma articulação teórica e conceitual, que serviu como referencial da pesquisa de campo em uma indústria de refino de petróleo, busca-se compreender como diferentes suportes de simulação foram determinantes para a incorporação das racionalidades, interesses, restrições e expectativas dos atores participantes do processo de concepção. Utilizou-se o conceito de objetos intermediários de concepção e suas posturas teóricas nos eixos “comissionário-mediador” e “fechado-aberto”. A pesquisa evidencia o papel que os suportes de simulação possuem na criação de situações de simulação ao permitirem processos divergentes (e inovadores) na ação projetual dos sistemas técnicos e processos convergentes para a condução do projeto. As proposições prescritivas (do mundo da prática, incluindo a perspectiva da atividade) e descritivas (do mundo teórico, contendo neste as ciências exatas e questões técnicas derivadas) também são incorporadas na articulação de forma a permitir um processo dialógico de concepção. A pesquisa apresenta recomendações para que o projeto de situações produtivas comporte uma concepção continuada e distribuída, tendo a simulação como instrumento orientado ao objeto (ação projetual do sistema técnico), ao outro (ação coordenada) e ao próprio sujeito (ao comportar espaço para seu desenvolvimento, aprendizado e transformação).

**Palavras-chave:** Design de Engenharia; Projeto do Trabalho; Ergonomia da Atividade; Projeto Participativo; Simulação; Objetos Intermediários.



## ABSTRACT

*Understanding the work in order to transform it is the concern of ergonomics. To expand its capacity of effective intervention this discipline gets closer to the field of engineering, especially the production engineering, searching for methods, techniques and tools, which assist it in the design process of productive facilities. The knowledge domains related to the engineering design and, specifically, the workspace design might be of a substantial contribution to the effectiveness of the incorporation of the activity's perspective (according to the concept of situated ergonomics) in this process. From a theoretical and conceptual articulation, which laid the foundation to the field research in an oil refining company, is sought the comprehension of how the different simulation supports were determinant to the incorporation of rationale, interests, constraints and expectations from the actors participating in the conception process. To achieve this comprehension is used the concept of intermediary objects of conception and their theoretical stances in the axis "commissioning-mediator" and "closed-open". The research makes evident the role the simulation supports play in the creation of simulation situations allowing divergent (and innovative) processes in the action of designing technical systems and convergent processes in the conduction of the project. The prescriptive propositions (from the practical world, including the activity's perspective) and descriptive (from the theoretical world, containing in it the exact sciences and related technical questions) are also incorporated in the articulation, allowing a dialogic process of conception. The research presents recommendations which enable the design of productive facilities to entail an ongoing and distributed conception, having the simulation as an instrument oriented to the object (design action of the technical system), to the other (coordinated action) and to the self (when encompassing space to its development, learning and transformation).*

**Keywords:** *Engineering Design; Work Design; Participatory Design; Ergonomics; Simulation; Intermediary Objects.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Interpretação do termo <i>designing</i>	28
<b>Figura 2</b> Visão sistêmica da Design Science	30
<b>Figura 3</b> Estrutura da Design Science	31
<b>Figura 4</b> Elementos do PDS ( <i>Product Design Specification</i> )	33
<b>Figura 5</b> Modelo <i>Business Design Activity</i>	34
<b>Figura 6</b> Categorização dos objetos intermediários	62
<b>Figura 7</b> Articulação de abordagens da ergonomia em projetos de concepção	69
<b>Figura 8</b> Processo de concepção instrumentalizado por suportes e situações de simulação	77
<b>Figura 9</b> Momentos possíveis de entrada da ergonomia e de sua forma de atuar	80
<b>Figura 10</b> Capacidade de atuação da ergonomia em processos de concepção	81
<b>Figura 11</b> Identificação de tanques na área de Transferência e Estocagem	107
<b>Figura 12</b> Espaço físico de alguns acessos no parque de tanques	109
<b>Figura 13</b> Exemplo de deslocamento a pé realizado por operador	111
<b>Figura 14</b> Vista em perspectiva do CAD 3D de projeto conceitual inicial de guarda-corpos	113
<b>Figura 15</b> Vista em perspectiva e lateral do CAD 3D ilustrando o projeto conceitual inicial	114
<b>Figura 16</b> Vista em perspectiva e corte do CAD 3D ilustrando o segundo projeto conceitual	116
<b>Figura 17</b> Vista em perspectiva do CAD 3D ilustrando o detalhe do acesso ao talude	118
<b>Figura 18</b> <i>Storyboard</i> de simulação utilizando <i>Game Engine</i>	121
<b>Figura 19</b> <i>Storyboard</i> da simulação humana dinâmica de acesso ao parque de tanques	122
<b>Figura 20</b> Exemplo de projeto básico em CAD 2D	122
<b>Figura 21</b> Validação durante a implantação dos acessos com escadas metálicas	123
<b>Figura 22</b> Validação após implantação definitiva de plataforma metálica	123
<b>Figura 23</b> Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 1	126
<b>Figura 24</b> Espaço físico do Laboratório de Ultrassom	128
<b>Figura 25</b> Massa plástica utilizada no manuseio dos corpos de prova	130
<b>Figura 26</b> Suportes artesanais desenvolvidos pelos próprios trabalhadores	131
<b>Figura 27</b> Modelagem CAD 3D da 1ª proposta	133
<b>Figura 28</b> <i>Storyboard</i> de simulação humana dinâmica da 1ª proposta conceitual	135
<b>Figura 29</b> Modelagem em CAD 3D do suporte de mesa e da estrutura de armazenamento	137
<b>Figura 30</b> Modelagem e simulação humana da 2ª proposta conceitual	139
<b>Figura 31</b> Imagens do 1º Protótipo Físico do suporte	143
<b>Figura 32</b> Imagens do 2º Protótipo Físico do suporte	145
<b>Figura 33</b> Imagens da simulação com 2º Protótipo Físico do suporte e desgaste sofrido	146
<b>Figura 34</b> Imagens da 3ª Proposta conceitual: estrutura de armazenamento	147
<b>Figura 35</b> Imagens da 4ª Proposta conceitual: suporte tipo palete para tubos	150
<b>Figura 36</b> Estudo de espaços e interferências a partir de planta CAD 2D	151
<b>Figura 37</b> Imagens da 4ª Proposta conceitual: suporte e estrutura porta-paleta	152
<b>Figura 38</b> Imagens do 3º Protótipo Físico: Suporte tipo Pallet para Tubos	154
<b>Figura 39</b> Imagens do 4º. Protótipo Físico: Suporte tipo Pallet para Chapas	155
<b>Figura 40</b> Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 2	158

<b>Figura 41</b> Visão da Unidade de Coque	160
<b>Figura 42</b> Planta baixa em CAD 2D da sala de descoqueamento	161
<b>Figura 43</b> Alternância de posturas em pé observadas durante a análise da atividade	163
<b>Figura 44</b> Banqueta de madeira e simulações de uso	164
<b>Figura 45</b> Console de operações para descoqueamento e anotações feitas à mão	166
<b>Figura 46</b> Console de descoqueamento apresentado em catálogo de fornecedor	167
<b>Figura 47</b> Estudo do interior dos consoles visando liberação de espaço para as pernas	168
<b>Figura 48</b> Modelagem CAD 3D da modificação física do console	169
<b>Figura 49</b> Simulação humana estática do console com MHD masculino percentil 95	170
<b>Figura 50</b> Simulação humana estática do console com MHD feminino percentil 05	171
<b>Figura 51</b> Proposta conceitual desenvolvida para interface do console	174
<b>Figura 52</b> Protótipo virtual da interface do console	174
<b>Figura 53</b> <i>Storyboard</i> de simulação humana dinâmica da tampa frontal do console	175
<b>Figura 54</b> Protótipo físico em papel da interface do console	176
<b>Figura 55</b> Protótipo físico em acrílico da interface do console	177
<b>Figura 56</b> Protótipos físicos da interface e da tampa frontal do console e simulação de uso	179
<b>Figura 57</b> Modelos de assentos indicados para testes junto aos operadores	180
<b>Figura 58</b> Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 3	183
<b>Figura 59</b> Projeto apresentado em PDMS pela Empreiteira	189
<b>Figura 60</b> Simulações humana para análise da situação proposta em <i>Design Review</i>	191
<b>Figura 61</b> Modelagem em CAD 3D da Plataforma de Abastecimento proposta	194
<b>Figura 62</b> Simulações humana para análise da situação proposta pela equipe de ergonomia	195
<b>Figura 63</b> Alteração proposta com suporte das simulações realizadas	196
<b>Figura 64</b> <i>Storyboard</i> de simulação dinâmica com suporte do software Jack	197
<b>Figura 65</b> Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 4	199
<b>Figura 66</b> Caracterização dos suportes em termos de capacidade e complexidade	201
<b>Figura 67</b> Caracterização dos suportes em termos de amplitude e nível de análise	202
<b>Figura 68</b> Exemplo de esboço usado em discussão inicial de solução conceitual	204
<b>Figura 69</b> Ilustração de projeto conceitual em CAD 2D	206
<b>Figura 70</b> Renderização de ambiente virtual criada no software 3DStudioMAX (Autodesk)	208
<b>Figura 71</b> Apresentação de projeto conceitual com uso de simulação humana digital	210
<b>Figura 72</b> Cenário virtual utilizando <i>Game Engine</i>	212
<b>Figura 73</b> Exemplo de protótipo feito em impressora 3D	215
<b>Figura 74</b> Articulação dos tipos de objetos intermediários no processo de concepção	229
<b>Figura 75</b> Exemplo de aplicação de diversos objetos intermediários de forma simultânea	235

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> Características desejáveis para o projetista ideal no Design de Engenharia	29
<b>Quadro 2</b> Categorização de objetos de fronteira em ergonomia participativa	58
<b>Quadro 3</b> Sequência típica das intervenções ergonômicas por demandas	94
<b>Quadro 4</b> Critérios para caracterização de demandas de ergonomia	95
<b>Quadro 5</b> Principais suportes de simulação aplicados nos processos de concepção	98
<b>Quadro 6</b> Casos selecionados para detalhamento da pesquisa	99
<b>Quadro 7</b> Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 1	110
<b>Quadro 8</b> Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 2	132
<b>Quadro 9</b> Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 3	162

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>AAF</b>	Abordagem da Atividade Futura
<b>AET</b>	Análise Ergonômica do Trabalho
<b>ASME</b>	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
<b>ECP</b>	<i>Ergonomics Check-Point</i>
<b>EM</b>	Gerência de Novos Empreendimentos
<b>EMT</b>	Estudo de Movimentos e de Tempos
<b>EN</b>	Gerência de Engenharia
<b>EWA</b>	<i>Ergonomic Workplace Analysis</i>
<b>FDT</b>	Ficha de Descrição da Tarefa
<b>GT</b>	Grupo de Trabalho
<b>IE</b>	Gerência de Implantação de Empreendimentos
<b>MHD</b>	Manequim Humano Digital
<b>OCT</b>	Organização Científica do Trabalho
<b>PDS</b>	<i>Product Design Especification</i>
<b>RTA</b>	Relatório de Tratamento de Anomalia
<b>SAC</b>	Situações de Ação Características
<b>SMS</b>	Gerência de Segurança, Meio Ambiente e Saúde
<b>STP</b>	Sistema Toyota de Produção

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ESTRUTURA DA TESE	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAIS CONCEITUAIS EM PROJETO, ERGONOMIA E SIMULAÇÃO</b>	<b>25</b>
2.1	ATIVIDADE DE PROJETO NA ENGENHARIA – DESIGN DE ENGENHARIA	25
2.2	PROJETO DO TRABALHO E OS MODELOS DE PRODUÇÃO	39
2.3	PROJETO PARTICIPATIVO DO TRABALHO	49
2.3.1	OBJETOS DE FRONTEIRA	55
2.3.2	OBJETOS INTERMEDIÁRIOS	58
2.3.3	OBJETOS INTERMEDIÁRIOS DE CONCEPÇÃO	60
2.4	ERGONOMIA DA ATIVIDADE E PROJETO DO TRABALHO	63
2.4.1	SIMULAÇÃO E A ATIVIDADE FUTURA	65
2.4.2	A ABORDAGEM DA ATIVIDADE FUTURA	66
2.4.3	ABORDAGEM DESCENDENTE, ASCENDENTE E POR SIMULAÇÃO	69
2.4.4	O CONCEITO DE SITUAÇÃO DE SIMULAÇÃO	70
2.4.5	SIMULAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE	72
2.4.6	ABORDAGEM DISTRIBUÍDA DA CONCEPÇÃO	73
2.5	REFERENCIAL TEÓRICO E A ARTICULAÇÃO CONCEITUAL METODOLÓGICA	74
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
<b>3</b>	<b>MÉTODO E PESQUISA DE CAMPO</b>	<b>85</b>
3.1	ANTECEDENTES	85
3.2	METODOLOGIA	89
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	92
3.4	CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA PESQUISA DE CAMPO	92
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DA PESQUISA DE CAMPO</b>	<b>105</b>
4.1	CASO 1: PLATAFORMAS E ESCADAS DE ACESSO – TRANSFERÊNCIA E ESTOCAGEM	107
4.1.1	ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO	108
4.1.2	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL	112
4.1.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS	123

<b>4.2</b>	<b>CASO 2: LABORATÓRIO DE ULTRASSOM – ENGENHARIA</b>	<b>127</b>
4.2.1	ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO	127
4.2.2	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL	132
4.2.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS	156
<b>4.3</b>	<b>CASO 3: SALA DE DESCOQUEAMENTO – PRODUÇÃO</b>	<b>159</b>
4.3.1	ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO	160
4.3.2	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL	166
4.3.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS	180
<b>4.4</b>	<b>CASO 4: PLATAFORMA DE ABASTECIMENTO – NOVOS EMPREENDIMENTOS</b>	<b>183</b>
4.4.1	ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO	186
4.4.2	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL	191
4.4.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS	197
<b>4.5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS CASOS APRESENTADOS</b>	<b>199</b>
<b>5</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO</b>	<b>203</b>
5.1	ESBOÇOS EM PAPEL	204
5.2	DESENHOS CAD 2D E 3D	205
5.3	RENDERIZAÇÃO E ANIMAÇÃO 3D	207
5.4	MODELAGEM E SIMULAÇÃO HUMANA DIGITAL	208
5.5	<i>GAME ENGINE</i>	211
5.6	PROTOTIPAGEM FÍSICA	212
5.7	OUTROS SUPORTES	215
5.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CONTRIBUIÇÕES DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO	217
<b>6</b>	<b>A CONCEPÇÃO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS INSTRUMENTADA PELA SIMULAÇÃO</b>	<b>219</b>
6.1	SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS DO TIPO COMISSIONÁRIO FECHADO	219
6.2	SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS DO TIPO COMISSIONÁRIO ABERTO	221
6.3	SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS DO TIPO MEDIADOR FECHADO	223
6.4	SUPORTES DE SIMULAÇÃO COMO OBJETOS DO TIPO MEDIADOR ABERTO	225
6.5	REFLEXÕES E RECOMENDAÇÕES PARA A INSTRUMENTAÇÃO PELA SIMULAÇÃO	227
6.5.1	RECOMENDAÇÕES PARA O MOMENTO ANTERIOR AO PROCESSO DE CONCEPÇÃO	233
6.5.2	RECOMENDAÇÕES PARA OS MOMENTOS DURANTE O PROCESSO DE CONCEPÇÃO	233
6.5.3	RECOMENDAÇÕES PARA O MOMENTO POSTERIOR AO PROCESSO DE CONCEPÇÃO	236
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	237
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>241</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A observação de condições de trabalho desfavoráveis que não contemplam suficientemente o funcionamento dos seres humanos e a atividade dos trabalhadores faz com que os ergonomistas desejem se envolver nos processos de concepção das situações produtivas (BÉGUIN, 2007).

Tal percepção é admitida pelo fato da ergonomia não se contentar em produzir conhecimento sobre as situações de trabalho; ela visa a ação transformadora (DANIELLOU; BÉGUIN, 2007; DANIELLOU, 2007b; GUÉRIN et al., 2001). Esta ação ergonômica articula vários pontos de vista e mobiliza uma diversidade de atores, buscando influenciar as representações e as tomadas de decisão.

Assim, apenas o conhecimento das situações existentes não é suficiente para efetivar a participação da ergonomia nos processos de concepção (e reconcepção<sup>1</sup>), sendo necessária a aplicação de métodos que permitam antecipar o efeito da implantação dos novos meios de trabalho (DANIELLOU; BÉGUIN, 2007). Para Theureau e Jeffroy (1994), a compreensão da atividade<sup>2</sup> é o ponto de partida da obtenção de conhecimentos sobre o que existe (situação de referência analisada) para algo que não existe (situação em projeto). Desta forma, foi necessário que o ergonomista aprendesse como participar destes processos e desenvolvesse novos métodos para abordar a atividade futura e atuar em uma dupla construção: primeiramente de ordem social, visando inserir o ergonomista em relação aos demais participantes do processo de concepção e, em um momento posterior, uma construção técnica, de forma a inserir no processo elementos que abordem a atividade futura dos usuários do sistema (DANIELLOU, 2007b).

Tais construções não são simples e muitas pesquisas apontam para o desafio de compreender as necessidades e requisitos técnicos e sociais dos processos de concepção (BUCCIARELLI, 1984, 1988, 2002, 2003; PUGH, 1990;

---

<sup>1</sup> Considera-se, nesta tese, que o termo “concepção” inclui o termo “reconcepção”, isto é, usa-se a palavra concepção para novas situações e para adequação de situações existentes.

<sup>2</sup> O termo “atividade”, nesta pesquisa, remete ao conceito construído pela ergonomia situada, de origem franco-fônica, que a define como “aquilo que o trabalhador efetivamente realiza para dar conta de sua tarefa, isto é, daquilo que a organização prescreveu para ser realizado”.



FOLCHER, 2003; MENEGON, 2003; BÉGUIN, 2007; DANIELLOU, 2007b; DANIELLOU; BÉGUIN, 2007; FOLCHER; RABARDEL, 2007; BROBERG, 2008; SEIM; BROBERG, 2010; BROBERG; ANDERSEN; SEIM, 2011; CONCEIÇÃO, 2011; FONTES, 2011; HALL-ANDERSEN; BROBERG, 2014).

Neste sentido, Duarte (2002) referencia uma série de autores que chegam a uma constatação comum sobre os processos de projetos industriais: a subestimação das necessidades reais dos futuros trabalhadores para que estes trabalhem em condições de segurança e eficiência. O autor aponta dois fatores para isto: primeiramente, a complexidade de considerar o fator humano dentro do projeto; o segundo é que os projetistas consideram que sua representação do ambiente é idêntica à daqueles que irão trabalhar no local/posto em projeto.

Para Menegon (2003) a introdução de mudanças positivas no trabalho se dá, em primeira instância, pela construção de espaços de confrontação. Tal espaço, para o autor, é necessário para que haja questionamentos oriundos do ponto de vista da atividade. Braatz (2009) defende que os espaços de interação e confrontação podem ser criados a partir de situações de simulação e, para isso, faz uso de uma ferramenta computacional de modelagem e simulação humana digital.

Esta pesquisa, por sua vez, amplia o escopo da discussão para diferentes suportes de simulação (em um conceito mais amplo) que atuem não apenas como ferramenta para incorporação da perspectiva da atividade, mas tenham um papel ativo na construção social de espaços de interação, confrontação, deliberação e tomada de decisão, conforme expresso por Maline (1994) visto que favorece a expressão das necessidades dos diferentes participantes e serve de suporte a uma reflexão em curso.

O conceito de simulação é bastante amplo e com aplicações diversificadas, incluindo dentro da engenharia de produção e da ergonomia, áreas de interesse desta tese. Assim, para a presente pesquisa, utiliza-se a expressão “simulação” conforme o conceito de “situação de simulação” apresentado por Béguin e Weill-Fassina (2002) e não de forma específica relacionada a alguma técnica ou ferramenta. Para estes autores a simulação é uma situação de trocas e que participa de um processo de construção de significações, considerando perspectivas de

conhecer conteúdos (principalmente, ações e comportamentos), de transformação e de modo de expressão.

### 1.1. Problema de Pesquisa

Segundo Maline (1994), Duarte (2002) e Menegon (2003) o processo de projeto de situações produtivas contempla um confronto entre uma perspectiva descendente, diretamente relacionada à lógica da eficácia produtiva, e uma perspectiva ascendente, relacionada às disciplinas antropocêntricas. Para os autores a abordagem tradicional da engenharia se caracteriza como descendente (ou *top-down*) e privilegia as questões técnicas (tecnocêntrica); a ascendente (ou *bottom-up*) parte do princípio de que deve-se considerar as condições de realização das atividades de trabalho, existindo uma necessidade explícita de cooperação entre tais perspectivas.

Tal confronto de lógicas durante um processo de concepção pode ocorrer de diversas formas, utilizando diferentes métodos e ferramentas dentre os quais pode-se citar: a criação e aplicação de normas e padrões institucionais (WULFF; WESTGAARD; RASMUSSEN, 1999), questionários e listas de verificações e/ou recomendações (CONCEIÇÃO, 2011), espaços deliberativos para participação, como seminários ou *workshops* (MENEGON, 2003; BROBERG, 2008; FONTES, 2011), objetivando direta ou indiretamente a incorporação de questões técnicas e ergonômicas no projeto.

A partir desta constatação de possibilidades define-se a questão de pesquisa: **como a simulação pode ser um instrumento intermediador para a incorporação da atividade e de questões técnicas nos processos de projeto de situações produtivas?**

O questionamento feito segue no sentido de ampliar a utilização do conceito de simulação, tanto em termos metódicos quanto operacionais, de forma que este tenha um papel estruturante e seja um elemento que permita a interação e confrontação de diferentes lógicas e perspectivas presentes no planejamento e projeto dos ambientes físicos e organizacionais de trabalho.

A pesquisa busca responder esta questão a partir da reflexão de quatro casos ocorridos em uma intervenção ergonômica de uma refinaria com duração de cinco anos. A intervenção foi responsável por centenas de análises e projetos de diversas naturezas, nos quais, na grande maioria, houve a utilização de suportes de simulação.

## 1.2. Objetivos

Com base na questão de pesquisa o objetivo desta tese é **apresentar uma articulação na qual os suportes de simulação atuem como objetos intermediários nos processos de concepção incorporando a perspectiva da atividade, segundo o conceito da ergonomia situada.**

De forma específica, busca-se:

- Caracterizar as diferentes formas que os suportes de simulação podem se apresentar para atuarem como objetos de intermediação nos processos de projeto contextualizados por uma abordagem ergonômica; e,
- A partir da compreensão da evolução das teorias do design de engenharia, do atual paradigma do projeto do trabalho (contextualizados pelos modelos de produção), dos conceitos de projeto participativo e de reflexões teóricas da ergonomia situada sobre a transformação do trabalho, propor recomendações para a operacionalização destes conceitos em práticas nos processos de concepção de situações produtivas.

Tais objetivos são considerados relevantes visto que a simples existência e uso da simulação em processos de concepção não garante a obtenção de resultados satisfatórios nos termos da racionalidade produtiva e do bem-estar, saúde e segurança. Béguin (2007) aponta que a simulação deve articular em um mesmo movimento o projeto (aquilo que é desejável) e a condução do projeto (aquilo que é possível) e não deve se limitar à antecipar o funcionamento do homem (e de sua atividade) ou mesmo à conceber sistemas suficientemente abertos para que a concepção continue no uso; é necessário que a simulação colabore para o projeto de situações produtivas como um processo dialógico, de trocas, onde a atividade de uns é uma das fontes da atividade de outros e também um de seus recursos. À esta última

abordagem (complementar às demais) o autor denomina como concepção distribuída para o desenvolvimento dos artefatos e desenvolvimento da atividade (BÉGUIN, 2007).

A proposição de compreender o uso da simulação como instrumento de construção técnica e social é tratada nesta pesquisa na perspectiva instrumental de Folcher e Rabardel (2007). Os autores propõem três orientações principais da mediação pelos instrumentos: orientada ao objeto (visando o conhecimento e a ação sobre o mesmo), aos outros (mediação interpessoal para conhecer os outros e/ou agir em atividades coletivas) e, por fim, orientada ao próprio sujeito (para que ele se conheça, se gerencie e se transforme).

### **1.3. Justificativa**

Para Folcher (2003), as pesquisas e práticas da ergonomia nos processos de concepção ainda carecem de uma perspectiva instrumental e estruturada que demonstre a viabilidade e exequibilidade das teorias desenvolvidas, em especial ao que tange a incorporação da atividade durante a concepção dos sistemas de trabalho. A autora afirma que:

Um dos maiores desafios para o desenvolvimento de metodologias de concepção antropocentradas é o de encontrar soluções operacionais na convergência e fecundação recíproca dos processos de concepção no uso – pelos usuários – e dos processos de concepção para o uso – pelos projetistas institucionais (FOLCHER; RABARDEL, 2007, p.219).

De forma ampla, espera-se que este trabalho colabore para a criação de novas modalidades de organização e condução dos processos de concepção, algo considerado necessário por Béguin (2007) e Folcher e Rabardel (2007). De forma específica, busca-se que a pesquisa contribua para a criação de espaços de confrontação e desenvolvimento baseados na instrumentação de pesquisadores e profissionais via suportes de simulação. A pesquisa auxilia na compreensão de que, como apontou Daniellou (2002b, p. 33), “as simulações não se resumem em perguntar aos operadores presentes sua opinião sobre as plantas ou as maquetes que lhe são apresentadas” e afirma que são necessários métodos precisos para alcançar resultados efetivos desta participação.

Outro fator que contribui na justificativa desta pesquisa é a falta de reflexões sobre o uso sistemático e variado de diferentes suportes de simulação em ergonomia. Em especial, por ter como objeto de reflexão a experiência prática em uma empresa brasileira de processo contínuo de grande porte, durante um período de cinco anos, na qual foi possível, a partir de 207 demandas de naturezas distintas, selecionar aquelas que melhor representam a diversidade dos problemas e desafios encontrados em organizações produtivas similares. Considera-se que este trabalho possa contribuir para a pesquisa em ergonomia e, em particular, na relação desta com a engenharia de produção.

#### **1.4. Estrutura da Tese**

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciando por esta Introdução, que busca apresentar a temática abordada, os objetivos e as justificativas da pesquisa.

No Capítulo 2 a revisão da literatura busca fornecer os referenciais conceituais para atingir os objetivos propostos. Para isto o capítulo está dividido em cinco seções.

Na seção Atividade de Projeto na Engenharia – Design de Engenharia (2.1) busca-se mostrar alguns dos principais teóricos de design<sup>3</sup>, em especial design de engenharia<sup>4</sup>. Assim, parte-se da escola alemã de projeto, com uma perspectiva tecnicista e racionalista até autores que compreendam a atividade de design como um processo social.

A segunda seção concentra o foco de projeto de engenharia no campo específico de atuação do autor desta tese: projeto do trabalho (2.2); inclui-se também neste tópico uma breve reflexão sobre a relação deste com os modelos de produção.

---

<sup>3</sup> Nesta tese opta-se por privilegiar o termo em inglês “*design*” por considerar não haver uma tradução que reflita a diversidade das atividades envolvidas ao longo do seu processo; as opções mais comuns de tradução é “projeto”, que em português tem seu sentido mais ligado à “*project*” (empreendimento realizado de forma planejada, com recursos definidos) e “desenho”, termo que limita a compreensão do design à uma forma possível de representação gráfica do processo de concepção (algo mais próximo do “*drawing*”).

<sup>4</sup> A partir da definição do uso do termo design, tem-se que a expressão “*engineering design*” é traduzida nesta tese como “design de engenharia”.

A próxima seção aborda o conceito de projeto participativo do trabalho (2.3) e uma explanação sobre os conceitos de objeto intermediário e objeto de fronteira e uma revisão do uso da simulação como objeto de intermediação em processos de concepção.

Na seção Ergonomia da Atividade e Projeto (2.4) desenvolve-se com maior profundidade algumas questões já postas neste capítulo introdutório, em especial os desafios da ergonomia atuar nos processos de concepção, apontando a simulação como meio possível para auxiliar nesta perspectiva. Esta seção inclui Abordagens e Reflexões Teóricas em Ergonomia, Projeto e Simulação com o objetivo de apresentar abordagens e reflexões teóricas presentes no atual estado da arte em ergonomia e projeto.

Em Considerações acerca do Referencial Teórico (2.5) apresenta-se uma síntese da base conceitual, incluindo inter-relações e conclui com uma articulação metodológica apresentada por Menegon (2008) e desenvolvida em Braatz (2009) que servirá de ponto de partida teórico para a presente tese. Por fim, a seção de considerações finais do capítulo (2.6) sintetiza os principais referenciais teóricos e a compreensão destes para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 3 a metodologia de pesquisa é apresentada, assim como os antecedentes que permitiram o desenvolvimento deste trabalho e a pesquisa de campo. Inclui-se uma breve reflexão epistemológica para justificar a reflexão teórica proposta a partir de uma experiência prática.

O Capítulo 4 aborda os resultados e as análises dos dados levantados referentes à pesquisa de campo. Mais especificamente são apresentadas as quatro demandas definidas no capítulo de metodologia como recorte de análise desta pesquisa. A estrutura definida para exposição de cada caso auxilia na compreensão da relação existente entre as etapas de análise das situações e os processos de concepção. Dentro destes processos, os suportes de simulação aplicados são explicitados e discutidos em termos de objetivos definidos e resultados obtidos. Para cada demanda evidencia-se as contribuições dos suportes utilizados.

A partir da prática observada o Capítulo 5 explora as possíveis contribuições dos diversos suportes de simulação utilizados no campo desta pesquisa

e inclui alguns outros que, para o autor, possuem grande potencial de auxílio aos processos de concepção de situações de trabalho.

No Capítulo 6 é desenvolvida a discussão a partir das análises dos referenciais teóricos e da pesquisa de campo. As contribuições dos diferentes suportes de simulação abordados são sistematizadas e posteriormente discutidas em uma perspectiva de atuação destas ao longo dos processos de projeto. Por fim, é apresentada uma articulação e recomendações para que a simulação atue como elemento que integra técnica e atividade nos processos de projeto de situações produtivas.

## **2 REFERENCIAIS CONCEITUAIS EM PROJETO, ERGONOMIA E SIMULAÇÃO**

Busca-se neste capítulo a compreensão, pela perspectiva da engenharia, da ação de projetar (conceito de design de engenharia) e, em seguida, é feito um recorte para apresentar o projeto do trabalho, sua evolução histórica e relação com os modelos de produção. Neste contexto é introduzida a relação com a disciplina de ergonomia, suas bases conceituais, método de análise, abordagens e reflexões que articulam esta disciplina com as atividades projetuais pela perspectiva da atividade.

A simulação também é alvo de conceituação dentro das abordagens e reflexões apresentadas, visto que nesta pesquisa é considerada como uma das bases teóricas e práticas pela qual a ergonomia pode se articular para participar dos processos de projeto como objetos intermediários. Ao final, é apresentada uma síntese dos principais fundamentos abordados em uma articulação metodológica desenvolvida em trabalhos anteriores. Este referencial teórico servirá de base para compreensão da pesquisa de campo e posterior validação da articulação proposta.

### **2.1. Atividade de Projeto na Engenharia – Design de Engenharia**

A atividade de design, em um sentido amplo, é base conceitual e prática de diversas escolas e, conseqüentemente, profissões<sup>5</sup>. Entre elas pode-se destacar a Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Desenho Industrial, Design Gráfico, Artes Plásticas, entre outras. Como apresentado no capítulo introdutório, esta pesquisa opta por se embasar teoricamente pela perspectiva da engenharia e, portanto, refletir sobre o design de engenharia.

---

<sup>5</sup> Segundo Fontes (2011) a primeira escola superior de Design do Brasil foi a Escola Superior de Desenho Industrial (ESDI) localizada no Rio de Janeiro e fundada na década de 60 do século passado. A autora explica que a tradução de design para desenho industrial se deveu ao fato de que um curso, na época, não poderia grafar termos estrangeiros.



A linha de raciocínio utilizada tem como partida autores clássicos da escola alemã de projeto de engenharia, como Pahl e Beitz (com as primeiras publicações nas décadas de 1960 e 70), Hubka e Eder (década de 80). Tais autores possuem uma visão sistêmica e racionalista da atividade de projeto; as definições de Pugh (década de 90)<sup>6</sup> e Bucciarelli (décadas de 80 e 90) são em seguida apresentadas para inserir a perspectiva social do design, colocando em evidência algumas limitações da visão tecnocêntrica. A visão do design de engenharia como processo social, afirmando que as questões sociais são tão importantes quanto às técnicas ao longo do processo de projeto, fundamenta o desenvolvimento desta tese.

Pahl et al. (2005)<sup>7</sup> afirmam que a missão do engenheiro é encontrar soluções para problemas técnicos. Para isto deve se basear em conhecimentos das ciências naturais e da engenharia considerando condicionantes materiais, tecnológicas e econômicas, assim como restrições legais, ambientais e aquelas impostas pelo ser humano. Para os autores, problemas tornam-se tarefas concretas no momento em que, para resolvê-los, os engenheiros têm que criar um novo produto (artefato). A criação mental de um novo artefato é tarefa do projetista (segundo os autores, sinônimo para engenheiro de desenvolvimento e engenheiro de projeto) e, a realização física, responsabilidade do engenheiro de manufatura.

A atividade de projetar pode ser considerada multifacetada sendo descrita por diversas óticas. Os autores Pahl et al. (2005) descrevem alguns destes pontos de vista: psicológico, metodológico e organizacional. Primeiramente, sob a **ótica psicológica**, a ação projetual é uma atividade criativa que designa um forte embasamento da matemática, física, química, mecânica, termodinâmica, hidrodinâmica, engenharia elétrica, engenharia de produção, tecnologia de materiais e teoria de projeto, assim como conhecimento e experiência no âmbito interessado. Iniciativa, determinação, discernimento econômico, tenacidade, otimismo e trabalho em equipe são qualidades que dão suporte aos projetistas (PAHL et al., 2005).

---

<sup>6</sup> Pahl et al. (2005, p. 12) apresentam um extenso panorama cronológico dos métodos de projeto na engenharia e principais autores da visão sistêmica do *engineering design*.

<sup>7</sup> Segundo Pahl et al. (2005, p. 13) a primeira edição do livro Projeto na Engenharia dos autores Pahl e Beitz data de 1977 e foi publicada na Alemanha: Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlim: Springer. 1ª edição, 1977; 2ª edição, 1986; 3ª edição, 1993; 4ª edição, 1997.

Do **ponto de vista metodológico**, projetar é a otimização dos objetivos propostos dentro das restrições conflitantes. Exigências mudam com o tempo, portanto uma solução particular somente pode ser otimizada para um conjunto particular de circunstâncias (PAHL et al., 2005).

O último **ponto de vista** apresentado pelos autores é o **organizacional**, sob o qual projeto é a parte essencial do ciclo de vida de um produto. Este ciclo se inicia com a necessidade do mercado ou com uma nova ideia. Projetistas devem empreender suas tarefas em cooperação com especialistas de uma larga faixa de disciplinas e com diferentes habilidades (PAHL et al., 2005).

Pahl et al. (2005) apontam que as atividades dos projetistas são influenciadas por diversos aspectos como: origem das tarefas; organização da empresa; novidade (novos princípios de soluções para novos problemas); quantidade a ser produzida; ramos de especialidade; e, objetivos. Assim, os autores consideram que para essa diversidade de tarefas e objetivos os projetistas necessitam ter habilidade polivalente, diferentes formas de procedimentos e ferramentas.

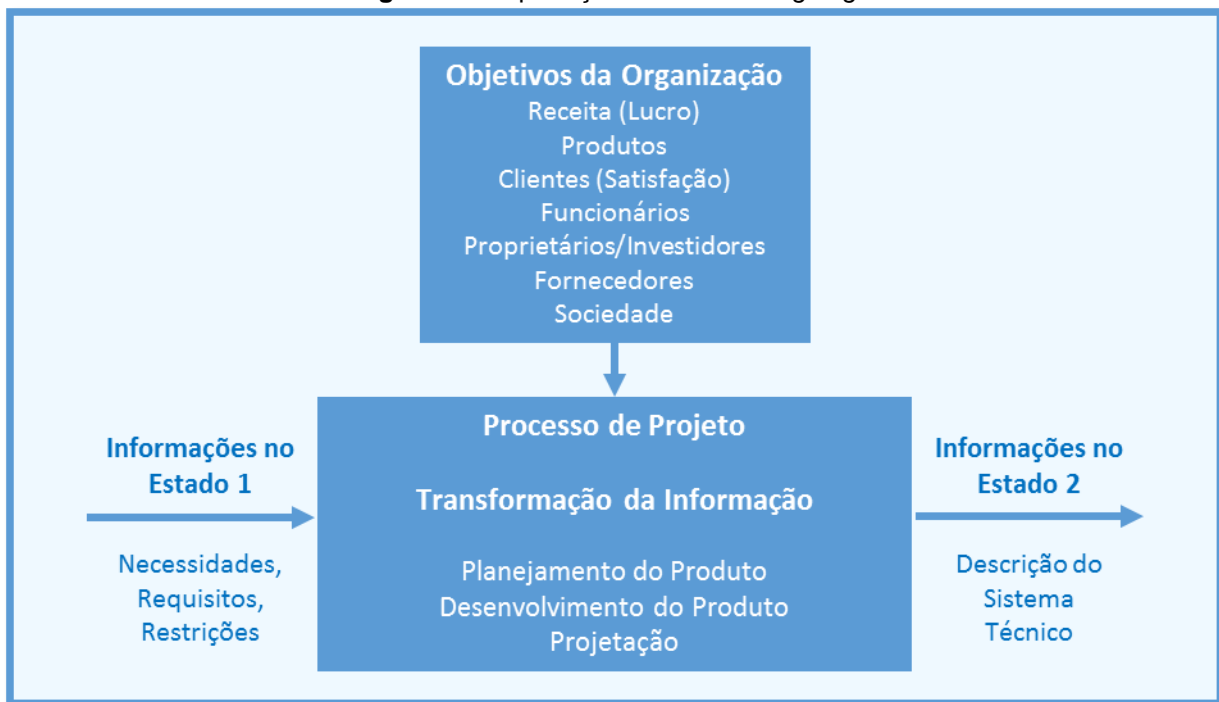
Para Hubka (1983) a atividade de projeto está envolvida no planejamento e execução de qualquer tarefa de previsão do que irá ocorrer em um futuro, incluindo escrita, gráficos, representações, produtos e/ou artefatos. Para Eder (2008), a ação projetual na engenharia tem a proposta de criar artefatos técnicos e processos operacionais para estes, de forma a satisfazer as necessidades dos potenciais clientes, usuários e demais interessados. Tais artefatos são desenvolvidos por meio de técnicas projetuais adequadas e devem produzir as informações necessárias para a manufaturabilidade de um produto tangível, normalmente algo com valor de utilidade. Tais autores tem como foco de interesse a ciência do design (*design science*) sendo que suas primeiras publicações sobre o tema datam do final da década de 1960 (HUBKA, 1967; apud EDER, 2008) e desde então diversos artigos científicos e livros foram publicados e organizações criadas, como a “*The Design Society*”.

O termo “*Design Science*” pode ser entendido como um sistema de conhecimentos logicamente relacionados, que deve conter e organizar o conhecimento completo sobre e para a concepção e explicar as conexões causais e leis da concepção de sistemas técnicos em sua completude (HUBKA e EDER, 1995).

Os autores definem a tarefa de “*designing*” (ou projeção, sendo esta uma tradução possível) afirmando que esta consiste em pensar no futuro e descrever uma estrutura, que aparece como (potencialmente) portadora das características desejadas.

Expressando esta definição em termos de processo o *designing* é definido como a transformação de informação (a partir de uma condição inicial de necessidades, exigências, requisitos e condicionantes) em uma descrição de estrutura que é capaz de satisfazer estas demandas. As demandas devem incluir não só os desejos dos clientes, mas também todos os estágios e os requisitos do ciclo de vida e os estágios intermediários que o produto deve passar (HUBKA e EDER, 1995). A Figura 1 ilustra a definição dos autores em termos de entradas, processo de projeto (em termos de “caixa-preta”) e saídas.

**Figura 1** Interpretação do termo *designing*



**Fonte:** Adaptado e traduzido pelo autor a partir de Hubka e Eder (1995, p. 8).

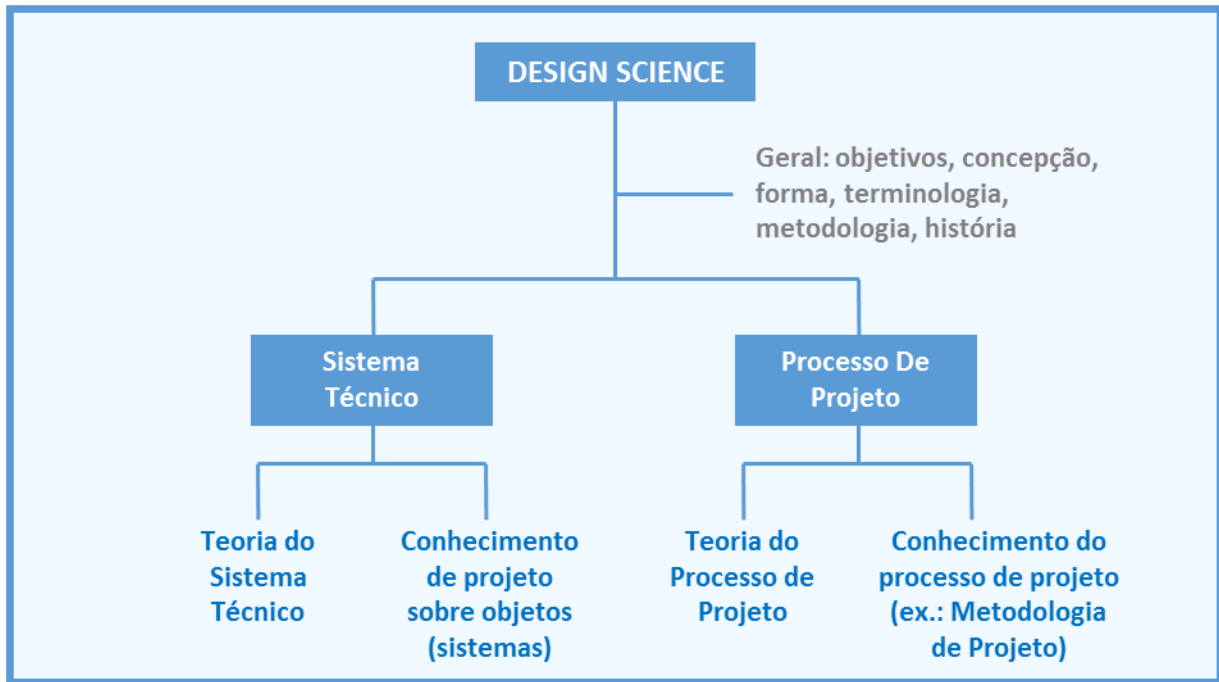
Para os autores a necessidade de compreender todas as informações, transformar, planejar, desenvolver, projetar e a capacidade de absorver tais conhecimentos se reflete na caracterização do “projetista ideal” apresentada no Quadro 1, porém inviável no mundo real.

**Quadro 1** Características desejáveis para o projetista ideal no Design de Engenharia

<b>Conhecimentos</b>	<b>Habilidades, Aptidões, Capacidades</b>	<b>Características Pessoais</b>
Conhecimento Geral	Memória	Produtividade
Línguas	Raciocínio Lógico	Perseverança
Literatura	Capacidade de Síntese	Força de Vontade
História	Consciência dos Custos	Honestidade
Geografia	Capacidade de Visualizar	Responsabilidade
etc.	Dom de Associar	Consciência dos Deveres
	Criatividade	Franqueza
Matemática	Flexibilidade Mental	Perfeccionismo
Geometria	Modo Metódico de Trabalho	Consciente
Física	Detém Informações	Cuidadoso
Química	Capaz de Decidir	Prontidão no Contato
etc.	Capaz de Observar	Horizontes Amplos
	Capaz de Concentrar	Objetividade
Conhecimento Técnico Ramificado	Pontualidade	Senso Crítico
Conhecimento Básico	Liderança	Autoconfiança
Conhecimento Especializado em um Ramo	Organização	Entusiasmo, Prazer
Conhecimento em Design	Asseado	Prontidão pra Cooperar
Conhecimento em Produção (Tecnologias da produção)	Comportamento Pessoal	Estudos Constantes
Conhecimento dos Materiais	Expressão Precisa	Equidade
etc.	Poder de Persuasão	Tipologia Psicológica
	etc.	Estabilidade Psíquica
		etc.
Economia Nacional		
Conhecimento Legal		
Psicologia		
Estética Técnica		
Ergonomia		
etc.		

**Fonte:** Traduzido pelo autor a partir de Hubka e Eder (1995, p. 147).

Para a apresentação da estrutura fundamental da Design Science, os autores utilizam quatro classes de conhecimentos. As partes essenciais do conteúdo são formadas por dois elementos da natureza do objeto: (1) conhecimento sobre o processo de *designing* e seus operadores; e, (2) conhecimento sobre os objetos projetados (sistema técnico). Estas partes são representadas na Figura 2. Na ramificação do lado esquerdo são representados os sistemas técnicos e ao lado direito o processo de projeção. No segundo nível representado, derivando do ramo “sistema técnico”, verifica-se a presença dos aspectos teóricos do próprio sistema técnico e o “conhecimento sobre o projeto do objeto” em questão. No lado direito (que deriva do processo de projeção) verifica-se em um segundo nível os aspectos da teoria do processo de projeto e ainda os conhecimentos acerca do processo de projeção.

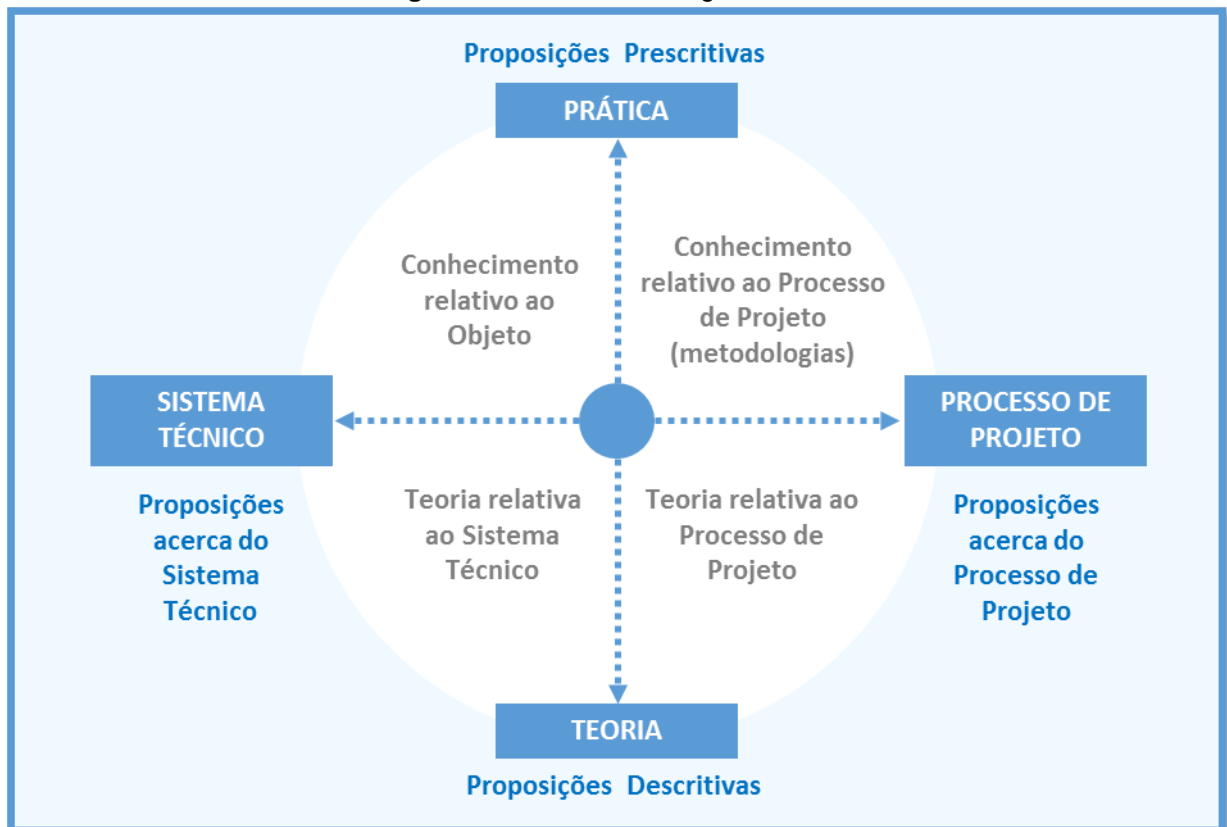
**Figura 2** Visão sistêmica da Design Science

**Fonte:** Adaptado e traduzido pelo autor a partir de Hubka e Eder (1995, p. 82).

Este nível (ramificado em 4) divide em conhecimento baseado em proposições descritivas, relacionadas com aquilo que é o objeto, e proposições prescritivas, relacionadas com aquilo que o objeto deveria ser (HUBKA; EDER, 1995). Representando de outra forma, a estrutura fundamental da Design Science é diagramada conforme a Figura 3, que apresenta como um todo as quatro partes referenciadas em forma de ramificação na Figura 2. Os autores associam aos quadrantes inferiores o conhecimento baseado em proposições descritivas e aos quadrantes superiores o conhecimento baseado em proposições prescritivas.

Tal diagramação induz à compreensão de que a Design Science integra o conhecimento baseado em proposições descritivas (quadrantes inferiores), tanto do sistema técnico quanto da projeção, assim como o conhecimento baseado em proposições prescritivas (quadrantes superiores) de ambos os ramos e isso estrutura de forma consistente o conhecimento acerca da projeção de forma genérica associada ao detalhamento necessário das áreas específicas relacionadas ao sistema técnico abordado. Da mesma forma, os quadrantes do lado esquerdo estão relacionados com as proposições sobre o sistema técnico (definindo a capacidade de ação projetual) e os quadrantes situados ao lado direito estão relacionados com as proposições sobre o processo de projeto (incluindo a coordenação do processo de concepção).

**Figura 3** Estrutura da Design Science



**Fonte:** Adaptado e traduzido pelo autor a partir de Hubka e Eder (1995, p. 82).

Eder (2008) recupera os principais modelos e definições com o objetivo de mostrar o legado de Hubka e indicar desenvolvimentos recentes que considera necessários para esclarecer conceitos relacionados à ciência do projeto, alcançados por meio de discussões e testes em aplicações industriais e educacionais.

O primeiro conceito que Eder (2008) aborda é o Design de Engenharia. Tal termo possui uma sobreposição substancial com os conceitos de *Industrial Design* (ou Desenho Industrial, como é mais conhecido no Brasil) e Desenvolvimento Integrado do Produto, mas sem serem coincidentes. Para o autor, o *Industrial Design* considera principalmente aspectos como aparência, usabilidade, estética e ergonomia para produtos tangíveis em geral. Já o conceito de Desenvolvimento Integrado do Produto abrange o processo de gestão dos produtos destinados à consumidores e produzidos em grande quantidade. O Design de Engenharia demanda uma ampla consideração de informações técnicas e está preocupado com a viabilidade de manufatura de forma a pôr em prática efeitos desejados, segurança, confiabilidade e outros aspectos técnicos.

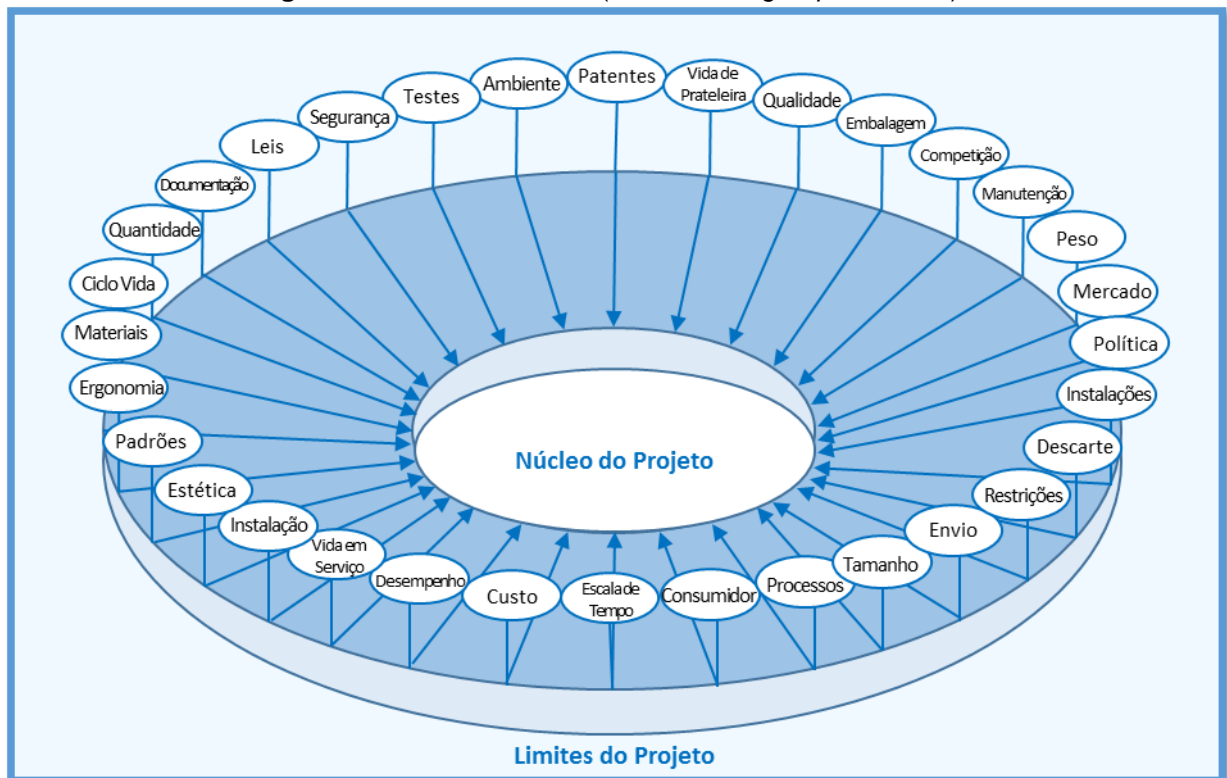
Eder também aponta a falta de consenso sobre o uso da palavra “*designing*”. Para ele, alguns profissionais da engenharia não reconhecem esse termo porque assumem que trata-se de um processo que está englobado dentro da palavra “engenharia”. Existem outros espaços que a expressão Design de Engenharia é usada, mas levantam a questão de saber se a ênfase está no processo de projeto ou no produto final do processo de projeto, “o design” obtido.

Assim, Hubka e Eder (1987) apresentam uma abordagem para o Design de Engenharia e traçam uma definição ampla deste termo como sendo um processo realizado por pessoas com auxílio de meios técnicos através dos quais a informação na forma de requisitos é transformada em informação na forma de descrições de sistemas técnicos, de tal modo que estes sistemas técnicos satisfaçam as exigências humanas.

Para Pugh (1990) design não é como matemática e física, isto é, não representa um conjunto específico de conhecimentos. Trata-se de uma atividade que integra conhecimentos presentes nas artes e nas ciências e que resulta da combinação destas. O autor define o sucesso do Design de Engenharia como sendo o resultado desta atividade (e não de um processo) que alcance o melhor equilíbrio entre todos os fatores inerentes ao projeto como: mercado, consumidor, peso, aparência estética, custo, produção, instalações, ferramentas, padrões, normas e patentes.

Neste sentido Pugh propõe uma lista de elementos que compõem o *Product Design Specification* (PDS). Tal listagem, segundo o autor, não é exaustiva, porém dá uma ideia clara do que deve ser considerado e do caminho a ser percorrido durante o projeto. Para ilustrar tal processo na prática, Pugh compara a ação de um projetista com o número circense no qual o artista deve manter em constante giro diversos pratos de forma simultânea – para o número ter sucesso é necessário que nenhum prato pare de girar e caia. Da mesma forma, para o projeto ter sucesso é imprescindível que diversos elementos sejam observados e considerados ao longo de toda a concepção. A Figura 4 apresenta os elementos do PDS influenciando o núcleo do design.

**Figura 4** Elementos do PDS (*Product Design Specification*)



**Fonte:** Traduzido pelo autor a partir de Pugh (1990, p. 390).

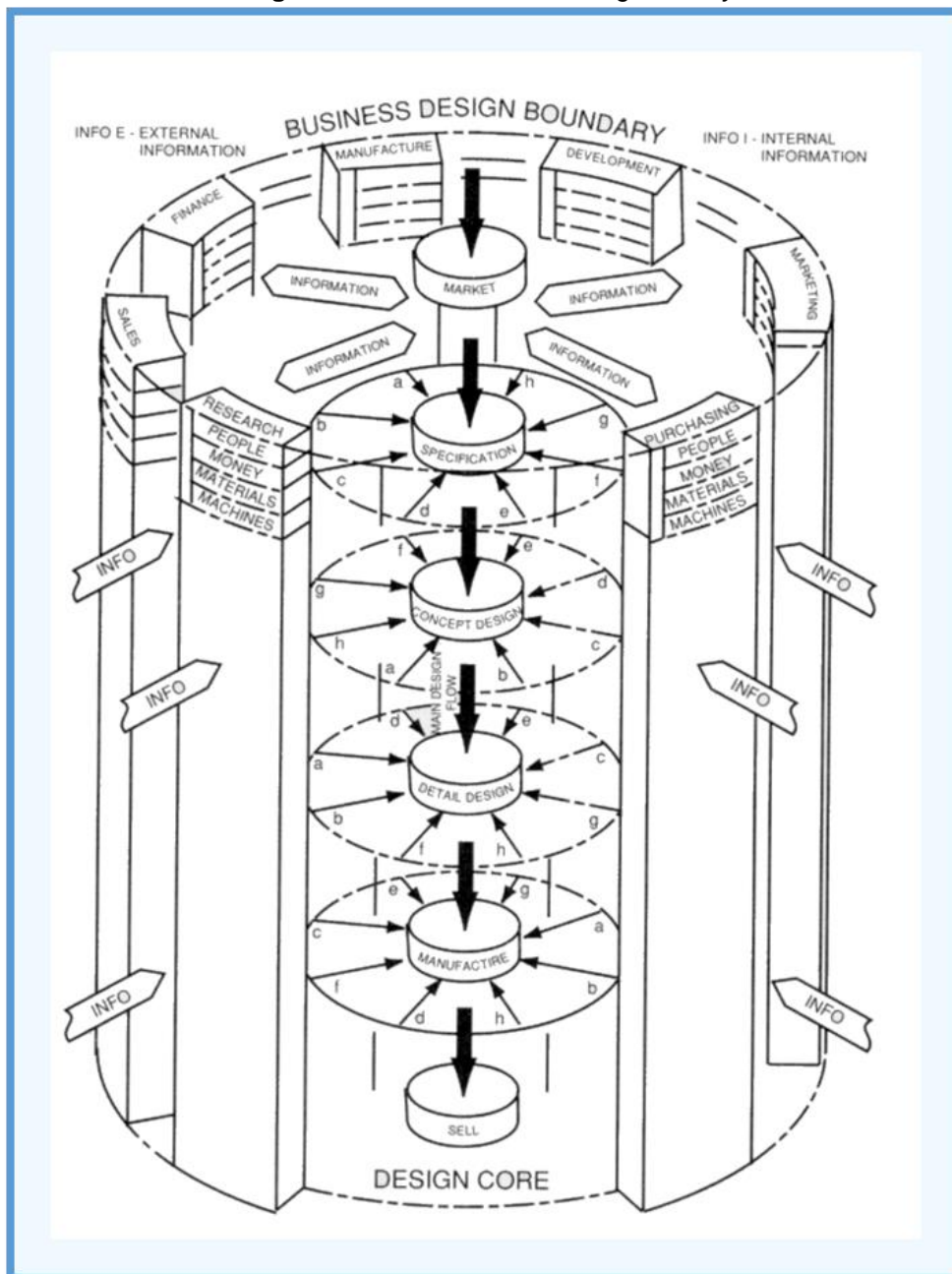
Tais elementos presentes no PDS fazem parte de um modelo mais complexo apresentado por Pugh (1990): o *Design Activity Model* (ou Modelo da Atividade do Design). Neste, o núcleo central da atividade de design é direcionado pela especificação concordada. Este é um dos principais módulos do modelo, o qual consiste nas fases centrais, desde a investigação das necessidades do mercado (usuários, consumidores, entre outros), especificação do projeto do produto (PDS), projeto conceitual, projeto detalhado, produção e entrega para o mercado, consumidores e/ou usuários. O autor defende que, na prática, a atividade de projeto será mais iterativa do que linear, de modo que os participantes retrabalham os problemas o mais cedo possível.

O núcleo central é universal e comum para qualquer tipo de design, sendo que, outras áreas da atividade de projeto dão o caráter distinto de cada um. Isto é, diferentes tipos de projeto requerem diferentes tipos de informação, técnicas e formas de gestão. Tal núcleo é, desta forma, influenciado diretamente por informações internas e externas às fronteiras do projeto, tecnologias e técnicas envolvidas e pela gestão dada ao processo de concepção.



Neste contexto o autor define o *Business Design Boundary* como sendo as fronteiras externas da atividade do projeto, sendo que o núcleo não está constrangido apenas pelos elementos do PDS, mas também pelos elementos da estrutura da empresa. Se os limites desta fronteira são muito restritivos, será necessário tomar uma ação corporativa, reestruturando a operação para prover aos projetistas mais informações, recursos e/ou suporte. A Figura 5 apresenta o modelo *Business Design Activity* proposto por Pugh (1990).

**Figura 5** Modelo *Business Design Activity*



Fonte: Pugh (1990, p. 331).

É possível observar na teoria de Pugh, definida como *Total Design*, uma visão diferente das abordagens sistêmicas apresentadas por Hubka e Eder (1987), Eder (2008) e Pahl et al. (2005). A caracterização do processo de projeto como iterativo e não linear e a interdependência de múltiplos fatores internos e externos (visão global) são aspectos que a diferencia, juntamente com a integração do conceito da psicologia social dos grupos, apresentado a seguir.

Pugh (1990) entende que os psicólogos sociais deram pouca atenção aos problemas do Design de Engenharia. No entanto, para ele, muito já foi discutido sobre os grupos de trabalho dentro das organizações. O autor cita diversos estudos que apontam que (1) a dinâmica dentro e entre grupos significa que as vantagens do trabalho em grupo são frequentemente desperdiçadas; (2) grupos com estruturas similares podem ter diferentes estilos e produzir diferentes resultados; (3) grupos com estilos similares podem ter estruturas bastante diferentes e produzir diferentes resultados também; e (4) o desempenho do grupo pode ser melhorado por meio de intervenções das ciências sociais.

Considerando, portanto, a composição dos grupos de trabalho para a atividade de projeto, Pugh afirma que é importante que as equipes sejam compostas por uma combinação de competências especialistas e habilidades sociais (em especial para o líder). Assim, sob tais circunstâncias, o processo de projeto pode ser visto como dependente das características da negociação entre os participantes. Conseqüentemente, existem dois lados para esta atividade, sendo estes relacionados ao sucesso da negociação: o primeiro tipo de atividade é a cognitiva; e o segundo é a política. As funções cognitivas auxiliam as pessoas a se organizarem mentalmente e pensarem de forma clara sobre os problemas que elas encontram. As funções políticas auxiliam na gestão das diferenças dentro e entre grupos de trabalho (PUGH, 1990).

De forma geral, a função dos processos cognitivos é facilitar as tarefas, já os processos políticos atuam para prevenir compromissos e obrigações prematuras com relação às decisões de projeto que não tiverem sido suficientemente bem apreciadas. Pugh (1990) conclui que no contexto do design existem as atividades que incluem tomadas de decisão feitas em grupo e que, de forma simplista, poderia mostrar que design é uma forma de tomada de decisão. Sendo assim, o mais

importante é que existam análises detalhadas dos processos envolvidos que serão utilizadas pelos participantes do projeto em suas reflexões e tomadas de decisão.

Seguindo ainda no sentido de compreender o design na engenharia em uma perspectiva não apenas técnica, mas também social, buscou-se nos estudos de Bucciarelli a fundamentação teórica para tal compreensão.

Bucciarelli (1988), em um estudo etnográfico para compreender a perspectiva do Design de Engenharia, afirma que ao ensinar design o engenheiro apresenta um diagrama de blocos (fluxograma) com fases do início ao fim (isto é, das análises de mercado e necessidades até a produção e venda). Para o autor este diagrama sugere um fluxo com paradas, como se fosse um processo mecânico (uma máquina) no qual o design se move e em cada bloco ele é posto em prática, sendo que as linhas que retornam aos blocos anteriores tem a função de retroalimentação. *Designing*, nesta perspectiva, é um processo iterativo, isto é, processo sequencial e repetitivo.

Por outro lado, Bucciarelli afirma que para aqueles que estão preocupados com a gestão do processo de projeto, foca-se no coletivo dos participantes de dentro da organização. *Designing* para estes é o resultado da comunicação efetiva, da organização para o trabalho criativo e colaborativo e o auxílio à tomada de decisão. O modelo gerencial de design está mais para um mercado do que para uma máquina, isto é, trata-se de um espaço para negociações, trocas e alocações eficientes dos recursos.

Porém, compreender o Design de Engenharia dentro de uma destas perspectivas é ter uma compreensão deficiente. Para Bucciarelli (1984; 1988) o design, até mesmo quando feito por engenheiros, não se trata de um processo mecânico. Assim o fluxograma pode ser útil no mundo empresarial para ajudar a organizar, programar e planejar o trabalho da equipe de projeto ou ainda para ensinar aos alunos, mas não é real e nem uma descrição factual do *designing* da forma como ela ocorre, exceto em um nível superficial. No mesmo sentido, design não é algo racional da forma como expressa o senso gerencial ou economista. Para o autor os participantes do processo de projeto, às vezes, se comportam de forma utilitarista procurando, a partir das restrições na sua área de atuação, maximizar seus objetivos. Frequentemente, eles não se comportam desta maneira, devido, por exemplo, aos

participantes não terem uma compreensão compartilhada, clara e coerente sobre as restrições e sobre as prioridades do design em processo.

Outra séria deficiência que Bucciarelli (1988) aponta nesta perspectiva é a incapacidade de tratar dos artefatos, objeto do design. Os desafios de manipular as ferramentas e “pôr a mão na massa” são ignorados. Existe uma presunção de que uma vez que o objetivo correto é articulado, a motivação certa é dada, a programação e orçamentos bem definidos e o time montado, então a qualidade do design será obtida.

Bucciarelli define o Design de Engenharia e o *designing* como um processo social. Tal definição é mais ampla do que a compreensão do design sendo resultado do trabalho de uma equipe de especialistas. O autor, em sua pesquisa, compreende que os participantes do processo de projeto atuam com diferentes responsabilidades, perspectivas, interesses e competências técnicas, e que ao mesmo tempo, compartilham certos modelos e objetivos. Tais diferenças e semelhanças são resolvidas e refletidas no design e no processo de *designing*. Assim, as produções formais (desenhos, especificações, listas de materiais, protótipos, entre outros) dos participantes ao longo e até a conclusão do projeto não representam completamente o design e nem captam completamente o que foi o processo de design.

Neste contexto, Bucciarelli (1988) apresenta a expressão “mundo-objeto”. Tal conceito deriva do fato que cada participante do processo de projeto pensa e trabalha conforme seu próprio modelo instrumental fundamentado em sua competência técnica. Pode-se falar que cada mundo-objeto possui seu próprio “dialeto”, sistema de símbolos, metáforas e modelos, instrumentos e sensibilidade para determinados ofícios.

Em Bucciarelli (2002; 2003) o autor reafirma o conceito de mundo-objeto e detalha a ideia de que cada mundo possui sua própria linguagem, fazendo do processo de projeto uma “torre de babel”. O autor afirma que, de modo grosseiro, durante a projeção um participante fala o idioma “estrutura”, outro “eletrônica”, outro “processos de manufatura”, outro “marketing” e assim por diante. Nestes trabalhos o autor aponta que a linguagem de um mundo-objeto é mais que palavras, símbolos e

sinais e cita outros elementos que fazem parte deste mundo específico, como por exemplo, instrumentos especializados, protótipos, maquetes, ferramentas, formas gráficas de representação, esboços e desenhos mais formais.

Dada tais condições Bucciarelli propõe a construção de pontes entre os mundo-objetos para que propostas, preferências, reivindicações e requisitos dos participantes possuam coerência entre eles. A primeira prescrição que o autor apresenta é a forma clássica de dividir uma tarefa em várias sub-tarefas para que possam ser realizadas de forma independente. Tais sub-tarefas devem possuir certos “requisitos de interface” e serem realizadas por diferentes indivíduos em seus respectivos domínios. Estes dificilmente irão se encontrar durante o processo, a não ser na etapa final, no momento em que o projeto deve ser montado com todas as partes. O autor afirma que isto é geralmente impossível, visto que muitas das especificações de diferentes propriedades, na configuração de qualquer parâmetro do projeto, pode ser do interesse de participantes de diferentes mundo-objetos. Desta forma, a atuação de cada participante isoladamente em sua sub-tarefa tem como desafio a convergência do projeto no atendimento às necessidades e requisitos apontados separadamente.

Outra forma de construir pontes, mais efetivas, entre os mundo-objetos é por meio do uso de uma linguagem mais comum ou de mais baixo nível (menos especializada). Tal uso é necessário visto que, para Bucciarelli, não é possível traduzir as linguagens próprias de cada mundo-objeto, isto é, um participante de um mundo-objeto específico (eletrônica, por exemplo) não tem condições de compreender a linguagem, mesmo traduzida, de outro mundo-objeto (cálculo estrutural, por exemplo).

Em uma linguagem mais comum os artefatos que compõem os elementos de comunicação são os mesmos apresentados anteriormente: esboços, desenhos, maquetes, protótipos, entre outros. A diferença é que ao invés destes elementos serem construídos de forma individual, através de uma única perspectiva e com um nível alto de detalhamento, eles serão colocados à vista de todos desde o princípio, servindo como um quadro em aberto (em estado mais cru) para a exploração e proposição das pessoas. Se antes os participantes entregavam conhecimentos detalhados e exatos, agora eles devem prover um espaço para deliberação e tomada

de decisão. Bucciarelli conclui que *designing* é um processo social que requer trocas e negociações tanto quanto intenso trabalho dentro dos mundo-objetos.

Os elementos de troca propostos por Bucciarelli podem ser explorados e compreendidos pelos conceitos de objeto intermediário e objeto de fronteira – conceitos estes que são abordados no tópico 2.4.

## **2.2. Projeto do Trabalho e os Modelos de Produção**

A discussão que se pretende abordar nesta tese tem como *locus* o mundo do trabalho. Desta forma, a discussão do conceito de Design de Engenharia deve neste momento ser focada no projeto do trabalho e para isto, o presente tópico faz uma breve revisão histórica desta temática iniciando pela produção artesanal, passando pela revolução industrial, a organização científica do trabalho (taylorismo), grupos semiautônomos e concluindo com o modelo japonês. Por fim reflete-se sobre como as práticas e técnicas são legitimadas pelo ambiente e constituem os modelos de produção, impactando diretamente o projeto do trabalho.

O termo “Projeto do Trabalho” remete nesta tese, inicialmente, à uma área clássica da engenharia de produção que procura compreender, planejar e projetar o trabalho em termos físicos e organizacionais resultando no método de trabalho e no posto de trabalho (equivalentes às expressões em inglês: *job design* e *workplace design*) mas que amplia-se nesta pesquisa para um espectro maior, o das situações produtivas (em inglês: *workspace design*, *work systems design* ou ainda *facilities design*).

Pode-se afirmar que o projeto do trabalho é tão antigo quanto o próprio trabalho. Tal constatação deve-se ao fato que desde os primórdios os sujeitos necessitavam planejar, projetar, executar, controlar e dominar instrumentos e locais de trabalho para obter (e melhorar) os resultados de seu esforço.

Camarotto (1998) afirma que a produção artesanal (e o planejamento/projeto desta produção) sofreu grande modificação no século XVII, principalmente devido à mercantilização gerada pela navegação e rotas comerciais (aumentando a demanda pelos excedentes produzidos), com impacto direto sobre os

locais e ferramentas laborais. No século seguinte, impulsionadas pelo avanço tecnológico (os teares mecânicos e a máquina a vapor na Inglaterra, por exemplo) as instalações produtivas foram completamente separadas das habitações. Nesta época o planejamento e projeto das situações produtivas, com características essencialmente artesanais, não era executado por projetistas e sim por práticos que utilizavam métodos empíricos (CAMAROTTO, 1998).

Nesta nova configuração produtiva (surgimento das fábricas) não apenas o local de trabalho e as ferramentas se alteram, mas o modo de organizar e controlar também foi radicalmente modificado. Assim, a mudança das pequenas oficinas existentes dentro das residências para as novas fábricas fez com que surgisse a busca por um trabalho mais especializado, mais eficiente (em termos de produção), com ganhos de escala e que resultou na perda de liberdade, autocontrole e piora das condições de trabalho dos operários.

Para Decca (1982) o sistema anterior às fábricas, conhecido como “*putting-out system*”, permitia que o saber técnico fosse mantido com o trabalhador e que este tivesse certa autonomia quanto ao processo de trabalho. Nas fábricas, segundo o mesmo autor, a divisão social impôs uma disciplina rígida, retirou saberes e transferiu-os para o mando dos capitalistas. A partir disto o empresariado teria desenvolvido uma estratégia para que o processo tecnológico não saísse mais de seu controle, criando inclusive “um imaginário social voltado para o reconhecimento de uma esfera determinada de produção de saberes técnicos totalmente subtraída e alheia ao controle dos trabalhadores fabris” (DECCA, 1982, p. 37).

Ao final do século XVIII e início do século XIX as fábricas, em geral, eram locais com péssimas condições de trabalho, com falta de higiene e ambientes carregados de fumaça e poeira. Em 1830 começava a vigorar na Inglaterra uma legislação trabalhista que tratava de questões como jornada de trabalho, salário mínimo, higiene e conforto industrial. Tal inserção altera as características dos ambientes produtivos porém fica limitada pelas crises e em especial pelas guerras napoleônicas. A miséria da população que habitava o entorno das fábricas aliada à ganância de especuladores e exploradores que se apossavam das fábricas contribuiu ainda mais para uma maior degradação das condições laborais (CAMAROTTO, 1998).

Tal característica observada nos primórdios das instalações fabris no continente europeu não teve continuidade no final do século XIX e início do século XX durante o processo de industrialização norte-americano. Ao contrário da Inglaterra, os Estados Unidos possuíam escassez de mão-de-obra em geral e, de forma específica, mão-de-obra qualificada. Assim, a mão-de-obra disponível era composta por imigrantes que muitas vezes não dominavam o idioma local e nem conseguiam comunicar-se entre si, visto a diversidade de origens. Neste cenário duas condições de contorno se configuram para dar forma à uma nova forma de planejar e projetar o trabalho: adoção intensiva de maquinaria e uma maior divisão do trabalho.

Em 1878 Taylor começou a trabalhar em uma indústria metalúrgica onde inicia o desenvolvimento do que ficou conhecido como Administração Científica ou Organização Científica do Trabalho (OCT). O objetivo de Taylor, segundo Barnes (1977) foi desenvolver princípios gerais para o estudo científico do trabalho em contraposição ao estudo empírico até então dominante, seleção do melhor operário para cada tarefa (incluindo seu treinamento e desenvolvimento), desenvolvimento de um espírito de cooperação entre a administração e o pessoal, e, para isto, uma divisão do trabalho em partes iguais tanto para a gerência quanto para os operadores. Interessante notar que, para Taylor, antes desta divisão, quase todo o trabalho e a maior parte da responsabilidade eram “descarregados” sobre os operários (TAYLOR, 1980).

Fleury e Vargas (1983) sintetizam e analisam os princípios anunciados por Taylor como fundamentais para a prática de uma Administração Científica. O primeiro princípio era baseado no conhecimento por parte da gerência do trabalho a ser realizado, de forma que essa pudesse determinar o método ideal, segundo um tempo-padrão pré-estabelecido, eliminando a iniciativa operária na escolha do melhor método.

O segundo princípio tratava da seleção e treinamento. Assim, as análises e sínteses derivadas do primeiro princípio devem orientar a escolha do trabalhador “adequado” para determinada atividade. Fleury e Vargas (1983) destacam que a habilidade requerida poderia se tratar de força física (como o famoso caso do “homem bovino”) ou características cognitivas, como por exemplo o relato extraído de



Taylor (1980, p.100) a respeito das exigências para o trabalho de inspeção em uma fábrica de esferas de aço:

Para benefício das raparigas, bem como da companhia, tornava-se, contudo, necessário dispensar todas as moças que não apresentassem baixo coeficiente pessoal. E, infelizmente, isso implicava no afastamento de grande parte das moças mais inteligentes, esforçadas e leais, somente porque não possuíam percepção rápida seguida de rápida reação.

A partir da seleção, o treinamento deveria focar em ensinar aos trabalhadores não uma profissão, mas sim uma única maneira de realizar o trabalho e incluindo nisto o momento e duração exatos das pausas para recuperação da fadiga (FLEURY; VARGAS, 1983).

Por fim, o último princípio refere-se ao planejamento e controle do trabalho por parte exclusivamente da gerência. Assim, o que antes era da responsabilidade de um operador antigo ou do contra-mestre, passa a ser função de especialistas organizados em departamentos até então inexistentes, como os “departamentos de programação e controle da produção, tempos e métodos, controle da qualidade, arranjo industrial, ferramentaria, etc., todos exercendo atividades que antes cabiam ao coletivo de trabalhadores sob a supervisão do contra-mestre” (FLEURY; VARGAS, 1983, p. 22).

Em 1913, Henry Ford, aplicando os métodos do taylorismo (como também ficou conhecida a Administração Científica) desenvolve aquilo que se denominou fordismo (GOUNET, 1999). Assim como Taylor, Ford se apoia sobre princípios como o parcelamento das tarefas, redução de desperdícios, principalmente de tempo, defende a produção em massa como forma de redução de custos de produção. Além destes, o fordismo também buscou controlar a ligação entre os diferentes locais de realização das tarefas, criando para isto a linha de produção e aumentando a automatização. Tal linha era composta por esteiras rolantes com velocidade regulada pela gerência.

Nas décadas seguintes os novos métodos de produção são adotados pela grande maioria das grandes (e remanescentes) empresas automobilísticas dos Estados Unidos e posteriormente Europa e Japão. Segundo Gounet (1999) este cenário da metade do século XX é caracterizado pela alta competitividade, com uma

busca centrada na redução dos custos e conquistas de fatias de mercado o que resultou em condições cada vez piores para os operários.

Tais paradigmas produtivos também afetam os outros setores industriais, que começam a enxergar no taylorismo/fordismo uma forma de racionalizar a produção, diminuir custos, produzir em massa e obter maiores ganhos.

Barnes (1977) apresenta os termos “projeto do trabalho” e “estudo de trabalho” como sugestões a para serem utilizadas no lugar de “estudo de movimentos e de tempos” (EMT). O EMT, segundo este autor, remete ao estudo sistemático dos sistemas de trabalho com objetivo de desenvolver o sistema e o método preferido, usualmente de menor custo e de forma padronizada; determinar o tempo gasto em uma tarefa por um operador qualificado e treinado, trabalhando em ritmo normal e, por fim, orientar o treinamento do trabalhador no método preferido pela organização. Em seu livro Barnes apresenta um guia extenso com técnicas para o projeto de métodos, padronização de operações, determinação de tempos-padrão e treinamento dos operadores.

Assim, o objetivo explicitado por Barnes era ampliar o escopo em relação aos esforços de Taylor e do casal Gilbreth, que focavam no estudo de tempos e na melhoria dos métodos existentes, com uma “filosofia e prática moderna” que buscava determinar o método ideal ou o mais próximo disso. Tal guia foi e continua sendo uma das principais referências para o ensino de disciplinas de projeto e planejamento de métodos e processos nas escolas de engenharia do Brasil<sup>8</sup>.

O método definido por Barnes para projetar um sistema de trabalho melhorado inclui uma série de perguntas como:

- “Por que a operação é necessária?”
- “Pode-se eliminar esta operação?”
- “O que aconteceria se ela fosse eliminada?”
- “Por que essa pessoa está fazendo?”

---

<sup>8</sup> A obra, recorrente nos projetos pedagógicos de cursos de engenharia de produção como bibliografia básica, teve a primeira edição datada de março de 1937. A edição difundida no Brasil é a tradução da 6ª edição americana de 1968, impressa primeiramente em português em 1977 e reimpressa em diversos anos, incluindo 1986, 1991, 1995, 1999, 2001, 2004 e 2008 (décima reimpressão).

- “Quem poderia fazê-la melhor?”
- “Podem ser introduzidas modificações que permitam a um operador menos qualificado e com menor treinamento fazer o trabalho?”

Já as ferramentas apresentadas por Barnes para a análise do processo produtivo e melhoria dos métodos incluem os gráficos de fluxo do processo, introduzidos por Gilbreth e modificados pela *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), Mapofluxogramas, Gráficos de Atividade, Gráficos Homem-máquina, Gráficos de Operações (ou Gráficos das Duas Mãos, que considera os movimentos elementares de cada mão, para posterior análise detalhada), o Estudo de Micromovimentos e dos Movimentos Fundamentais das Mãos (ou *therblig* – termo criado por Frank Gilbreth que nada mais é do que o seu sobrenome soletrado de trás para frente e que Barnes afirma ser “uma expressão familiar aos engenheiros de produção” e de “uso mais conveniente do que *movimento da mão* ou *elemento de movimento* e, talvez, possua um significado mais preciso do que *movimento*”) (BARNES, 1977, p. 107).

No décimo sexto capítulo de seu livro, intitulado de “Ergonomia”, Barnes inicia afirmando que “o projeto de métodos de trabalho tem como objetivo principal encontrar a mais eficiente combinação entre homens, máquinas, equipamentos e materiais no ambiente de trabalho” (BARNES, 1977, p. 167). Neste sentido, a perspectiva adotada é a de que o trabalho deve ser organizado de forma que “o operador receba somente a informação essencial, através do canal sensor apropriado, no tempo e lugar necessário”. O autor reforça que o objetivo é “que as interpretações e decisões sejam o mais automáticas possível. O número de escolhas que o operador poderá tomar a um dado momento deverá ser o menor possível” (BARNES, 1977, p. 169). Quanto aos espaços de trabalho, o livro apresenta a importância do projetista conhecer “as funções do ser humano, dimensões de seu corpo, suas limitações e as condições nas quais age mais efetivamente”.

Uma das principais lógicas que permeia a abordagem destes autores é a da economia de movimentos e redução da fadiga. Assim, muito do que é apresentado atua no sentido de facilitar e poupar esforços dos trabalhadores, incluindo a questão do tempo necessário para recuperação do cansaço. Por outro lado

evita-se ao máximo considerar a variabilidade dos sujeitos (exceto para questões antropométricas), suas características psico-fisiológicas e preferências individuais.

Fica claro que Barnes desenvolve os princípios de Taylor e Gilbreth no sentido de melhorar a produtividade e a eficiência humana. As técnicas apresentadas foram desenvolvidas em sua maioria com foco em situações de trabalho de alta repetitividade e baixa qualificação dos trabalhadores – contexto socioeconômico da primeira metade do século XX com a difusão da produção em massa para outros setores além do automotivo.

Outras formas de planejar e projetar o trabalho surgiram a partir da OCT e tinham como base o aparente sucesso da divisão entre quem planeja e quem executa o trabalho (INGELGARD, 1998). Para este autor o resultado desta divisão foi, além da repetitividade e a monotonia, resultados abaixo do esperado. Isto é, os resultados no curto prazo eram melhores, mas as desvantagens (tédio, por exemplo) anulavam os benefícios obtidos. Neste panorama surge, na década de 1920, a primeira técnica de projeto do trabalho oferecida como alternativa aos métodos tayloristas: o rodízio de funções. Nesta época também surgem as primeiras experiências de alargamento das tarefas. Tais práticas são o alicerce do movimento das relações humanas onde psicólogos e engenheiros devotaram grandes esforços para treinar habilidades, seleção e classificação, tendo como pano de fundo uma ideia de “adaptar pessoas para o trabalho delas” (INGELGARD, 1998, p. 17).

Integrando aspectos do movimento das relações humanas, enriquecimento de tarefas e abordagens de participação (SMITH; SAINFORT, 1989) surge no norte da Europa o movimento sócio-técnico em resposta aos limites observados no projeto do trabalho da administração científica (SALERNO, 1999). A questão central desta abordagem era que o projeto do trabalho deveria remeter tanto aos aspectos técnicos quanto sociais da organização de forma a dar maior satisfação para os trabalhadores e obter maior produtividade, isto é, buscar um equilíbrio para que o sistema global operasse de forma eficiente, mesmo que para isso um sub-sistema fosse sub-otimizado (INGELGARD, 1998). Tal proposta, com grande influência dos países escandinavos, teve como financiadores órgãos governamentais e organizações de empregados e empregadores, para em seguida se tornarem regulações governamentais na década de 1970.

Porém, segundo Ingelgard (1998), a prática observada em algumas experiências, principalmente na Suécia, apontou para uma desvirtuação da teoria original. Notou-se um interesse menor sobre as questões técnicas e um foco exacerbado sobre as perspectivas sociológicas e psicológicas da organização do trabalho, sendo o sistema sócio técnico de projeto criticado pelo domínio por parte de cientistas sociais e a solução padrão que estes ofereciam: a introdução dos grupos semiautônomos de trabalho. Outras críticas à este modelo citavam a politização que envolvia o projeto do trabalho ao confrontar de um lado os trabalhadores, que viam naquele sistema uma forma de democratizar o ambiente de trabalho e, de outro lado os empregadores, que tinham como objetivo melhorar as condições de trabalho e a produtividade das empresas (INGELGARD, 1998; SALERNO, 2004).

Outra influência determinante notada sobre a organização e projeto do trabalho na segunda metade do século XX veio do modelo japonês de produção (ou Sistema Toyota de Produção – STP) e dos conceitos de “*just in time*” e “*lean production*”. Coriat (1994) define como fundamento básico o pensar a pequena série, ao invés da grande e, a variedade e não a padronização e uniformidade taylorista/fordista. Para este modelo surgem conceitos como “fábrica mínima” e “fábrica flexível”, visando redução de efetivo e de desperdícios. Para Coriat (1994) o controle de estoque ocupa o mesmo lugar que o “*one best way*” de Taylor.

Em termos de projeto do trabalho uma das principais inovações do STP foi a automação, neologismo criado a partir da junção das palavras autonomia e automação. Segundo Shingo (1988, apud Ghinato, 1995) a automação (ou *jidoka*<sup>9</sup>) tinha como princípio facultar ao operador ou à máquina a autonomia para que, em caso de defeito, a mesma parasse automaticamente. Segundo Ghinato (1995, p. 172) este conceito “tem muito mais identidade com a ideia de autonomia do que com automação” (tendo esta um papel secundário) e surge com o objetivo de que um trabalhador pudesse operar simultaneamente mais de uma máquina. O resultado esperado era que, ao contrário do modelo fordista onde cada operador era altamente especializado e atuava em um único posto de trabalho, na via japonesa cada operador

---

<sup>9</sup> Ghinato (1995, p.171) explica que a palavra “*jidoka*” significa simplesmente automação, mas que o verdadeiro significado do conceito é dado por “*Ninben no aru jidoka*” que seria “máquina dotada de inteligência e toque humano”.

era responsável por diversos equipamentos, se tornando portanto polivalente ou multifuncional.

Coriat (1994) aponta que esta forma de organizar e planejar o trabalho era seguida por um arranjo físico também diferenciado, em forma de “U” ao invés dos formatos tradicionais (em “linha”, “ilhotas isoladas” ou “gaiola de pássaros”). Este layout permitia, segundo Ohno (CORIAT, 1994), uma grande flexibilidade em termos de número de operadores, tempo de ciclos e natureza das tarefas (permitindo a noção de “tempo compartilhado” em contraposição ao “tempo alocado ou imposto” típico do taylorismo/fordismo). Tais características, juntamente com inovações de maior ou menor grau e com a releitura de vários procedimentos já presentes nas escolas de engenharia do ocidente, que compõe o complexo STP.

Assim, a “invasão” do modelo japonês para as fábricas da América e Europa aconteceu nos anos 1980 devido à uma fase do capitalismo de maior concorrência e diferenciação pela qualidade, condições estas originais do surgimento do STP (CORIAT, 1994). Porém, o autor também aponta que esta “importação” se deu muito mais em termos de técnicas e recomendações específicas do que a transferência completa do complexo sistema que constituiu a experiência japonesa. Coriat (1994, p. 172) conclui que a leitura técnica das descobertas da escola japonesa “... é entendida como um conjunto de desenvolvimentos da organização científica do trabalho que se enriqueceria em novos capítulos. Após as técnicas que permitiram atingir mortalmente o flunar dos homens (Taylor) e das máquinas (Ford), eis agora chegadas aquelas que tratam dos produtos em curso de fabricação e dos estoques”.

No entanto, mesmo que superados muitos dos contornos e do próprio modelo de produção do início do século passado, diversas obras atualizadas de referência <sup>10</sup> neste campo do conhecimento fazem menção direta aos autores, métodos e técnicas da OCT e inclusive ao conceito do “*one best way*”. Destacam-se

---

<sup>10</sup> Assim como Barnes (1977) os livros de Administração da Produção são recorrentes nos projetos pedagógicos de cursos de graduação (e pós-graduação) em Engenharia de Produção. No entanto duas diferenças devem ser destacadas: as áreas de conhecimento e disciplinas que se utilizam destas obras são muito mais extensas, como por exemplo as áreas de Planejamento e Controle da Produção, Projeto do Produto, Controle da Qualidade, Gestão de Operações e Serviços e, na área de interesse desta tese, o Projeto do Trabalho; outra diferença é o conteúdo “atualizado e revisto” que tais obras trazem. Isto é, são publicações e edições mais recentes e não apenas reimpressões; por exemplo, o livro Administração da Produção de Nigel Slack, Stuart Chambers e Robert Johnston – publicado originalmente em 1997 - tem sua terceira edição publicada em inglês no ano de 2007 e em português em 2009.

os manuais de administração da produção, comumente caracterizados por serem generalistas e sem aprofundamentos, onde o capítulo dedicado ao projeto do trabalho normalmente traz a reprodução das principais ferramentas presentes em Barnes, reforçando os princípios de economia de movimentos e estudo de tempos e movimentos para determinação do método e espaço ideal de trabalho.

Tal abordagem do projeto de trabalho, no entanto, não é a única possível. Robbins (1987 apud Ingelgard, 1998) afirma que a teoria de projeto do trabalho (*job design theory*) não é uniforme e apresenta quatro escolas distintas: (1) escola da Engenharia, que sintetiza o que foi apresentado até o momento neste tópico; (2) a escola da Psicologia, que enfatiza as possibilidades de aumentar a satisfação dos trabalhadores pelo aumento da autonomia, habilidades, ampliação de conteúdo das tarefas e melhoria das interações sociais; (3) a escola da Ergonomia, que busca desenvolver sistemas homem-máquina, tarefas e equipamentos mais seguros, simples, confiáveis e que minimizem esforços mentais; e, por fim, (4) escola da Biologia, que foca no bem-estar físico e individual do trabalhador. O autor afirma ainda que alguns ergonomistas argumentam que esta última deveria estar inserida na escola ergonômica.

A ergonomia se desenvolveu ao longo do pós-guerra e encontrou fortes barreiras para consolidar teorias, técnicas e ferramentas para suportar o projeto do trabalho. Tais contribuições derivaram de várias linhas de desenvolvimento, entre as quais se destacam a americana (conhecida também como Fatores Humanos) e a dos países de língua francesa (denominada como Ergonomia Situada ou Ergonomia da Atividade). Sobre esta última que a presente pesquisa se aprofunda para mostrar as principais definições e relações existentes desta abordagem com o projeto do trabalho.

Uma perspectiva importante da Ergonomia da Atividade pode ser caracterizada como uma escola que projeta o trabalho com ampla participação de diferentes atores no processo de concepção com destaque para os trabalhadores e/ou usuários do local sob intervenção, visto que tem na atividade destes, seu maior objeto de análise e síntese. Assim, é comum a expressão “projeto participativo” nas intervenções realizadas por esta disciplina. No entanto, esta abordagem (conhecida em inglês como “*participatory design*”) assim como o projeto do trabalho, não está

limitada à uma única disciplina ou área do conhecimento. Para compreender melhor esta forma de articular o projeto, é apresentada uma conceituação sobre a mesma e como alguns autores se referem em termos teóricos e práticos.

### 2.3. Projeto Participativo do Trabalho

O conceito de *participatory design* vem sendo discutido, pelo menos, desde a década de 1970<sup>11</sup> e remete à diversos contextos<sup>12</sup>. Sanoff (1985) já defendia que diversas inadequações de projetos de ambientes físicos (em geral, edificações) vinham do abismo existente entre a postura do projetista, que acreditava ser capaz de preencher no projeto todas as necessidades dos futuros usuários, e a visão dos cientistas sociais (e do comportamento), que ignoravam o ambiente físico nos estudos dos ambientes sociais e seus efeitos sobre os comportamentos humanos. Para este autor, a proposição participativa vem da crença que as pessoas impactadas pelas decisões de projeto devem estar envolvidas no processo de tomada destas decisões.

Granath, Lindahl e Rehal (1996) apresentam a evolução do conceito do conceito do *participatory design*, que no início teria uma função democrática de distribuição de poder (*empowerment*) para uma função de capacitação (*enablement*). Os autores mostram os desafios que as primeiras experiências de projeto participativo tiveram na Suécia (fim da década de 1960 e início da década de 70) e como a legislação daquele país influenciou para a criação de métodos e ferramentas que viabilizassem a participação de trabalhadores de forma efetiva nas discussões que envolvessem o ambiente de trabalho.

---

<sup>11</sup> Reich et al. (1996) faz referência ao livro: Cross N. (ed) *Design participation*. Academy Editions, London, UK (1972). Sanoff (2007) afirma que o projeto participativo surge no início dos anos 1970 na Noruega quando, com a introdução dos sistemas informatizados, os líderes sindicais se uniram com os profissionais de computação para ter maior influência neste processo.

<sup>12</sup> Para conceituar de forma ampla o termo foram realizadas buscas em título, palavras-chave e resumo de artigos na base de dados da *Science Direct* com as palavras *Participatory Design*, sendo obtidos 717 artigos em mais de 20 periódicos, publicados entre os anos de 1985 e 2015. Os resultados foram refinados posteriormente para as publicações: *Design Studies* (20 artigos), *International Journal of Industrial Ergonomics* (20), *Procedia – Social and Behavioral Sciences* (18) e *Applied Ergonomics* (16), totalizando 74 artigos. Estes quatro periódicos estavam entre os seis primeiros, ficando atrás apenas de um periódico da área de planejamento de recursos humanos (26) e outro de gestão ambiental (22).



A análise da evolução do projeto participativo do trabalho é feita por Granath, Lindahl e Rehal (1996) com base nas seguintes questões: atores, modo de comunicação, foco do processo de projeto, metas, funções dos atores, contexto e as ferramentas utilizadas e desenvolvidas. Os estágios apresentados, segundo os autores, ainda são válidos e evidenciam as diferentes possibilidades de se estabelecer um processo participativo, atendendo à contextos específicos e obtendo resultados distintos. No entanto, o terceiro estágio apresenta o conceito de design coletivo<sup>13</sup>, o qual é responsável por destacar atividades de design que geram novos conhecimentos, metas, repertórios e linguagem. Tal processo não busca encontrar o mínimo denominador comum, como os estágios anteriores, e sim criar um espaço onde valores e conhecimentos se confrontam, complementam e modificam um aos outros levando à algo novo (GRANATH; LINDAHL; REHAL, 1996).

Para Sanoff (1985) o projeto participativo tem como vantagens: o aumento da consciência das pessoas sobre as consequências das decisões tomadas; sensação de influenciar o processo de tomada de decisão; e, aumento do sentimento de responsabilidade pela decisão tomada. Inclusive, segundo o mesmo autor, a maior fonte de satisfação dos participantes não está na incorporação das necessidades individuais no projeto e sim na sensação de influenciar decisões - o que é frequentemente explorado para criar ilusões de participação, levantando desta forma, questões éticas. Outras críticas à participação também são apontadas desde a década de 1980, como a impossibilidade de se projetar em grupo – o autor cita a brincadeira de que o camelo é um cavalo que foi projetado coletivamente. Tal perspectiva, normalmente, era exposta por alguns projetistas que supervalorizavam o ato criativo individual e as “sacadas” (*insights*) inexplicáveis; estes profissionais acreditavam que o projeto participativo era uma “moda passageira” (SANOFF, 1985, p. 179).

Reich et al. (1996) afirmam que o projeto participativo é a antítese do projeto tradicional no qual se espera que os projetistas exibam suas expertises. Os autores avaliam e comparam cinco diferentes projetos de *participatory design*: planejamento urbano; instrumento; motor de avião; software; e, posto de trabalho. Os autores apostavam que a evolução do suporte informático e assíncrono (em termos

---

<sup>13</sup> Termo original: *Collective design*, introduzido por Granath (1993, apud GRANATH; LINDAHL; REHAL, 1996).

de hardware e software) seria fundamental para permitir a participação dos vários envolvidos em projetos, em especial, os de longa duração.

Luck (2007) segue a linha de que a atividade de projeto é uma forma de construtivismo social onde os artefatos são projetados e construídos socialmente em interações e, mais especificamente, em conversações. Para este autor, a projeção com e para os usuários se tornou um pilar do projeto interativo.

Kang, Choo e Watters (2015) apresentam o projeto participativo em uma perspectiva multidisciplinar e afirmam que este pode ocorrer de várias formas, incluindo *workshops*, etnografia, prototipagem cooperativa, *mock-ups*, questionários, entrevistas e ao estabelecer relações de longo prazo com os participantes do local de trabalho. Para os autores o objetivo do *participatory design* é criar valor baseado no compartilhamento das compreensões dos diversos *stakeholders* (incluindo projetistas, clientes, usuários, comunidade e outros – com destaque para os usuários).

Em um contexto industrial, remetendo diretamente ao projeto do trabalho, alguns autores também desenvolveram o conceito da participação no projeto. Nagamachi (1995) faz um paralelo direto dos círculos de controle de qualidade com a melhoria contínua (*kaizen*) e diversas ferramentas típicas do modelo japonês de produção com o objetivo de serem usadas com métodos ergonômicos (fatores humanos) para o projeto conceitual do trabalho. No caso apresentado pelo autor, apesar do fato de uma operadora do sexo feminino conseguir, após a implantação do projeto, fazer uma montagem sozinha, o destaque principal dado foi a diminuição do número de trabalhadores em duas linhas de montagem e maior qualidade do produto (ênfase dos princípios do STP).

Na mesma perspectiva, de projeto de situações produtivas em um contexto de ergonomia dos fatores humanos, porém com influência do sistema taylorista ao invés do modelo japonês, Sundin, Christmansson e Larsson (2004) apresentam uma nova proposta denominada como “*participatory ergonomics design*”. Tal proposta tinha como base o conceito de modificar o projeto do produto de forma a melhorar a produtividade e a ergonomia das operações de uma linha de montagem automobilística. Para isto, os autores propuseram que o projeto participativo deveria ser iniciado o mais breve possível, de forma a envolver os projetistas (do produto)

junto com os engenheiros de produção e com ergonomistas. A participação dos trabalhadores ocorreu de forma indireta, isto é, não participaram das reuniões de projeto, mas puderam avaliar projetos testes, dar *feedback* e relatar suas experiências. O projeto foi desenvolvido com apoio de um software de modelagem e simulação humana (Jack/Siemens), protótipo físico em laboratório e estudo de tempos. Assim, o estudo focou no processo de trabalho para visualizar a montagem manual futura e os efeitos de consumo de tempo e posturas adotadas pelos trabalhadores.

Com o objetivo de melhorar os aspectos ergonômicos de postos de trabalho, Kogi (2006) apresenta uma revisão de métodos, que considerou participativos e eficientes, aplicados junto à pequenas empresas, trabalhadores domiciliares, trabalhadores da construção e fazendeiros de diversos países da Ásia. Estes métodos eram compreendidos por um *kit* de ferramentas com *check-lists*, manuais ilustrados, construção de redes de contato (*networking*) e ofereciam soluções com implementações de baixo custo. Para aplicar estas ferramentas os trabalhadores (ou gestores das pequenas empresas) passavam por treinamentos que variavam entre 1 e 10 dias. Após os treinamentos os participantes deveriam reportar as modificações realizadas, que eram examinadas e utilizadas para novos treinamentos e para avaliação dos treinadores. O autor conclui que há uma necessidade de adaptar os kits de ferramentas para outras situações produtivas de outros países para que também sejam aplicados com o suporte de uma rede de instrutores. Uma rede de experiências positivas, segundo Kogi (2006), pode acelerar as melhorias ergonômicas em várias situações produtivas, particularmente em países em desenvolvimento.

No contexto da Ergonomia da Atividade os autores Garrigou et al. (1995) afirmam que a participação dos trabalhadores havia sido consideravelmente desenvolvida nos quinze anos anteriores (remetendo ao início da década de 1980). No entanto, até aquele momento, os resultados obtidos não eram satisfatórios e afirmavam que em termos de produção e qualidade as experiências tinham sido frustrantes e que as condições de trabalho não haviam melhorado, o que resultou inclusive na sensação, por parte do trabalhadores que haviam participado, de terem sido enganados, já que não houve nenhum benefício percebido.

Neste artigo intitulado como “Atividade de análise *no participatory design* e análise da atividade *do participatory design*<sup>14</sup>” Garrigou et al. (1995) afirmam que o projeto participativo deve servir para mudar as representações do trabalho daqueles que estão envolvidos no processo de concepção, alterando desta forma o processo de projeto usual. A proposta do estudo é analisar a participação de trabalhadores (no projeto de um sistema técnico complexo) como uma atividade caracterizada do ponto de vista da cognição. Uma das atividades analisadas foi a confrontação de conhecimentos dos operadores, sendo que estes são caracterizados como heterogêneos (apesar dos estereótipos sociais que tendem a subvalorizar os tipos de conhecimentos utilizados pelo trabalhadores, em especial os trabalhadores manuais) e tácitos (obtidos de forma implícita e sem que os trabalhadores tenham consciência de que os possui). Com relação às características dos conhecimentos dos projetistas os autores apontam que, obviamente, estes possuem conhecimento técnico e do processo de projeto mas que tendem a subestimar a variabilidade industrial e falham na consideração de como o corpo humano atua, seja em termos físicos, cognitivos ou psíquicos. O estudo apontou que as confrontações iniciais foram pouco influenciadas pelos ergonomistas, sendo que estes ao longo do processo conseguiram influenciar o processo de projeto levando os participantes, de forma gradual, terem questionamentos mais pertinentes.

Garrigou et al. (1995) concluem que a função do ergonomista no processo de *participatory design* está na criação de duas situações específicas: construção social da intervenção (negociando os objetivos de todos os participantes no sentido de obter melhores condições de trabalho e maior eficiência técnica para o sistema produtivo) e gestão das interações sócio cognitivas nos grupos de trabalho (auxiliando inicialmente na modificação das representações para que, posteriormente, ocorresse de forma espontânea a construção do problema nesta perspectiva).

Kuorinka (1997) afirma que a participação na ergonomia é resultado de muitas tendências: participação na sociedade; organização da produção sob princípios sócio técnicos; e, desenvolvimento da ergonomia do “micro” para o “macro”. O autor também aponta outras influências como do “*just in time*” (princípio do modelo

---

<sup>14</sup> Tradução do próprio autor. Original: “*Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity*”.

japonês) e do “*design for manufacturing*” (princípio de projeto de engenharia) que aumentariam a necessidade de uma ergonomia participativa e alterando inclusive a função do ergonomista, de especialista para um agente de mudança.

A questão do aprendizado dos participantes é colocada por Kuorinka (1997) como essencial no processo da ergonomia participativa, tanto em termos profissionais (ao lidar com diferentes aspectos técnicos) quanto sociais (aprendendo a comunicar seus conhecimentos e experiência além das fronteiras profissionais). Para promover o aprendizado os métodos e ferramentas do “*conventional design*” pode não ser aplicável em um contexto participativo, segundo o autor. A simulação em postos de trabalho em escala natural é colocada como uma ferramenta de projeto que permite a visualização e exploração de uma proposta do futuro estado do objeto em concepção que antes ficava restrita à uma imagem mental do líder do projeto. Assim, deve-se buscar que esta imagem seja compartilhada e enriquecida pelos participantes. Outro ponto abordado no estudo foi a importância de promover a solução, isto é, ela precisa ser atraente para que convença os tomadores de decisão; neste sentido o autor coloca que o maior argumento de vendas é que o processo participativo seja capaz de alcançar uma compreensão realista das operações de produção no nível do chão da fábrica e converter esta informação de forma a adequá-la ao projeto.

Seim e Broberg (2010) propõe uma função específica para o ergonomista como agente de mudança: “*workspace designer*<sup>15</sup>”. Assim, ao invés do ergonomista ficar “empurrando” a ergonomia para dentro do processo de projeto, ele passaria a assumir uma postura mais orientada ao projeto com ênfase na organização do processo de concepção. Os autores colocam a necessidade de entender o processo de concepção dentro de diferentes perspectivas e para isso utilizam o modelo SOFT<sup>16</sup> onde o trabalho é inscrito em um losango com quatro dimensões: Espaço (*Space*), Organização, Finanças e Tecnologia. Os participantes do projeto devem ser capazes de atuar, facilitar e negociar o processo junto aos demais participantes pelos quatro vértices do modelo. Para estabelecer um processo de projeto colaborativo os autores utilizam (e discutem) métodos como *workbook* (caderno com imagens das instalações produtivas no qual os operadores são

---

<sup>15</sup> Tradução possível: Projetista de Espaços de Trabalho.

<sup>16</sup> Horgen et al. (1999, apud SEIM; BROBERG, 2010).

incentivados a anotar questões sobre o processo e o ambiente produtivo), *layout workshops* (reuniões para apresentar propostas pré-concebidas de layout para discussão de aspectos positivos e negativos observados; utiliza-se para isto um jogo de tabuleiro com peças e registros escritos sobre uma planta 2D impressa) e *scenario workshops* (encontro para simular os processos de trabalho futuros a partir de cenários nas novas instalações com uso de dois suportes: maquete física da nova planta; e, marcações no piso representando máquinas e novas paredes no local onde será instalada a nova unidade de produção).

Broberg, Andersen e Seim (2011) usam o conceito de objetos de fronteira (*boundary objects*) para compreender a função dos objetos na ergonomia participativa em processos de projeto. Outro conceito, o de objetos intermediários (*intermediary objects*), é explorado por Hall-Andersen e Broberg (2014) como forma de auxiliar a integração da ergonomia ao Design de Engenharia.

Ambos os conceitos são tratados com maior detalhe nos próximos tópicos por serem importantes para a discussão em curso, em especial, pela proposta de aplicação de suportes de simulação como objetos intermediários no processo de concepção de situações produtivas.

Destaca-se no entanto que, apesar de ser um conceito novo para a ergonomia participativa no projeto de situações produtivas, os objetos de fronteira (e intermediários) podem ser considerados parte do cotidiano dos *designers* e engenheiros (BROBERG; ANDERSEN; SEIM, 2011). Assim, desde que a engenharia existe, os engenheiros (e projetistas em geral) fazem uso de objetos para projetar e comunicar seus desenvolvimentos.

### 2.3.1. Objetos de fronteira

O conceito de objetos de fronteira<sup>17</sup> foi introduzido por Star e Griesemer (1989) e buscava responder à heterogeneidade do trabalho científico e a necessidade

---

<sup>17</sup> Também traduzido como objetos fronteiricos. Termo original: “*boundary objects*”.

de cooperação entre participantes auxiliando na interpretação de seus mundos sociais<sup>18</sup>.

A questão colocada por Star e Griesemer (1989) reside na dificuldade do processo de criar uma representação comum (para a solução de problemas científicos, por exemplo) em um contexto de intersecção de mundos sociais diferentes e estabelecer um *modus operandi* colaborativo. Quando os mundos dos diferentes atores deste processo se interseccionam é que a dificuldade aparece, segundo os autores, e a criação de novos conhecimentos científicos dependem da comunicação e de novas descobertas que possuem significados diferentes em seus mundos. Uma reconciliação de significados é necessária e requer um esforço substancial da parte de todos os envolvidos (STAR; GRIESEMER, 1989).

Para o desenvolvimento do conceito de objetos de fronteira, os autores propõem uma abordagem ecológica a qual tem como vantagem considerar que o ponto de vista de amadores não é melhor ou pior do que o de profissionais, por exemplo. A definição dada é que os objetos de fronteira são objetos que são tanto plásticos (para se adaptarem às necessidades locais e restrições daqueles que o utilizam) quanto robustos (o suficiente para manter uma identidade comum através das situações). Estes objetos podem ser abstratos ou concretos e possuem diferentes significados nos diversos mundos sociais, mas sua estrutura é comum o suficiente para que os mundos os reconheçam, sendo um meio de interpretação. A criação e gestão dos objetos de fronteira é um processo chave no desenvolvimento e manutenção da coerência através do interseccionamento dos mundos sociais (STAR; GRIESEMER, 1989; tradução do próprio autor)<sup>19</sup>.

Wenger (2000) define os objetos de fronteira dentro do contexto das comunidades de prática que definem a base do sistema de aprendizagem social (por estas conterem as competências que compõem um sistema deste tipo). Tais objetos,

---

<sup>18</sup> Os autores não definem explicitamente o conceito de mundo social, mas referem-se aos diferentes papéis sociais das pessoas nas organizações, como gestores, especialistas, amadores, cientistas, patrões, entre outros.

<sup>19</sup> Texto original com a definição: “*Boundary objects are objects which are both plastic enough to adapt to local needs and constraints of the several parties employing them, yet robust enough to maintain a common identity across sites. They are weakly structured in common use, and become strongly structured in individual-site use. They may be abstract or concrete. They have different meanings in different social worlds but their structure is common enough to more than one world to make them recognizable means of translation. The creation and management of boundary objects is key in developing and maintaining coherence across intersecting social worlds*” (STAR; GRIESEMER, 1989, p. 393).

para este autor, possuem seu valor não apenas como artefato de uma prática mas sobretudo na medida que suportam conexões entre diferentes práticas. Para Wenger (2000, p. 236) as formas que estes podem assumir são várias: artefatos (ferramentas, documentos ou modelos); discursos (linguagem comum para as pessoas se comunicarem); e, processos (rotinas e procedimentos).

Carlile (2002) também apresenta uma proposta de categorização dos objetos de fronteira com base em Star (1989, apud CARLILE, 2002): repositórios (como bases de dados de custos, bancos de dados CAM/CAD, por exemplo); métodos e formatos padronizados (como relatórios padronizados ou métodos bem estabelecidos, como o FMEA, por exemplo); objetos ou modelos (representações simples ou complexas como esboços, desenhos, maquetes e simulações computacionais, por exemplo); e, mapas de fronteiras (representando as dependências e limites entre diferentes grupos de forma sistematizada, como gráficos de Gantt, mapas de processo e matrizes de fluxos de trabalho, por exemplo). Devido à similaridade, o autor combina as duas últimas categorias em uma única: objetos, modelos e mapas (CARLILE, 2002).

Broberg, Andersen e Seim (2011) apresentam um quadro síntese com uma categorização dos objetos de fronteira - baseada nas categorias de Wenger (2000) e Carlile (2002) - e diversos registros de objetos utilizados extraídos de 19 estudos de ergonomia participativa entre os anos de 1995 e 2008. A síntese é apresentada no Quadro 2.

Pode-se concluir que muitos objetos têm sido utilizados em processos de ergonomia participativa, porém, como Broberg, Andersen e Seim (2011) afirmam, raramente suas funções, formas de funcionamento e impactos são discutidos nos estudos, ou ainda a razão de suas escolhas entre outros objetos possíveis.

Hall-Andersen e Broberg (2014) definem a função dos objetos de fronteira como mediadores na comunicação direta entre diferentes atores. Em contraste à estes, os autores introduzem o conceito de objetos intermediários no contexto de Design de Engenharia, os quais possuem uma função mais ativa no processo de concepção.



**Quadro 2** Categorização de objetos de fronteira em ergonomia participativa

<b>Tipo do Objeto</b>	<b>Registros em processos de ergonomia participativa</b>
Repositório	Nenhum
Métodos e formatos padronizados	Documentos <ul style="list-style-type: none"> <li>– Diagramas de Ergonomia</li> <li>– Questionários</li> <li>– Relatórios de danos</li> <li>– Lista de resultados e problemas</li> <li>– Inventários</li> <li>– Diagramas de layout</li> <li>– Esboços feitos à mão</li> <li>– Desenhos</li> <li>– Diagramas</li> <li>– Tabelas</li> <li>– Relatórios de reuniões</li> <li>– Diagramas de Pareto</li> <li>– Diagramas de relações</li> <li>– Diagramas de árvore</li> </ul> <i>Breakthrough thinking</i> Testes de usabilidade Entrevistas com grupos
Objetos, modelos e mapas	Protótipos Testes de estações de trabalho e equipamentos Apresentações de slides com imagens de postos de trabalho CAD Visualização computacional <ul style="list-style-type: none"> <li>– 2D</li> <li>– 3D</li> <li>– Animações</li> <li>– Manequins</li> <li>– Ambiente virtual</li> </ul> Maquetes em escala ou tamanho real ( <i>mock-up</i> ) Jogos de produção Gráficos espinha de peixe Quadro de avisos ergonômicos
Discursos	Questionando situações Ações típicas de situações Auto-confrontação Vídeos com trabalho gravado Modelo de diálogo
Processos	Prototipação Testes de novas formas de trabalho Visitas a outros departamentos ou postos de trabalho

**Fonte:** Traduzido pelo autor a partir de Broberg, Andersen e Seim (2011, p.466).

### 2.3.2. Objetos intermediários

Vinck (2009) afirma que a noção de objeto intermediário está inscrita em um campo de pesquisa na sociologia próximo aos que levaram ao conceito de objetos de fronteira. Para o autor, nos dois casos, a questão está na consideração da heterogeneidade dos mundos sociais das ciências, seguir seus atores e relatar suas atividades e práticas efetivas, incluindo a formatação dos conhecimentos, objetos e

arranjos sociais. No entanto, as noções emergem de enquadramentos de pesquisas diferentes. No caso dos objetos de fronteira a situação analisada está sobre as intersecções entre quaisquer mundos sociais em torno de um lugar específico: um museu de história natural. Para os objetos intermediários a investigação centrou-se sobre o estudo de 120 redes de cooperação científica, de forma a caracterizá-las em termos de organização, coordenação e acordos entre elas. Assim, ao contrário do primeiro conceito, a pesquisa sobre objetos intermediários não teve como foco compreender a sincronização cognitiva dos vários mundos sociais e sim descrever as redes de relações entre atores.

Vinck e Jeantet (1995) desenvolvem a abordagem conceitual de objetos intermediários dentro de um contexto sócio técnico de processo de design de produtos. O objetivo é propor que os objetos, já empregados por engenheiros e projetistas, tenham funções bem determinadas e auxiliem na redução da dicotomia entre os aspectos técnicos e aspectos sociais no processo de design. Os autores afirmam que existe uma diversidade de objetos intermediários, que se caracterizam por se encontrarem entre vários elementos, vários atores ou fases sucessivas, designando desta forma genericamente desenhos, arquivos, protótipos que marcam a transição de um estágio para outro, circulando de um grupo para outro ou no entorno de vários atores. No entanto estes objetos localizados “entre” atores são ampliados por Vinck (2009). Neste estudo a autora afirma que, ao contrário do conceito de objetos de fronteira, a noção de objetos intermediários ainda encontra-se em sua “infância” deixando em aberto aos pesquisadores a estrutura interpretativa dada, isto é, se os objetos serão ou não interpretados por diferentes atores, serão ou não veículos de padronização, cruzarão mundos sociais distintos ou serão aplicados em um mundo social específico.

Vinck (2009) sugere uma articulação conceitual entre as noções de objeto de fronteira e objeto intermediário. Para a autora nem todos os objetos intermediários são objetos de fronteira; aqueles são artefatos que circulam de um ator para outro ou em torno do qual gravitam diversos atores. No entanto, em alguns casos, eles contribuem para a articulação entre mundos sociais heterogêneos e se tornam objetos de fronteira quando os elementos estruturais são parcialmente comuns entre mundos.

Nesta pesquisa, a interpretação que se deseja utilizar como referencial conceitual para a análise da investigação de campo e posterior construção de conhecimentos reside na perspectiva instrumental dos objetos intermediários em processos de concepção de forma à articular diferentes mundos sociais (e mundos objetos, na perspectiva de Bucciarelli (1988)). **Assim, os objetos intermediários, nesta perspectiva, atuam preferencialmente como objetos de fronteira e, dentre as categorias anteriormente apresentadas para estes objetos, estão centrados em: “objetos, modelos e mapas”. A este recorte particular, o presente trabalho refere-se como “objetos intermediários de concepção”.**

### 2.3.3. Objetos intermediários de concepção

O conceito de objeto intermediário de concepção possui sua importância no processo de projeto na medida que é flexível para partir de uma versão inicial e abstrata de uma solução e pode se aproximar das especificações técnicas finais do objeto em projeto.

Um processo de projeto que converge para um objeto fechado e detalhado diminui a possibilidade de erros (ou desencontros) semânticos, como ocorrem com outros objetos intermediários ou de fronteira (HALL-ANDERSEN; BROBERG, 2014). Estes desencontros ocorrem devido às traduções necessárias de conceitos “abertos” presentes em um objeto fechado, como em uma descrição textual ou muito simplificada graficamente de um sistema técnico, que necessitam de uma extensa atividade de ressignificação por parte de quem dará prosseguimento (fará o detalhamento e/ou implementação) à solução.

No Design de Engenharia este fenômeno também aparece e geralmente é tratado como “lacunas” (ou *gaps*) das especificações do projeto; estas brechas podem ser preenchidas basicamente de duas formas: ou retorna-se o projeto aos que desenvolveram questionando ou validando a interpretação feita ou, os atuais responsáveis pelo desenvolvimento do projeto assumem a responsabilidade para “continuar” o projeto. A segunda opção é a mais comum mas tem como desvantagem a possibilidade de que, quem assume o projeto, não seguirá os mesmos preceitos e princípios acordados no desenvolvimento anterior. Esta escolha se dá por algumas razões, entre elas por pressão temporal, otimização financeira da solução ou ainda

pelo fato de que não se reconhece a importância de considerar os diferentes mundos objetos envolvidos no processo como um todo.

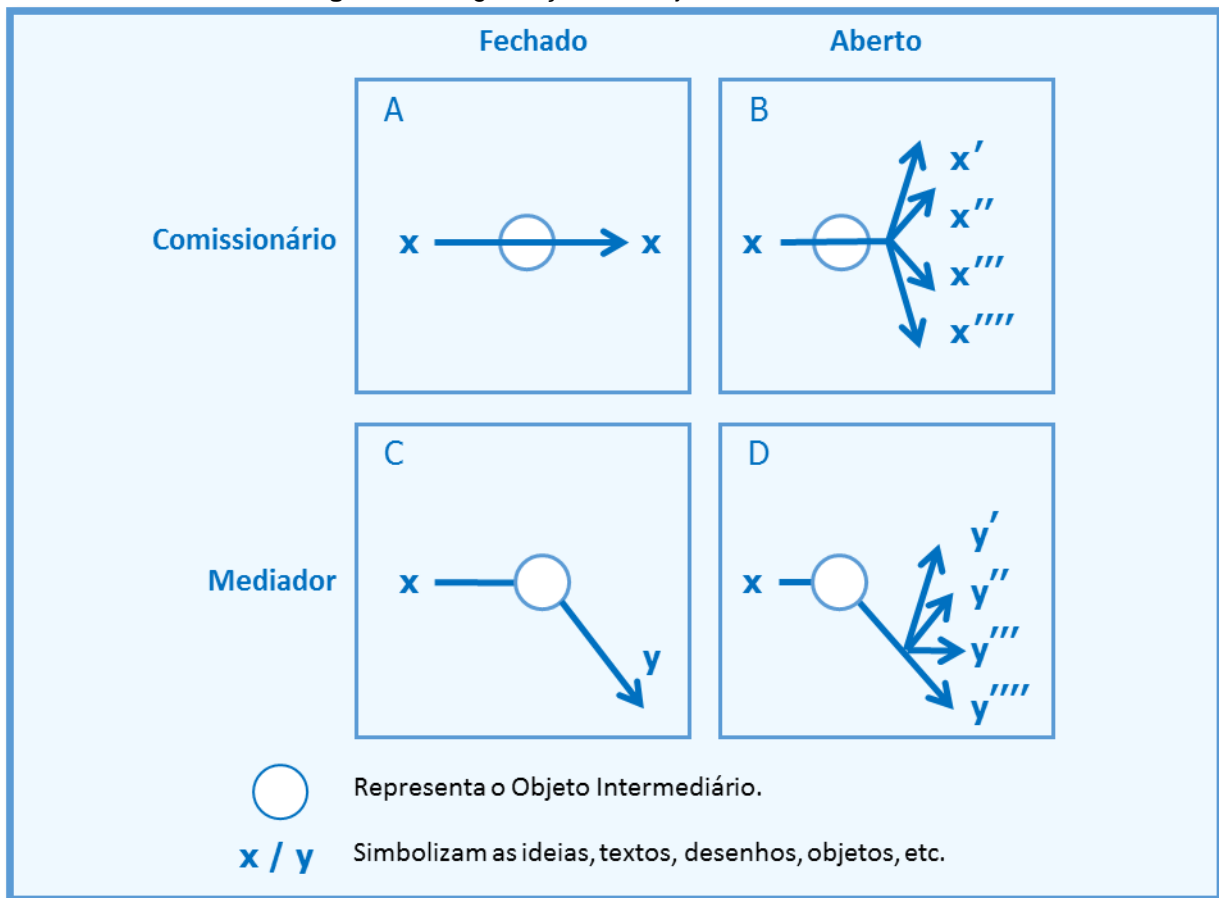
Erros de interpretação também podem ser evitados com o uso de objetos intermediários de concepção que resultem em conceitos detalhados. Hall-Andersen e Broberg (2014) citam o exemplo de um relatório com orientações ergonômicas<sup>20</sup> que fazia referência à um transportador auto propelido e que foi interpretado como um robô – sendo este último considerado como de implementação inviável. Na realidade o grupo de projeto tinha em mente um carrinho motorizado que fosse guiado pelos trabalhadores, sem que estes precisassem realizar grande esforço físico, especialmente em rampas inclinadas.

As funções e usos dados aos objetos intermediários de concepção podem ser compreendidos de diversas formas. Neste trabalho utiliza-se o quadro teórico apresentado por Jeantet et al. (1996, p. 97) que define que tais objetos podem ser: comissionários (ao transmitir conceitos); mediadores (ao permitir flexibilidade interpretativa); fechados (permitem uma ação restrita e controlada); e, abertos (permitem uma diversidade de ações, previstas antecipadamente ou não). A Figura 6 apresenta o diagrama proposto com quatro posturas teóricas possíveis para os objetos intermediários de concepção.

Os **objetos comissionários** são considerados meios de transmissão de ideias, especificações, conceitos, desenhos, enfim, de representações bem definidas e sem objetivo de discussão ou reflexão. Assim, são considerados objetos neutros que apenas tornam explícitas prescrições, geralmente originadas em níveis hierárquicos superiores ou que possua função social dentro da organização (projeto de um novo posto de trabalho definido por um departamento de métodos e processos, por exemplo). Na outra ponta deste primeiro eixo, os **objetos mediadores** atuam com o objetivo de permitir uma flexibilidade interpretativa. Desta forma, seu uso parte do pressuposto que será avaliado, discutido e transformado pelos participantes do processo de concepção.

---

<sup>20</sup> Termo original: *Ergonomic guideline document*.

**Figura 6** Categorização dos objetos intermediários

**Fonte:** Adaptado e traduzido pelo autor a partir de Jeantet et al. (1996, p. 98).

O segundo eixo proposto por Jeantet et al. (1996) caracteriza as possibilidades de ação em dois extremos: fechado e aberto. O **objeto fechado** transmite uma maneira única e específica de se atuar, como se fosse um roteiro de ação onde deve-se agir conforme as intenções de quem o concebeu. Por outro lado, os **objetos abertos** permitem uma diversidade de decisões e ações, podendo ou não serem previstas no objeto. Tais objetos colocam no campo da ação o uso das experiências e competências ao criar espaço para iniciativas.

Estes eixos não têm como objetivo, segundo os autores, classificar cada objeto dentro de uma categoria única. Assim, um objeto intermediário não pode por si ser rotulado como mediador ou comissionário, aberto ou fechado. As situações, contextos de uso e forma de coordenação do processo são fundamentais para caracterizá-los.

Assim, acredita-se que tais objetos, em suas diferentes formas e funções, podem ser instrumentos importantes ao longo de todo processo de

concepção de situações produtivas, de forma a colaborar na incorporação da atividade (segundo a perspectiva da ergonomia situada) e das questões técnicas que buscam a eficácia do trabalho (objetivo central do projeto do trabalho na abordagem clássica da engenharia de produção, conforme apresentado anteriormente). Faz-se necessário neste momento retomar a discussão apontada no final do tópico anterior (2.2) a respeito da perspectiva da Ergonomia da Atividade e como esta compreende e projeta o trabalho.

#### **2.4. Ergonomia da Atividade e Projeto do Trabalho**

Ao contrário da crítica usual, Lima e Duarte (2014) afirmam que Taylor não negligenciava os aspectos ergonômicos e a carga de trabalho, como apresentado anteriormente. Os autores, inclusive, situam a ergonomia (assim como as outras ciências que proponham organizar racionalmente o trabalho) como herdeira direta do taylorismo. No entanto, se os princípios teóricos da Administração Científica do trabalho não obtiveram o resultado prático esperado, o compromisso de integrar saúde e produção coube à ergonomia, intervindo no projeto de situações de trabalho (LIMA; DUARTE, 2014).

Assim, desde a segunda guerra mundial, a ergonomia busca associar os conhecimentos da área da saúde com os conhecimentos da engenharia e organização. Naquele contexto, a abordagem dos Fatores Humanos, como ficou conhecida a ergonomia de origem anglo-saxônica, surge e se pauta pela produção de conhecimentos, em especial parâmetros fisiológicos e cognitivos, a partir de experimentos e levantamentos controlados (em laboratório, por exemplo) para influenciar o projeto do trabalho. A efetividade desta abordagem é limitada, em especial, por desconsiderar a variabilidade dos trabalhadores (características psicofisiológicas) em situação real de trabalho e a variabilidade do ambiente e das condições reais, determinantes para o desenvolvimento das atividades produtivas. Como resposta é desenvolvida outra abordagem, centrada na atividade.

A Ergonomia da Atividade, de origem francófona, desenvolveu-se de forma a compreender o trabalho real para posteriormente, transformá-lo (GUÉRIN et al., 2001). A prática desta abordagem é baseada na análise da atividade, sendo esta

considerada o elemento estruturante e organizador das situações de trabalho; o principal método que incorpora tal compreensão é a Análise Ergonômica do Trabalho (AET). Tal perspectiva permitiu aos ergonômistas conhecer de forma mais profunda os determinantes e constrangimentos aos quais os trabalhadores são submetidos.

Assim, se durante as décadas de 1970 e 80, os ergonômistas desta linha tornaram-se especialistas em condições de trabalho, nas décadas seguintes eles foram confrontados a se transformarem em atores do processo de projeto dos sistemas de trabalho (JACKSON, 2000). Para isto, segundo Jackson (2000, p. 62), a “ergonomia desenvolveu métodos de participação nos projetos, tendo como base a descrição do trabalho e a busca por um prognóstico do trabalho futuro”. O papel do ergonômista, inicialmente visto como do analista que gera recomendações, se modifica para uma forma de atuação direta sobre os processos de concepção dos meios de trabalho, de forma a permitir que, em todas as fases destes, as decisões sejam pautadas por uma reflexão sobre o trabalho futuro.

Nessa abordagem, para Garrigou et al. (1995), a função do ergonômista não pode ser apenas a de trazer “novas peças” de conhecimento para os projetistas, para que estes adicionem às que eles já possuem. Para estes autores o papel da ergonomia deve ser o de mudar as representações sobre o trabalho daqueles que estão envolvidos no projeto. Isto é, muda-se a forma que os projetistas entendem o trabalho das pessoas que irão atuar na situação em concepção. No entanto, destacam que os próprios trabalhadores, às vezes, não possuem uma consciência completa das estratégias que desenvolvem conforme as variabilidades que enfrentam.

Béguin e Weill-Fassina (2002) apontam questões operacionais que envolvem o lugar da ergonomia no processo de concepção. Historicamente a ergonomia de correção se confrontou com ambientes cristalizados e com pouca chance para mudanças profundas. Esta ergonomia se transformou progressivamente em uma ergonomia de concepção, a qual busca interagir de forma precoce nos processos de projeto de situações produtivas. Jackson (2000) aponta o contexto francês das décadas de 1970 e 1980, incluindo um aparato legal (leis “Auroux”), para explicar a passagem de uma ergonomia de correção (ou do ergonômista como especialista em condições de trabalho) para uma ergonomia de concepção (ergonômista como ator do processo de projeto).

Jackson (2000) cita também quatro razões para as dificuldades dos ergonomistas em transformar efetivamente as condições de trabalho: i) o ergonomista possuía até então um papel de perito, o qual realizava o diagnóstico, mas ficava excluído do processo de transformação; ii) este profissional/pesquisador dispunha de conhecimentos sobre aspectos físicos dos postos de trabalho, mas não possuía conhecimentos ou métodos para influenciar as exigências da organização do trabalho; iii) como a entrada da ergonomia nas empresas no contexto francês se dava, geralmente, através de sindicatos, os representantes da empresa, incluindo projetistas, não cooperavam significativamente com os ergonomistas; e por fim, 4) o diagnóstico produzido não permitia que ele assegurasse a qualidade da situação transformada, visto que esta revelaria novos determinantes e novos riscos (JACKSON, 2000).

Neste sentido destacam-se a seguir diferentes proposições teóricas que envolvem a Ergonomia da Atividade e a aplicação da simulação visando o projeto do trabalho.

#### 2.4.1. Simulação e a atividade futura

Daniellou (2007a) em debate teórico sobre a essência da ergonomia e sua contribuição para melhoria do trabalho, em especial na participação daquela nos processos de concepção, conclui que as simulações das futuras situações de trabalho parecem ser a pedra angular que fundamenta tal articulação. Ainda nesta abordagem, Carballeda (2002) aponta a simulação como objeto de análise (de diferentes cenários possíveis de uma situação futura) e como espaço de confrontação de lógicas entre os diferentes participantes do processo de projeto.

Para Duarte (2002) a construção destes cenários, a partir da análise da atividade, possibilita a simulação das condições de realização da atividade futura. As simulações, novamente, são colocadas por este autor como ferramentas para “fazer emergir as diferenças entre as representações de cada um dos atores e as inter-relações entre os diversos aspectos do projeto, favorecendo a integração do conjunto” (DUARTE, 2002, p. 20).

Para Béguin e Weill-Fassina (2002) a simulação está tensionada por dois polos: em um extremo a técnica e no outro a atividade. A técnica encontra-se centrada



na eficiência e no desempenho do sistema homem-máquina. A atividade “tende a privilegiar a atividade dos operadores”, sendo que a compreensão desta é considerada necessária para otimizar o funcionamento do sistema (BÉGUIN e WEILL-FASSINA, 2002, p. 41).

Leplat (2004) distingue duas principais categorias de simulação: simulação da tarefa e simulação dos sujeitos. Na primeira, trata-se de simular as condições externas da atividade. A segunda objetiva compreender os processos cognitivos que os trabalhadores colocam em ação ao desenvolver suas atividades. O autor, ao tratar do trabalho em sistemas complexos, afirma que existem vários tipos de simulação (estática/dinâmica; parcial/global; validade facial ou não, entre outras) sendo que os modos de concepção e o uso da simulação também podem variar (simulações definidas pelo projetista até simulações do tipo participativa, sendo estas elaboradas pela cooperação entre projetistas e futuros usuários).

Para Daniellou (2007a) as simulações podem ser do tipo “liderada por especialistas”, as quais não necessitam da presença de usuários, ou do tipo “experimento controlado”, na qual um dispositivo simulará um ambiente de trabalho e a dinâmica do processo. Para o autor o objetivo da simulação na ergonomia é aproximar a atividade futura dos usuários e detectar os problemas que podem surgir, tanto em termos de saúde quanto eficiência. No entanto, destaca também Daniellou (2007a) uma importante questão teórica: a atividade real do usuário não pode ser prevista. As decisões de projeto podem abrir ou fechar possibilidades para as atividades futuras, isto é, algumas atividades tornam-se possíveis e outras não. Para responder aos desafios de incorporar a atividade via simulação no projeto do trabalho é proposto por Daniellou o método da Abordagem da Atividade Futura (AAF), apresentado na sequência.

#### 2.4.2. A abordagem da atividade futura

A necessidade de desenvolvimento de novos métodos que auxiliassem os ergonomistas a refletir, analisar e conceber o trabalho futuro tornou-se, progressivamente, mais clara. Tal mudança decorreu da percepção da complexidade dos processos de projeto dos quais os ergonomistas precisavam participar o tempo todo, caso desejassem influenciá-los de maneira significativa (DANIELLOU, 2007b).

Béguin e Weill-Fassin (2002) destacam o fato da irreversibilidade das decisões projetuais como fator que gradualmente conduziu a passagem de uma ergonomia de correção para uma ergonomia de concepção e que, em termos metodológicos, tornou-se central na abordagem proposta por Daniellou e Garrigou (1993, apud DANIELLOU, 2002b) e, posteriormente, revista e ampliada por Daniellou (2002a, 2005 e 2007b). Daniellou (2002a) coloca que um fator determinante do êxito dos projetos é considerar não somente as situações normais de funcionamento como também o conjunto de situações possíveis em função da variabilidade de materiais, produtos, pessoas, máquinas e ambiente.

Assim, o paradoxo posto para a ergonomia de concepção é de que não existe ainda uma situação a ser analisada, fazendo com que fosse impossível conhecer o trabalho para transformá-lo, como proposto por Guérin et al. (2001).

Para Daniellou (2007b) quando a ergonomia é chamada a atuar em uma fase precoce do projeto, ela pode contribuir no enriquecimento dos objetivos deste e na discussão sobre os princípios de soluções. Para tal função é necessário que o ergonomista reúna os ingredientes necessários e prepare as condições para a simulação da atividade futura. Assim, Daniellou (2002b) apresenta os principais componentes dessa contribuição:

- A análise das situações de referência;
- Identificação das situações características; e,
- Simulações do trabalho futuro.

As situações de referência são unidades de produção com características próximas às da futura unidade de produção a ser concebida e, segundo o autor, não devem ser compreendidas como modelo a ser seguido e sim como fonte de compreensão da variabilidade real e das estratégias empregadas para enfrentá-la. As análises destas situações podem ocorrer de diversas formas, desde simples visitas, passando por uma análise com entrevistas e coleta de documentos, ou até mesmo uma análise da atividade. Daniellou (2005) também aponta como contribuição desta análise a evidenciação das competências disponíveis nos futuros operadores e outras que seriam desejáveis que adquirissem.

A próxima componente da AAF trata do recenseamento das situações de ação características (SAC). Com base na análise das situações de referência é possível a identificação de algumas formas de variabilidade capazes de aparecer no futuro sistema (DANIELLOU, 2007b).

Para o autor o uso das SAC permite, a partir de atividades efetivamente analisadas, avaliar as consequências de certas escolhas estratégicas, servir como referência para a concepção e comparação de propostas de soluções de possíveis fornecedores, apoiar a construção de roteiros de simulação durante o projeto, construção (implantação) e avaliação pós-ocupação (DANIELLOU, 2007b).

A última componente da abordagem é a realização das simulações. Daniellou (2002b) aponta que à medida que as hipóteses de soluções técnicas vão sendo emitidas é possível introduzir simulações para prever as características do trabalho futuro. O autor aponta as seguintes condições para a realização de simulações:

- Condições sociais para que todos participantes tenham acesso, sem constrangimentos, à discussão, incluindo a respeito da pertinência de soluções propostas;
- Os participantes da simulação representam as competências pertinentes ou similares àquelas que serão mobilizadas ulteriormente;
- Existência de suportes de simulação que representem as futuras instalações (plantas, maquetes, protótipos, software de simulação, etc.); e,
- Os roteiros que servirão para a simulação sejam baseados nas SAC recenseadas anteriormente.

Como resultado das simulações, Daniellou (2007b) aponta a construção de um prognóstico relativo ao trabalho futuro: quais modos operatórios o sistema permite adotar nas diferentes SAC? Tais modos são compatíveis com os critérios de saúde e eficácia? Existem dificuldades ou riscos para os trabalhadores?

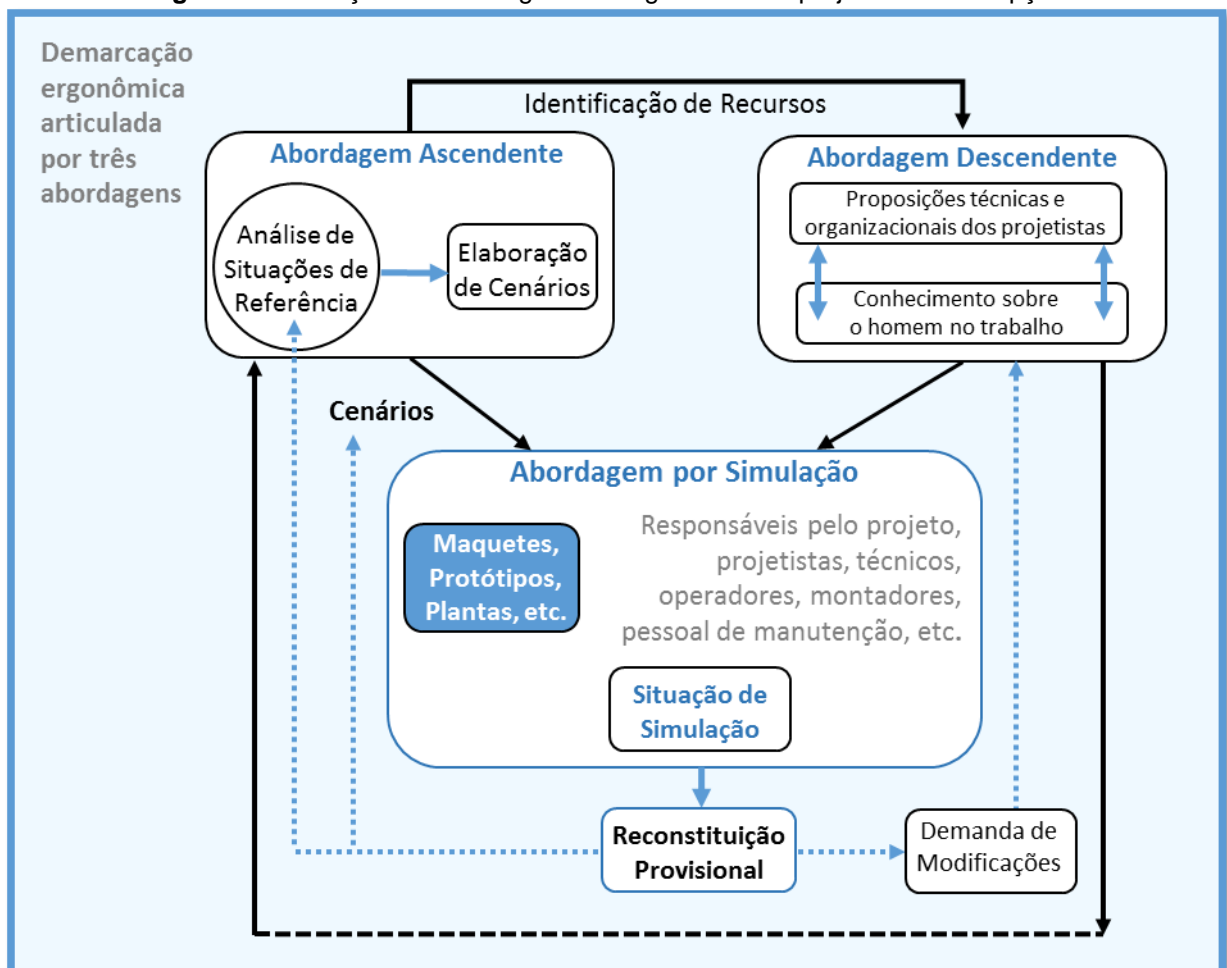
Assim, a abordagem proposta por Daniellou não pretende prever ou prescrever em detalhes a atividade futura do trabalhador, e sim, antecipar o espaço de regulação do sistema a ser concebido.

### 2.4.3. Abordagem descendente, ascendente e por simulação

Garrigou et al. (2001) sugerem um modelo de análise que integra três abordagens articuladas em uma intervenção ergonômica: descendente, ascendente e por simulação. A abordagem descendente está ligada à concepção clássica, ou seja, a ergonomia irá interagir por meio dos conhecimentos do homem em situação de trabalho, no intuito de levar a um enriquecimento da definição dos objetivos do projeto, bem como, à reflexão sobre as escolhas técnicas e organizacionais.

A abordagem ascendente tem como objetivo instruir um retorno da experiência das situações de referência, identificando possíveis variabilidades. Essas identificações permitem caracterizar diferentes situações de uso e de gestão das variabilidades e serão estruturadas sob forma de cenários de atividades futuras. Por fim, os autores articulam as abordagens anteriores com a abordagem por simulação, conforme é apresentado na Figura 7.

**Figura 7** Articulação de abordagens da ergonomia em projetos de concepção



**Fonte:** Adaptado e traduzido pelo autor a partir de Garrigou *et al.* (2001, p. 5).

Esta articulação tem como objetivo produzir prognósticos sobre possíveis dificuldades que os operadores possam vir a encontrar em sua atividade futura. Essas dificuldades podem impactar a eficácia do funcionamento das instalações e a saúde dos operadores. A partir dos prognósticos gerados nesta abordagem criam-se demandas de modificações para a abordagem descendente.

A base desta abordagem, segundo os autores, é a construção social que contribui para a mobilização das partes interessadas no projeto. Assim, a dimensão coletiva do processo de concepção para Garrigou et al. (2001) se dá pela interação, negociação e troca entre os diferentes atores com destaque para o papel dos objetos intermediários (desenhos, modelos, maquetes, plantas, protótipos, entre outros) que auxiliam na tradução do projeto para os diferentes mundos-objetos (saindo do domínio exclusivo do mundo-objeto da engenharia, por exemplo).

Apesar deste modelo de análise incluir uma abordagem por simulação, entende-se que a abrangência desta é pequena, isto é, focada na construção social do processo e validação de propostas, porém com pouca capacidade de construção técnica e até mesmo, social. Tal análise advém do fato de que, a partir dos prognósticos da simulação, é necessário que outra abordagem (descendente, com menor participação da ergonomia e dos demais atores) realize o desenvolvimento técnico das soluções. Nesta linha de raciocínio, é possível compreender que a articulação proposta não favorece o processo dialógico para uma concepção distribuída (BÉGUIN, 2007), ao posicionar a simulação apenas como suporte para a antecipação da atividade futura e ampliação das margens de manobra. Em outras palavras, a simulação atua como um suporte ao projeto (aquilo que é desejável) e não à condução do projeto (aquilo que é possível); é importante que ambas finalidades sejam apoiadas.

#### 2.4.4. O conceito de situação de simulação

Béguin e Weill-Fassina (2002) distinguem as diferentes práticas de simulação conforme os objetivos perseguidos. Segundo os autores são três os objetivos da simulação: objetivo de observação, formação e concepção. Para os autores, a simulação para a observação trata-se de uma ferramenta construída para criar situações que permitam experimentações para compreensão de

comportamentos cognitivos (de indivíduos ou de coletivos). Deve-se neste tipo de simulação identificar as invariantes, preservá-las e eliminar ou modificar as variáveis aleatórias ou menos diretamente implicadas (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002).

O objetivo de formação, segundo os autores o mais conhecido, trata da aplicação de ferramentas de simulação para treinar determinados tipos de tarefas ou de situações. Para Béguin e Weill-Fassina (2002, p. 38) “o objetivo do ensino não é mais o sucesso da ação para o operador, mas a aquisição de competências que permitirão, mais tarde e em outras circunstâncias, alcançar o sucesso”. As principais razões para este uso são a segurança (evitando exposição à riscos reais), a confiabilidade (os resultados obtidos são confiáveis), o custo (economia com materiais e horas dedicadas de máquinas, pessoas e equipamentos para aprendizado em situação real) e possibilidade de experimentar situações com pouca probabilidade de ocorrência no cotidiano da organização.

Por fim, a simulação com o objetivo de concepção é utilizada como ferramenta para o projeto de um objeto ou de uma situação potencial. Segundo Béguin e Weill-Fassina (2002) podem-se distinguir duas aplicações diferentes dentro deste uso: simulação como banco de teste e a simulação como instrumento de gerenciamento de projeto e da intervenção ergonômica.

A simulação como banco de teste tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes configurações de uma solução e observar os desempenhos e assim compará-los entre si ou com o desempenho esperado. Esta perspectiva busca na experimentação de um modelo uma maior compreensão de um sistema real.

A outra aplicação proposta para a simulação que objetiva a concepção é seu uso como instrumento de gerenciamento de projeto e gerenciamento da intervenção ergonômica, busca ao mesmo tempo “uma exploração do campo das possibilidades e participa do processo de redução da incerteza” (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002, p. 40).

Nesta perspectiva apresentada, as ferramentas de simulação são responsáveis por produzir os objetos intermediários (grafismos, maquetes, animações, imagens, entre outros) durante o processo de concepção e recebem um

triplo estatuto: (1) de objeto simbólico, (2) de resultado de uma determinada etapa e (3) de meio de simulação individual e coletiva (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002).

#### 2.4.5. Simulação e o desenvolvimento da atividade

Posteriormente ao conceito de situação de simulação, Béguin (2008) defende que a existência de três diferentes contribuições da ergonomia para os processos de projeto: a Cristalização, a Plasticidade e o Desenvolvimento da Atividade. Para o autor a “cristalização” enfatiza que a atividade de trabalho deve ser modelada ao mesmo tempo em que se especificam as ferramentas, isto é, o projeto de um artefato cristaliza nele um conhecimento. A “plasticidade” argumenta que a eficiência dos dispositivos não repousa unicamente sobre as decisões oriundas dos escritórios de projeto, mas também da atividade. Assim, o sistema a ser desenvolvido necessita ser plástico para permitir certo grau de liberdade e se adaptar à variabilidade presente na atividade. E, por fim, a contribuição do “desenvolvimento” indica que a atividade se desenvolve em conjunto com o desenvolvimento da ferramenta, fazendo com que o processo de concepção não apenas incorpore uma atividade futura possível como contribua para o desenvolvimento de um novo conhecimento acerca da nova situação de trabalho, permitindo tanto a instrumentação quanto a instrumentalização<sup>21</sup> dos sistemas sob concepção (BÉGUIN, 2008).

Desta forma, ao propor uma contribuição do “desenvolvimento”, Béguin (2008, p. 79) descreve uma abordagem dialógica da inovação; dialógica porque busca “situar na mesma cena as lógicas e posições heterogêneas dos operadores e projetistas para um fazer em comum”. A inovação deriva do fato de que a atividade é “fonte de criatividade situada, que explora, interpreta e reorganiza os dados e as decisões ao longo de seu desenvolvimento” (BÉGUIN e CLOT, 2004 apud BÉGUIN, 2008, p. 72). Neste sentido, Duarte (2002) também destaca que a inovação na busca por novas soluções para o projeto do trabalho exige um diálogo interfuncional visando uma criação coletiva.

---

<sup>21</sup> Segundo Béguin (2008) a instrumentação é um processo de acomodação, aceitação ou conformação das maneiras de fazer e pensar; a instrumentalização, após a assimilação do artefato, reinterpreta, adapta e até mesmo transforma (temporariamente ou permanentemente) os objetos técnicos atribuindo sentidos e funções diferentes daquelas previstas pelos projetistas.

Esta perspectiva, ao contrário de Garrigou et al. (2001), contempla as abordagens que Béguin (2007) aponta para o uso da simulação: antecipação, concepção continuada e concepção distribuída. Esta última é abordada de forma específica por Folcher e Rabardel (2007).

#### 2.4.6. Abordagem distribuída da concepção

Diferentes abordagens buscam considerar a relação homem-máquina. Folcher e Rabardel (2007) apresentam as perspectivas das abordagens da interação homem-máquina, sistemas homem-máquinas e da atividade mediada. Os autores defendem que estas não são opostas e sim complementares. Enquanto as duas primeiras compartilham a preocupação de descrever e formalizar o funcionamento humano do ponto de vista de suas capacidades e limites fisiológicos e cognitivos a terceira privilegia a atividade situada, sendo denominada como “abordagem distribuída da concepção”.

Folcher e Rabardel (2007) ponderam a concepção como um processo distribuído e de aprendizagem mútua entre atores múltiplos o que faz com que a unidade de análise e ação para a concepção seja consideravelmente mais ampla do que a tradicional e limitada concepção institucional (ou “concepção para o uso”). Desta forma propõem estender a concepção institucional de forma a articular uma “concepção no uso” com os seguintes princípios:

- Organizar o processo de concepção considerando a realidade social em termos de sociedade, cultura e coletividade à qual o artefato sob projeto é destinado;
- Conceber artefatos de forma a facilitar a continuidade do processo de concepção durante o uso, através das gêneses instrumentais<sup>22</sup>;
- Inspirar-se dos instrumentos resultantes das gêneses instrumentais e desenvolver processos de concepção participativa.

---

<sup>22</sup> Folcher e Rabardel (2007) explicam a expressão *gênese instrumental* como desenvolvimento dos instrumentos orientado em duas etapas: assimilação e acomodação do instrumento, a instrumentação; e, no enriquecimento e especificação de novas funções do instrumento, a instrumentalização. Béguin (2008) compartilha esta definição e afirma que as gêneses instrumentais são fonte de inventividade dos trabalhadores.



Assim, entende-se que a concepção deve ser orientada para a criação de espaços de possibilidades, de forma a permitir desdobramentos para uma atividade produtiva (atendendo a variabilidade e singularidade das situações) e para uma atividade construtiva (permitindo e facilitando o desenvolvimento pelos trabalhadores dos objetos, recursos e condições de sua atividade – a gênese instrumental). A abordagem proposta por Folcher e Rabardel (2007) para uma concepção distribuída traz, desta forma, novos elementos para o processo de concepção que considere a perspectiva da atividade de forma mais ampla.

## **2.5. Referencial Teórico e a Articulação Conceitual Metodológica**

O percurso estabelecido neste capítulo buscou apresentar os principais referenciais teóricos da área de Design de Engenharia, o projeto do trabalho (incluindo a relação deste com os principais modelos de produção), o conceito de projeto participativo (e como alguns autores definem e aplicam os conceito de objetos de intermediação neste contexto específico) e algumas abordagens e reflexões teóricas que articulam a Ergonomia Situada, o projeto do trabalho e a utilização da simulação. Desta forma, a compreensão das bases teóricas aqui apresentadas visa a reflexão da prática proposta nesta pesquisa. Outra questão importante foi a demonstração das limitações apresentadas pelas abordagens existentes atualmente em definir um instrumental técnico e operacional (dominado pelo ergonomista) que viabilize as concepções antropocentradas, especialmente no interior dos atuais contextos de desenvolvimento de projetos das empresas – caracterizados pela dinâmica temporal exígua, recursos financeiros limitados e necessidade de garantia da eficiência operacional.

Ressalta-se que a proposta de construção de pontes entre os diferentes mundo-objetos feita por Bucciarelli (2002; 2003) ecoa em desenvolvimentos próprios no que se refere a atuação da ergonomia em processos de concepção. Exemplo disto são as afirmações de Darses e Reuzeau (2007, p. 350) de que os princípios de uma concepção participativa devem incluir métodos que permitam a troca de saberes entre especialistas, facilitem a livre expressão de seus conhecimentos e sejam compatíveis com as representações de todos participantes (reconhecendo que estes não compartilham o mesmo vocabulário, objetivos, restrições, entre outros); e ainda de

que “é essencial permitir aos usuários e projetistas explorem juntos as formas e funcionalidades das aplicações, bem como sua adequação ao trabalho visado”.

Outra relação direta possível entre a perspectiva do design segundo Bucciarelli e a interação com a Ergonomia da Atividade pode ser observada nas condições estabelecidas por Daniellou (2007b) para a realização das simulações, em especial a primeira: condições sociais para que todos participem da discussão, sem constrangimentos, com acesso adequado às informações e respeito às soluções propostas. Na mesma linha e de forma mais elaborada, pode-se citar o conceito de concepção distribuída de Béguin (2007, p.325) no qual afirma que “o desafio consiste então em articular num mesmo movimento o desenvolvimento dos artefatos ou situações e o desenvolvimento pelas pessoas dos recursos de sua atividade”.

Recuperando e relacionando esta concepção distribuída com o conceito de projeto participativo, há uma relação desta com a proposta de Granath, Lindahl e Rehal (1996) de criar um processo coletivo de design no qual valores e conhecimentos dos diversos participantes (onde todos são considerados usuários e especialistas) se confrontam, complementam e modificam um aos outros levando à algo novo.

Uma questão colocada por Béguin e Weill-Fassin (2002) diz respeito ao lugar e *status* dado ao trabalhador durante o processo de concepção. Para os autores esta questão remete diretamente à utilização de métodos participativos em projetos e destacam a utilização da simulação para viabilizar o processo. Daniellou (2002b) destaca que a participação não deve ficar restrita à colher a opinião dos trabalhadores e afirma que são necessários métodos para alcançar resultados efetivos. Darses e Reuzeau (2007, p. 349) afirmam que “um obstáculo encontrado nas situações de concepção participativa é que os usuários não são projetistas profissionais e não dispõem das ferramentas metodológicas clássicas de concepção”.

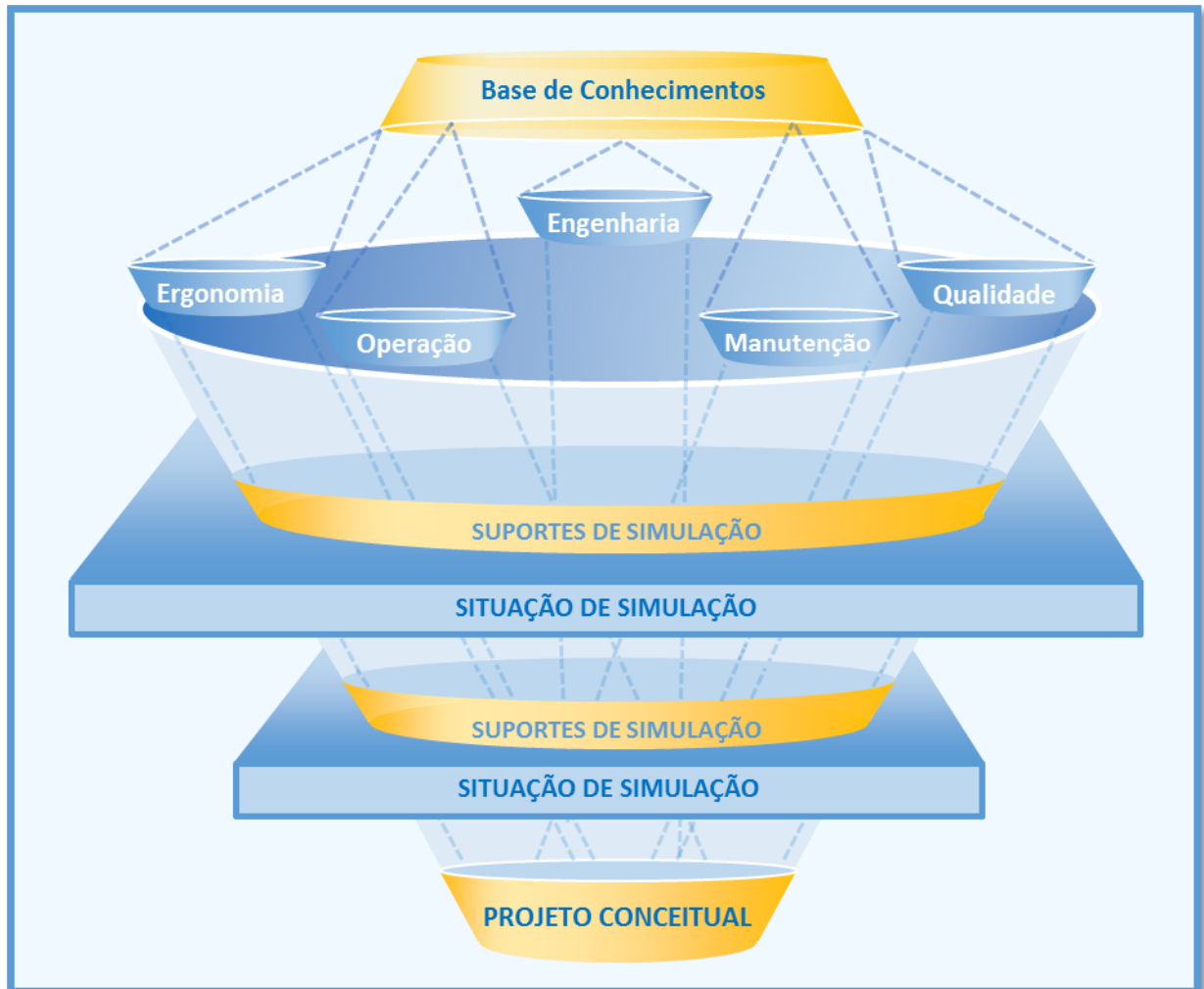
Darses e Reuzeau (2007) apontam outras duas dificuldades para a concepção participativa: a dissimulação e a prescrição reflexiva. A dissimulação da participação refere-se principalmente a determinadas práticas de gestão que passam uma “sensação de participação”, porém não permitem que esta seja efetiva, isto é, sem reflexo direto na tomada de decisão. Segundo os autores, as empresas buscam os benefícios da participação (como a menor resistência à mudanças e maior

satisfação) porém sem abrir mão do poder de decisão centralizado. Os autores concluem que estes métodos podem ser rapidamente detectados, não resistindo ao tempo e ocasionando conflitos (DARSEES e REUZEAU, 2007). A outra dificuldade apontada pelos autores se refere à dificuldade que certos trabalhadores podem ter ao participar da concepção de um sistema de trabalho do qual será usuário. Assim, a percepção de que está prescrevendo seu trabalho futuro poderia fazer com que este tente manter o máximo de margem de manobra possível para enfrentar as variabilidades que tanto conhece. Tal comportamento (prescrição reflexiva) pode gerar uma tensão entre usuários e projetistas, ocasionando um travamento ou retardo do processo de projeto.

Na mesma linha, Carballada (2002) propõe uma abordagem para a transformação da organização do trabalho (tanto em termo estrutural quanto sociológico) em duas grandes fases: primeiramente a caracterização da organização de modo a emergir uma representação comum acerca da diversidade de lógicas presentes na empresa e; uma segunda fase para definir as novas características da organização. Esta deve atender aos seguintes requisitos: participação dos diferentes atores; favorecer o reconhecimento da diversidade das lógicas presentes; estimular a difusão das informações; e, garantir que o resultado seja a experimentação de uma ou de várias soluções e não uma solução definitiva (CARBALLEDA, 2002).

A presente pesquisa reflete sobre uma articulação específica, não em contraposição, e sim em busca de uma convergência positiva das distintas abordagens de forma a contemplar questões técnicas e sociais dos processos de concepção. Parte-se de uma articulação metodológica e conceitual proposta por Menegon (2008) dentro de um contexto de cooperação em pesquisa e desenvolvimento no campo da ergonomia aplicada à indústria de refino de petróleo. Tal articulação vem sendo desenvolvida e aplicada em diferentes situações e contextos (BRAATZ, 2009). A Figura 8 apresenta a evolução da articulação, desenvolvida por Menegon (2014), a qual é validada pelos resultados obtidos em situação real (campo da pesquisa) e pelas análises e reflexões que o presente trabalho desenvolve.

**Figura 8** Processo de concepção instrumentalizado por suportes e situações de simulação



**Fonte:** Adaptado de Menegon (2014).

A Base de Conhecimentos representa um *lócus* de acúmulo de referências derivadas das experiências projetuais e dos estudos de ergonomia. No contexto apresentado é constituído por sistemas de informações (bancos de dados das demandas analisadas e projetadas) e por fundamentações teóricas. O acúmulo e registro de experiências são fundamentais para a melhoria dos processos de concepção, seja no nível institucional (difusão de soluções entre setores e áreas, por exemplo) ou no nível pessoal (ao consultar outros desenvolvimentos passados ou ainda ter todo o histórico do projeto e da análise estruturado para consulta). Uma das vantagens de estruturar e disponibilizar tal base está no compartilhamento do conhecimento com diferentes disciplinas em um mesmo campo tecnológico, incentivando desta forma o desenvolvimento das competências.

Nesta articulação, os grupos de projeto (por exemplo: engenharia, ergonomia, operação, manutenção e qualidade) representam diferentes atores sociais

que interagem na concepção das situações de trabalho futuras, oriundos de diversas áreas técnicas, da gestão e da organização do trabalho. Os grupos têm acesso à Base de Conhecimentos e a intermediação também ocorre através de treinamentos e cursos específicos.

Para estabelecer seu papel projetual, o ergonomista necessita conhecer as situações de referência, isto é, estar em campo durante a análise e concepção (desta forma a análise não se encerra com a AET), identificando (ou continuando a identificar) os determinantes e ações características nas situações a serem transformadas e/ou em situações análogas ou semelhantes. A partir da compreensão destas situações é possível a reconstrução e desenvolvimento da atividade. Tal desdobramento busca antecipar uma realidade possível dos futuros condicionantes da atividade.

Os cenários evolutivos designam as concepções antropocentradas articuladas pelos ergonomistas e projetistas (incluindo seus diferentes atores sociais). Desta forma, tais cenários não são desenvolvimentos exclusivos de um ator específico do projeto (da engenharia ou manutenção, por exemplo) e sim da convergência da participação de todo o grupo de projeto. Tal convergência se dá, na presente articulação, através de espaços de interação e confrontação exclusivamente por meio das situações de simulação. As Situações de Simulação constituem desta forma os momentos específicos em que ergonomistas, projetistas, gestores, operadores, entre outros, interagem sobre os cenários evolutivos com o uso de diferentes Suportes de Simulação.

Esta articulação, assim como Pugh (1990) e Bucciarelli (1988), defende a importância de que as equipes sejam compostas por uma combinação de competências especialistas e habilidades sociais. Considera também o processo de projeto como dependente das características da negociação entre os participantes, delimitando dois lados para esta atividade (PUGH, 1990): o primeiro tipo de atividade é a cognitiva, ligada diretamente ao projeto (compreensão da situação existente e ação projetual daquilo que é desejável); e o segundo é a política, para a condução do projeto (coordenação na busca daquilo que é possível). As situações de simulação, criadas a partir da aplicação de suportes de simulação, tem como objetivo explícito

criar espaços propícios e profícuos para a confrontação e interação dos diferentes mundo-objetos presentes no processo de concepção (BUCCIARELLI, 1988).

## 2.6. Considerações Finais

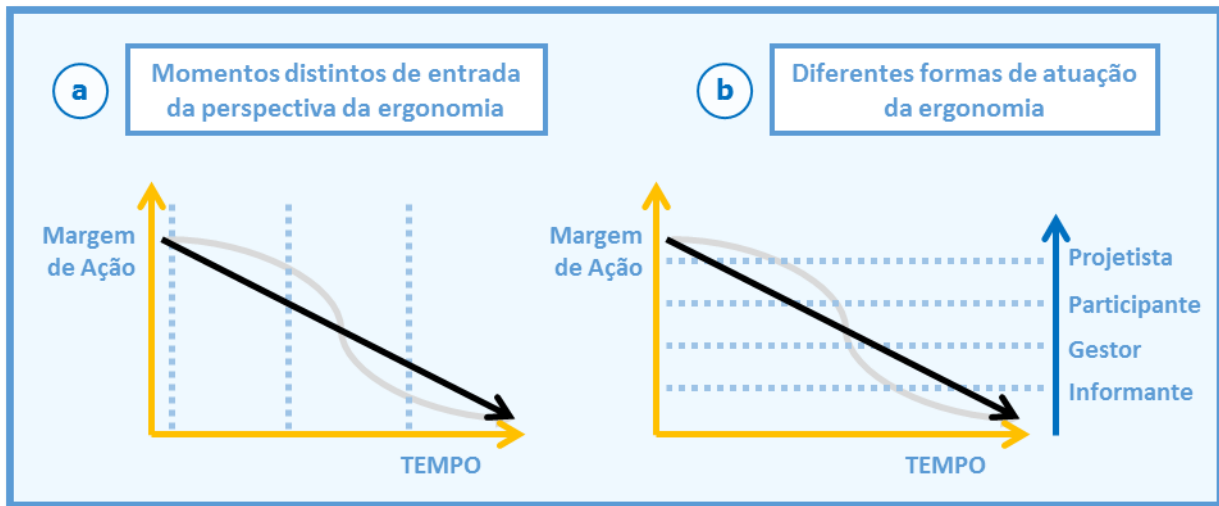
A partir da articulação apresentada e do referencial teórico exposto, é possível sintetizar possíveis formas de interação da ergonomia nos processos de concepção com diferentes responsabilidades:

- Informante: trata-se da participação mais passiva da ergonomia nos processos de concepção, se colocando apenas como fornecedora de conhecimentos (cadernos de encargos ou recomendações) para inserção da perspectiva da ergonomia no processo de projeto;
- Gestor ou condutor do projeto: seu papel é ativo durante o processo de concepção, porém voltado para as questões administrativas do projeto, gerindo recursos (como tempo, dinheiro, pessoas – e possivelmente entrando em conflito com seu papel original de ergonomista, conforme aponta Béguin (2007)), “preparando os atores” e conduzindo os participantes do processo de projeto para que colaborem entre si (DANIELLOU, 2007b);
- Participante: neste papel, a ergonomia atua sobre o processo de concepção (com o seu mundo-objeto) da mesma forma que as outras disciplinas (ou ofícios) o fazem; possui um grau maior de participação efetiva que os anteriores, podendo inclusive ter influência significativa no processo de tomada de decisão;
- Projetista: este papel pode ser considerado uma extensão do papel anterior, com a diferença que o responsável por inserir as questões de funcionamento do homem, atividade e as necessidades operacionais do sistema produtivo, possui condições (saberes e métodos) para construir de forma independente os cenários propositivos baseados na atividade futura e participação dos demais atores envolvidos no projeto.

Para melhor explorar os diferentes papéis apresentados e justificar a discussão da capacidade de projetar dentro do mundo-objeto da ergonomia, são

propostas duas ilustrações na Figura 9 relacionando-se com as diferentes formas possíveis de atuação da ergonomia com o momento da sua entrada no processo de concepção, a partir de reflexões de Maline (1994), Duarte (2002), Béguin (2007) e Lima e Duarte (2014).

**Figura 9** Momentos possíveis de entrada da ergonomia e de sua forma de atuar



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

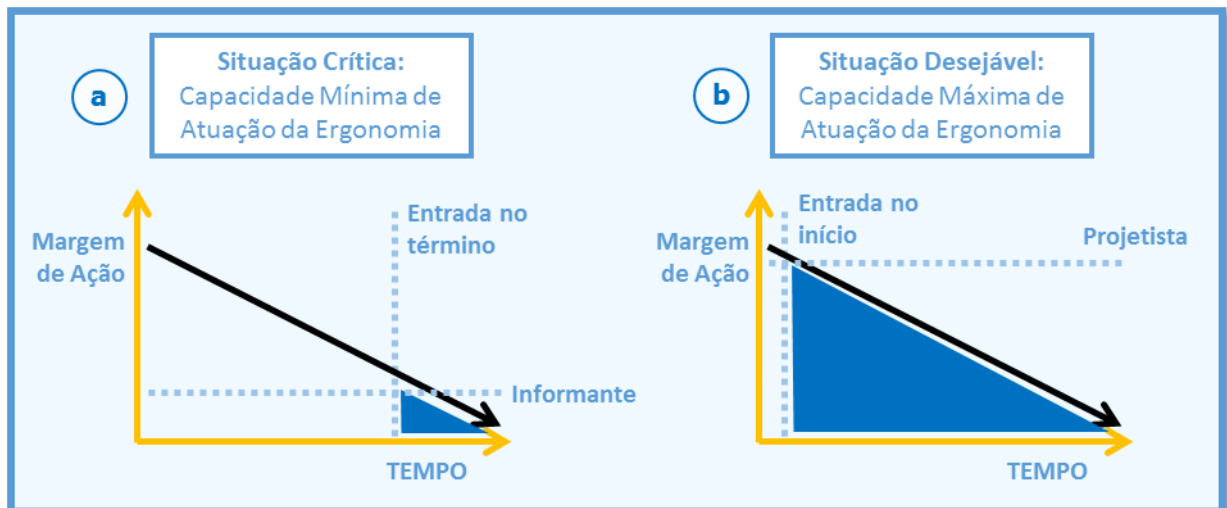
Na figura é possível observar gráficos que tratam da temporalidade dos processos de concepção, com o eixo horizontal representando a evolução do tempo e no eixo vertical a margem de ação. Tal ilustração remete ao caráter paradoxal apresentado por Midler (1996) que afirma que o nível de conhecimento sobre o projeto aumenta ao longo do desenrolar do processo de concepção, porém, o grau de liberdade disponível se reduz a medida que as escolhas são feitas. Para o autor trata-se da convergência e irreversibilidade próprios da dinâmica de uma situação em projeto. A linha na cor cinza clara, abaixo da seta decrescente, indica que este processo de diminuição não é linear, isto é, o espaço de possibilidades pode cair com diferentes taxas ao longo do tempo (por exemplo, após uma decisão em torno da adoção de uma determinada tecnologia, a margem de ação pode ser reduzida consideravelmente).

No primeiro gráfico (a) ilustra-se os diferentes momentos possíveis de entrada da ergonomia, desde as fases iniciais até próximo do encerramento do projeto (com pouca possibilidade de ação, neste caso). A relação neste caso se dá com o eixo horizontal – tempo.

No gráfico (b) são apresentadas as diferentes formas de atuação da ergonomia durante os processos de concepção, segundo os papéis apresentados anteriormente. Aqui a relação ocorre com o eixo vertical – possibilidade de ação.

O cruzamento destas características delimitam a capacidade de atuação efetiva da ergonomia nos processos de concepção de situações produtivas. Por exemplo, a entrada tardia em um projeto, mesmo para uma equipe de ergonomia que tenha capacidade de projeto, fica severamente limitada pelo avanço das decisões tomadas e, portanto, pequena margem disponível para alterações. A Figura 10 ilustra graficamente duas situações extremas: uma crítica e outra, de forma oposta, considerada desejável.

**Figura 10** Capacidade de atuação da ergonomia em processos de concepção



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

No gráfico (a) apresenta-se a situação mais crítica possível: entrada tardia da ergonomia no projeto com o papel de informante. Observa-se que as linhas referentes a tais características demarcam uma área pequena que refere-se a “capacidade de atuação da ergonomia”. No gráfico (b) a situação inversa, isto é, considerada a ideal: entrada o mais cedo possível da ergonomia no processo de concepção com o papel de projetista. A área demarcada pelas linhas é bastante superior à do gráfico anterior e explicita uma maior capacidade de atuação da ergonomia.

Tais reflexões remetem à análises citadas (MALINE, 1994; DUARTE, 2002; BÉGUIN, 2007; LIMA; DUARTE, 2014), mas se diferenciam substancialmente por explicitar que a inserção da perspectiva da atividade não pode ser analisada



apenas pelo viés temporal de entrada no processo de projeto ou ainda pela oportunidade de discutir “as principais questões” (ou as escolhas feitas sobre os determinantes ao nível do sistema de trabalho). A capacidade e forma de atuação do profissional responsável pela inserção da atividade é um aspecto chave nesta estrutura. Basta, para isto, imaginar que na situação idealizada por tais autores, isto é, entrada logo no início do projeto e participação nas discussões de nível macro (como qual tecnologia ou área do terreno que será utilizada, por exemplo), tal profissional consiga apenas informar aos projetistas as estratégias operatórias desenvolvidas e os constrangimentos aos quais os trabalhadores são expostos na situação existente, em geral, no nível do posto de trabalho. Neste cenário, é esperado que pouco possa ser aproveitado no processo de tomada de decisão, que continuará centrado nos aspectos técnicos e econômicos.

Os desenvolvimentos apresentados até aqui são convergentes no sentido de apontar para que a ergonomia deva participar do processo de concepção de forma a incorporar o seu “mundo-objeto”, assim como qualquer outra área ou disciplina o faz e que tal capacidade de atuação pode ser ampliada com os saberes e métodos próprios das atividades projetivas e compreensão dos sistemas produtivos.

Outra reflexão possível é a mudança do paradigma presente nas teorias e práticas de projeto do trabalho. A racionalidade que permanece é herança direta dos modelos tayloristas e fordistas com alguma influência do modelo japonês e tem como foco, em termos práticos, a eficiência produtiva.

As experiências que propuseram modificações estruturais, como o enriquecimento de cargos e os grupos sócio-técnicos não foram institucionalizados pelo ambiente econômico, social e cultural a ponto de influenciarem significativamente a teoria e prática do projeto do trabalho.

Neste sentido, este texto é orientado pela hipótese de que a Ergonomia da Atividade, assim como outras disciplinas ligadas ao Design de Engenharia, pode colaborar substancialmente e de forma articulada (em termos de referenciais teóricos, métodos e instrumentos, como a simulação) no projeto de situações produtivas.

Em termos específicos, o referencial teórico teve como objetivo sustentar uma reflexão em torno da questão definida para esta pesquisa: **como a simulação**

**pode ser um objeto intermediador para a incorporação da atividade nos processos de projeto de situações produtivas?**

No próximo capítulo são apresentados o método e o campo da pesquisa que pretende validar a articulação utilizada e contribuir de forma teórica e prática, a partir das análises e reflexões propostas, para a utilização da simulação como instrumental intermediador de concepção.



### **3 MÉTODO E PESQUISA DE CAMPO**

Para explicitar o método de pesquisa utilizado no presente trabalho é apresentado inicialmente o contexto e os antecedentes que cercaram sua realização. Para isto, apresenta-se a formação e articulações teórico-conceituais dos grupos de pesquisa Ergo&Ação e SimuCAD e posterior fusão dos mesmos no PSPLab – Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projeto de Situações Produtivas, vinculados ao Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) aos quais o autor possui vínculo desde 1999.

Posteriormente é exposta a metodologia utilizada, a descrição da pesquisa de campo incluindo a empresa objeto de análise e as etapas principais da intervenção na qual foram coletados os dados. Também são apresentados os critérios para a definição do recorte dos casos que são analisados no próximo capítulo.

#### **3.1. Antecedentes**

Segundo Menegon (2003) o SimuCAD surge de um grupo de discussão envolvendo professores e estudantes do DEP-UFSCar em torno da aplicação de métodos e técnicas de simulação e computação gráfica aplicados em projetos de unidades industriais. O grupo Ergo&Ação surge no mesmo departamento, porém como resposta à uma demanda empresarial no campo da ergonomia, para atender e desenvolver esta solicitação a equipe de professores e estudantes buscaram referências na ergonomia dos fatores humanos e na ergonomia centrada da atividade (incluindo o método AET) e une-as aos métodos participativos derivados do Design de Engenharia (MENEGON, 2003). Os grupos foram criados, respectivamente, em 1994 e 1995.

As primeiras publicações destes grupos remeteram à um sistema de apoio à decisão no planejamento e implantação de sistemas de produção (COSTA; MENEGON; CAMAROTTO, 1996). O objetivo, naquele momento, era integrar ferramentas computacionais gráficas de simulação e de projeto (softwares CAD) e

desenvolver um sistema computacional que incorporasse, em um só ambiente, a característica gráfica do CAD e da análise das simulações de sistemas. Além destas ferramentas, os autores também apresentaram o estudo de um posto de trabalho com a utilização de manequins virtuais, em ambiente tridimensional, usando o software 3D Studio.

Menegon, Costa e Camarotto (1997) avançam na discussão do arcabouço teórico conceitual do grupo SimuCAD e apontam que, além das representações criadas pelas ferramentas computacionais gráficas, era necessária a incorporação das interações entre homens, materiais e equipamentos dentro de cada centro de produção. Para tal, os autores apontam para métodos como a construção de *templates* (OLIVÉRIO, 1985), o *Quality Function Deployment* (QFD) (AKAO, 1990 apud MENEGON, 2003), com equipes multifuncionais de projeto, e Matrizes de Seleção de Conceito (PUGH, 1990), conhecidas também como Matriz de Pugh. O conceito de simulação, neste trabalho, é tido como elemento chave do processo de validação das decisões tomadas e suas consequências sobre as atividades dos trabalhadores.

Menegon, Camarotto e Matusita (1997), em uma perspectiva mais próxima das experiências do grupo Ergo&Ação, avaliam a efetividade da AET nas transformações materiais do trabalho e constatam que em raras situações as intervenções ergonômicas completam o ciclo da “análise da demanda” até a “validação das soluções adotadas”. Os autores, no entanto, não questionam a competência dos ergonomistas, e sim a debilidade metodológica derivada do posicionamento do ergonomista fora do contexto do Design de Engenharia. No ano seguinte, Menegon (1999) discute em um artigo intitulado como “*Projeto do Trabalho e Projeto de Engenharia: uma aproximação entre teoria do design e ergonomia*” uma abordagem onde o ergonomista dentro de uma equipe de projeto assume uma função de projetista que não se limita à AET e nem mesmo na implantação das mudanças positivas nas situações de trabalho; este deverá acompanhar a nova situação visto que ela revelará novos constrangimentos.

Costa, Menegon e Camarotto (2001) apresentam aplicações da metodologia, criada pelo grupo, em empresas de grande porte, como uma indústria de suco de laranja, uma fabricante de material escolar (sendo que nesta, até aquele

momento, já haviam sido realizados sete projetos nas áreas de ergonomia e instalações industriais), a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e uma indústria siderúrgica. Os autores concluem que a metodologia desenvolvida e aplicada nas situações apresentadas foi vital na estruturação da solução dos problemas enfrentados e afirmam também que os softwares que integram o método de trabalho são facilitadores do trabalho e, portanto, não resolvem sozinhos os problemas.

Em sua tese, Menegon (2003) explora uma intervenção ergonômica na área operacional da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos ocorrida entre os anos de 1998 e 1999 e que teve como bases metodológicas a AET, o Design de Engenharia e a Pesquisa-ação – articuladas numa perspectiva interrogativa-crítica. A conclusão da pesquisa apontou para uma aproximação entre a engenharia de produção e a ergonomia, visto que compartilham o mesmo objeto e tanto os ergonomistas passaram a se interessar pela atividade dos projetistas, como os engenheiros de produção podem passar a considerar a lógica da atividade enquanto racionalidade legítima no processo de concepção. Para o autor é fundamental que esta aproximação se dê, pelo lado da ergonomia, de forma que esta construa um instrumental que lhe possibilite ver pelos olhos dos trabalhadores e introduza o olhar da construção técnica e da eficácia produtiva nas intervenções – para isto afirma ser necessário um abandono ou reposicionamento no diálogo com a Medicina do Trabalho e Segurança do Trabalho e busca por interlocução com a Produção. Pelo lado da engenharia de produção, Menegon (2003) compreende haver questões de outra ordem, visto o afastamento dos profissionais desta área com relação às condições reais da produção, suportando suas análises em representações idealizadas e simplificadas do processo de trabalho – tal cenário, para o autor, põe a risco o engenheiro de produção perder seu objeto de estudo e concepção: o trabalho.

Em uma segunda intervenção na mesma empresa, porém na área de atendimento das agências postais, ocorrida entre os anos de 2003 e 2004, Fontes (2011) aborda o processo social de projeto articulando as áreas de ergonomia, design e o uso de forma a compreender como os conflitos de valores (entre atores), conflitos de variáveis (opções de projeto e interfaces de comunicação) e as inadequações de uso (qualidade do objeto a partir da atividade) são materializados. A autora conclui

que os objetos gerados em um processo social de projeto, no contexto da ergonomia, podem aproximar projeto e uso, porém tal materialização não deve ser compreendida como um fim, mas um meio para trazer flexibilidade e significado para a atividade de trabalho.

Em 2010, ao completar 15 anos de existência, os grupos SimuCAD e Ergo&Ação inauguram o Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projeto de Situações Produtivas – PSPLab. Os recursos para a construção e aparelhamento do laboratório derivam de dois termos de cooperação para desenvolvimento e transferência de tecnologia na área de ergonomia aplicada à indústria de refino de petróleo. Os termos se referem a duas unidades de refino no interior do estado de São Paulo com duração de cinco anos aproximadamente cada e nos quais atuaram diversos pesquisadores e estudantes de graduação e pós-graduação do DEP-UFSCar.

A partir destas duas intervenções específicas foram desenvolvidas diversas pesquisas envolvendo a temática de ergonomia e projeto, confiabilidade humana, entre outros, resultando em artigos de congressos, periódicos (ambos em nível nacional e internacional), uma tese (BORGES, 2012) e quatro dissertações (RODRIGUES, 2012; SILVÉRIO, 2011; FREITAS, 2011; SILVA, 2010). A presente pesquisa também se insere no mesmo ambiente de cooperação entre uma indústria de refino e a universidade.

Outras pesquisas em áreas distintas, resultando em artigos, teses e dissertações também foram produzidas nos últimos vinte anos, em especial na indústria aeronáutica, agroindústria/agrícola e mais recentemente automobilística. Assim, o PSPLab constitui atualmente em uma articulação de saberes e competências em atividades de ensino, pesquisa e extensão com objetivo de desenvolver práticas e conhecimentos no sentido de equacionar as questões da produtividade e das condições de trabalho.

Na sequência apresentam-se a abordagem metodológica da pesquisa, em especial referente à pesquisa de campo realizada e a forma de tratamento dos dados obtidos.

### 3.2. Metodologia

A abordagem metodológica adotada para esta tese está baseada na reflexão *a posteriori* alinhada com os preceitos metodológicos da prática reflexiva desenvolvida por Schön (1983) que define a participação do pesquisador como ator responsável diretamente pelas transformações das condições de trabalho.

Em ergonomia a possibilidade de refletir sobre uma prática para gerar novos conhecimentos não é apenas desejável como fundamental para “fazer evoluir a teoria científica da ergonomia” (DEJOURS, 2004, p.211). Assim, para Dejours (2004) é necessária uma validação *stricto sensu* dos resultados obtidos na ação ergonômica por outros pesquisadores, visando remontar até à questão epistemológica que concerne ao valor científico dos conhecimentos produzidos pela ergonomia.

Schön (1983) também considera a reflexão sobre a experiência essencial para a construção de conhecimentos, visto que estes são construídos na prática e não antes dela, como propõe o modelo da racionalidade técnica.

No mesmo sentido, Daniellou e Béguin (2007) apresentam três formas de capitalização sobre a prática ergonômica<sup>23</sup>, sendo a terceira a “atividade de pesquisa sobre a prática, que supõe uma explicitação dos modelos iniciais, um registro sistemático sobre a intervenção e os eventos que ela produz, e que mobiliza confrontações científicas intra e interdisciplinares” (DANIELLOU; BÉGUIN, 2007, p. 299).

Falzon (2007) torna explícito os objetivos do ergonomista e aponta sua atividade como uma atividade de concepção e que as práticas de intervenção devem ser acompanhadas de práticas de reflexão estruturada. Segundo o autor, tal prática reflexiva enfrenta muitas dificuldades, incluindo a distância que existe entre a pesquisa e a prática profissional em ergonomia. Para Falzon, as dificuldades dos profissionais

---

<sup>23</sup> As modalidades de capitalização sobre a prática ergonômica apresentadas por Daniellou e Béguin (2007) são:

- Pela atividade cognitiva individual;
- Por uma atividade explícita de grupos de ergonomistas que realizam trocas em redes profissionais;
- Atividade de pesquisa sobre a prática para produção de conhecimentos.



residem na pressão econômica e temporal que sofrem, e, para os que realizam pesquisa, na falta de experiências concretas nos contextos de intervenções reais.

Neste sentido, Dejours (2004) indica um possível caminho para a produção de conhecimentos em ergonomia, com validade em termos científicos. Isto pode ocorrer através da adoção de modelos teóricos difundidos (o autor cita a “Abordagem da Atividade Futura” de François Daniellou como exemplo), sua posterior aplicação prática e, após todo o processo de validação, retornar ao modelo com uma prova de coerência teórica. De tal forma, um ciclo “conhecimentos – produção para ação – produção de conhecimentos” seria fechado e a dualidade da ergonomia, atestada.

Assim, a presente pesquisa pode ser separada em dois momentos distintos: um primeiro momento de prática (ou ação) e um segundo momento de reflexão (produção de conhecimentos). O primeiro momento refere-se à realização de uma parceria entre o grupo de pesquisa PSPLab/DEP/UFSCar e a empresa objeto de análise. Esta parceria durou cerca de 5 anos, tendo início em abril de 2007 e conclusão em março de 2012, tendo sido aplicada (e posta à prova) a articulação metodológica e conceitual de condução de processos de projeto proposta por Menegon (2008) – apresentada no capítulo de referencial teórico. Em um segundo momento a pesquisa buscou refletir a partir das experiências vivenciadas pelo autor e a utilização das informações coletadas ao longo das intervenções realizadas pelo grupo de pesquisa.

A etapa de reflexão tem como material de análise toda a documentação gerada durante os cinco anos de projeto, desde a proposta inicial (contrato estabelecido em 2007) até o relatório final entregue em 2012. Os dados foram armazenados como arquivos digitais e em bancos de dados em um sistema de informações desenvolvido pelo referido grupo de pesquisa. Entre os formatos de arquivos armazenados destacam-se os diversos relatórios (DOC) e apresentações realizadas (PPT), fotos e vídeos das situações analisadas/projetadas, documentos de projeto (DWG, principalmente), simulações (AVI, MPEG, JPG, entre outros) e as normas e padrões internos utilizados como referência para análise e projeto (PDF). Outra importante fonte de informação foi a comunicação gerada entre os diversos participantes (da empresa e do grupo de pesquisa) através de e-mails e que foram

salvos para consulta. Apenas para exemplificação, o desenvolvimento de uma das demandas (de um total de mais de 200) gerou mais de 150 mensagens eletrônicas, sendo a primeira datada de 11 de setembro de 2009 e a última de 20 de março de 2012.

Para a análise dos dados coletados são destacados os objetos considerados como intermediários e com função nos processos de concepção desenvolvidos (objetos intermediários de concepção). A reflexão tem como referencial conceitual a categorização proposta por Jeantet et al. (1996) que classifica tais objetos como sendo comissionários ou mediadores e fechados ou abertos, conforme descrito no capítulo anterior.

A equipe que representou a universidade era composta por um pesquisador doutor em engenharia de produção e graduado em engenharia mecânica (coordenador geral); um engenheiro de produção com mestrado em engenharia de produção, autor desta tese (atuou com as funções de coordenador de campo e projetista); um fisioterapeuta, especialista em ergonomia e mestre em engenharia de produção (analista). Esta equipe básica foi mantida ao longo de toda a cooperação estabelecida. Ao longo dos anos, outros profissionais foram alocados para dar apoio ao desenvolvimento de atividades, como: dois engenheiros de produção (mestrandos em engenharia de produção), uma fisioterapeuta (mestranda em engenharia de produção), um desenhista industrial (mestre em engenharia de produção) e um educador físico (mestre em fisioterapia e doutorando em saúde pública). Além destes, a equipe de laboratório que ofereceu suporte para a realização de modelagens tridimensionais, construção de maquetes e protótipos (físicos e virtuais) e construção de simulações, era composta por um técnico, dois engenheiros de produção (mestrandos em engenharia de produção) e oito alunos de graduação (nos cursos de engenharia de produção, engenharia física e ciência da computação da UFSCar). Os alunos de pós-graduação tinham vínculo com o Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da UFSCar. A seguir caracteriza-se a empresa onde ocorreu o primeiro momento da pesquisa.

### **3.3. Caracterização da Empresa**

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma empresa brasileira de exploração e refino de petróleo e gás, com destaque internacional. A empresa faz parte de um grupo que controla dez subsidiárias e que atualmente emprega cerca de 80 mil funcionários próprios (contratos por tempo indeterminado) e 360 mil funcionários de empresas prestadoras de serviço. Atualmente a empresa possui capital aberto e o principal acionista majoritário é o governo brasileiro.

A unidade de negócio analisada foi uma das quinze refinarias do país que totalizam 2.249.000 barris de petróleo por dia de capacidade nominal instalada. A unidade específica está localizada no interior do estado de São Paulo e é responsável por abastecer 20% do mercado nacional e recebeu, entre 2008 e 2014, cerca de R\$9 bilhões para modernização de seu parque industrial. No final deste período contava com cerca de 15 mil funcionários (próprios e terceirizados) trabalhando em uma área aproximada de 110 mil metros quadrados. O principal produto é o querosene de aviação que abastece principalmente o Aeroporto Internacional de Guarulhos.

### **3.4. Contextualização e Descrição da Pesquisa de Campo**

Em março de 2006 a área de Abastecimento (que controla as refinarias da empresa) iniciou um Projeto Corporativo de “Liderança em Segurança, Meio ambiente e Saúde ocupacional”. Dentro deste projeto um dos grupos de trabalho (GT) estabelecido teve como objetivo inserir ou melhorar a atuação da ergonomia nas diversas unidades de negócio da empresa (GT de Ergonomia). Assim, a orientação corporativa para cada unidade foi que instituíssem um comitê local de ergonomia, levantassem um diagnóstico inicial da situação da unidade, através do mapeamento de demandas de ergonomia e contratassem uma empresa ou instituição para assessoria/consultoria com o objetivo de, principalmente, realizar as análises ergonômicas das demandas cadastradas, cadastrar novas demandas e desenvolver projetos conceituais para as demandas analisadas.

Desta forma, cada unidade ficou responsável por estruturar as ações locais do GT de Ergonomia tanto em termos organizacionais quanto financeiros. Na unidade onde se desenvolveu a presente pesquisa, a qual passará a ser denominada de Refinaria, o Comitê Local de Ergonomia teve início sob coordenação do setor de Saúde Ocupacional e, posteriormente em 2008, transferido para o setor de Higiene Ocupacional. Ambos os setores eram subordinado à Gerência de SMS.

O Comitê Local de Ergonomia da Refinaria, conforme orientação do GT de Ergonomia do Abastecimento, realizou um primeiro mapeamento de demandas de ergonomia na unidade. Ao final de 2006 foram cadastradas no Sistema de Informações de SMS do Abastecimento (SISA) um total de 30 demandas, sendo que destas, cinco foram analisadas, projetadas e implementadas no mesmo ano.

No início de 2007 houve a realização de processo licitatório para a contratação de assessoria especializada para a realização de análises e projetos de ergonomia. A partir deste processo foi dado início à parceria da Refinaria com o PSPLab/DEP/UFSCar, sendo este intermediado pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UFSCar (FAI-UFSCar).

Com a definição e presença da equipe técnica de ergonomia (denominação dada pelo padrão corporativo aos profissionais contratados para assessoria especializada em ergonomia) ficou estabelecido que esta compusesse o Comitê Local de Ergonomia junto com os demais representantes das gerências de Saúde Ocupacional, Segurança Industrial, Recursos Humanos, Produção, Manutenção Industrial, Transferência e Estocagem, entre outros.

A equipe técnica era responsável, principalmente, pela realização da AET e desenvolvimento de projeto conceitual de postos, ambientes e sistemas de trabalho de forma a torna-los mais compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. O Quadro 3 apresenta a sequência típica das atividades da equipe técnica e do comitê de ergonomia na Refinaria.

**Quadro 3** Sequência típica das intervenções ergonômicas por demandas

<b>Etapa</b>	<b>Responsável</b>
Identificação da Demanda	Diversos (Operadores, Comitê de Ergonomia, Equipe Técnica de Ergonomia, Saúde, Manutenção, Auditoria Interna ou Externa, entre outros)
Reconhecimento da Demanda	Equipe Técnica de Ergonomia
Priorização da Demanda	Comitê de Ergonomia
Análise Ergonômica do Trabalho	Equipe Técnica de Ergonomia
Projeto Conceitual	Equipe Técnica de Ergonomia
Encaminhamento para Implantação	Comitê de Ergonomia
Implantação	Setor responsável / Engenharia / Empreendimentos
Validação pós-Implantação	Equipe Técnica de Ergonomia

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para a gestão e controle do GT de Ergonomia sobre as ações desenvolvidas em cada unidade de negócio foram estabelecidos indicadores (em nível corporativo) que se baseavam nas demandas cadastradas no sistema SISA. Os principais indicadores eram a Taxa de Frequência de Demandas Concluídas no ano (TFDC) e a Taxa de Frequência de Demandas Críticas Concluídas no ano (TFDCC). A criticidade das demandas era definida a partir da avaliação GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) inserida pelos analistas (equipe técnica) e calculada no SISA. Os indicadores sofreram alterações ao longo dos anos da parceria e serviam principalmente como comparativo entre unidades de negócio e demonstração da evolução (ou involução) das questões de ergonomia interna e externamente.

No início de 2012 os indicadores apontavam que das 207 demandas cadastradas desde 2006, 192 demandas haviam sido analisadas, perfazendo um total de 93%. Outro indicador mostrava que 56% das demandas cadastradas haviam sido concluídas e implementadas.

O crescimento do número de demandas pode ser atribuído à uma intensificação da ação do grupo de ergonomia, sua difusão na unidade de refino e aumento do interesse por parte de outras gerências.

As demandas analisadas, em sua grande maioria, foram projetadas pela equipe técnica de ergonomia com apoio de diferentes objetos intermediários, com destaque para o uso de suportes de simulação, a qual atuaram como meio de desenvolvimento, análise e validação dos cenários propostos.

Para compreender melhor o papel da simulação neste processo, objetivo desta pesquisa, foram selecionadas demandas que utilizaram este recurso durante seus desenvolvimentos. Definiu-se inicialmente que o número de demandas abordadas fosse o necessário para reproduzir a amplitude dos dados coletados ao longo do projeto. O objetivo de trabalhar com o mínimo possível foi para priorizar o detalhamento e aprofundamento necessários para a construção de análises e reflexões, o que seria dificultado se fossem abordadas as 207 demandas cadastradas.

O recorte para análise é imprescindível pelo fato da necessidade de detalhamento e compreensão que permitam a reflexão *a posteriori* adotada neste trabalho. Como visto anteriormente, a evolução de demandas cadastradas apresentou um aumento considerável entre os anos de 2006 e 2012, iniciando com 30 demandas e concluindo com 207.

Tais demandas possuíam diferentes características e foram analisadas e projetadas de acordo com o contexto/situação de cada uma. A tarefa de caracterizar e classificar tais unidades de análise tão distintas entre si requer que diversos critérios sejam considerados. Os principais critérios estão apresentados no Quadro 4, sendo detalhados a seguir.

**Quadro 4** Critérios para caracterização de demandas de ergonomia

<b>Critérios</b>	<b>Formas de avaliação</b>
Suportes de Simulação/Objetos Intermediários	Ilustrações, CAD 2D e 3D, Animação 3D, Modelagem e Simulação Humana Digital, Prototipagem Física, <i>Game Engine</i> .
Local da demanda	Administrativo; Produção; Transferência e Estocagem; Laboratórios; Áreas Externas.
Responsável pela origem da demanda	Gerência; Trabalhadores; Sindicato; Equipe de Ergonomia; Saúde; Auditoria Interna/Externa; entre outras.
Natureza da ação ergonômica	Concepção; Correção.
Indicador GUT	Valor do indicador (crítico ou não)
Estado final	Implementada; Projetada; Analisada; Cadastrada.
Temporal	Ocorrência e duração.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O primeiro critério “**Suportes de Simulação**” possui grande importância para a pesquisa. O objetivo de informar quais suportes foram utilizados em cada desenvolvimento é permitir uma reflexão sobre a aplicabilidade de diferentes técnicas e ferramentas como objetos intermediários.

O critério “**Local da demanda**” faz referência ao contexto da demanda em termos físicos espaciais e se caracteriza como fator chave para a análise e projeto. Assim, uma demanda de um setor ou posto de trabalho em área administrativa (escritório, por exemplo) institui estratégias, técnicas, ferramentas e organização da equipe de forma diferente de uma demanda relacionada à uma área industrial (Produção) ou da Transferência e Estocagem (área caracterizada por conter um extenso parque de tanques). Nestas últimas, além de se caracterizarem como áreas externas, sujeitas à intempéries, o risco associado, as normas e muitas vezes as distâncias, exigem o acompanhamento de operadores específicos e experientes.

O critério “**Responsável pela origem da demanda**”, como o nome diz, informa o setor ou divisão solicitante, isto é, que gerou a demanda. Assim, como viu-se no capítulo anterior na descrição da AET, tal informação auxilia na compreensão da demanda, sua reformulação e irá orientar tanto a construção técnica quanto social da análise e do projeto. O “peso” do responsável pode “abrir portas” durante tais etapas e, especialmente, na implantação efetiva das soluções propostas. Assim, compreender que se a demanda parte da Gerência é vista e encaminhada dentro da empresa com especificidades e diferentes do que se a mesma partisse dos Trabalhadores ou Sindicato. Outros atores típicos que geram demandas são: Equipe de Ergonomia; Gerência de Saúde; Auditorias Interna/Externa; entre outras.

A “**Natureza da ação ergonômica**” segue a divisão definida em padrão interno da empresa classificando a intervenção ergonômica em ergonomia de correção ou ergonomia de concepção. Segundo o padrão, ergonomia de concepção se refere à “ação ergonômica aplicada desde o início do projeto do produto, da máquina, do ambiente ou do sistema a serem construídos, visando melhores condições de trabalho, assim como os resultados de produção para a organização e para os trabalhadores envolvidos”<sup>24</sup>. A definição de ergonomia de correção é de uma “ação ergonômica aplicada em situações já existentes para resolver problemas que se refletem na segurança, na saúde e conforto do trabalhador, na carga de trabalho ou na quantidade e qualidade da produção”<sup>25</sup>. A importância da definição deste critério para a pesquisa está em considerar situações com as duas características

---

<sup>24</sup> Documento interno referente à Padrão para Ergonomia de Correção e Concepção disponível na intranet da empresa. Acesso em 20/03/2012. Acesso restrito.

<sup>25</sup> Idem.

apresentadas: existentes e totalmente novas. Novamente, a diferença observada por esta categorização direcionará os métodos e técnicas de análise e projeto.

O “**Indicador GUT**” tem como finalidade natural auxiliar a avaliação e determinação de prioridades. Seus parâmetros são Gravidade, Urgência e Tendência e as classificações variam de 1 à 5, resultando em indicadores de 1 (1x1x1) à 125 (5x5x5), definindo desta forma uma quantificação para criticidade. Este critério, embora possua vantagens (simples aplicação e permite comparar demandas de naturezas distintas com certa razoabilidade) não foi determinante para o recorte desta pesquisa, principalmente pela subjetividade e falta de padrão ao ser aplicado pelas diversas unidades de operação da empresa (diferença observada entre refinarias).

O critério “**Estado final**” informa até que ponto a demanda foi encaminhada, isto é, se foi apenas registrada pela equipe de ergonomia ou atravessou as etapas seguintes que caracterizam uma intervenção ergonômica: registro, análise, projeto, implantação, validação. A importância deste critério está principalmente pela oportunidade de conhecer o resultado efetivo das soluções concebidas (e conseqüentemente, dos métodos, técnicas e ferramentas aplicadas no processo) e validar se as melhorias pretendidas foram obtidas, segundo a percepção dos operadores.

Por fim, o critério “**Temporal**” refere-se ao período de ocorrência e duração da demanda. Assim, é possível confrontar as análises e projetos com o contexto da intervenção (se deu no início, meio ou término da cooperação estabelecida) e o tempo dedicado e/ou disponível para a intervenção. A diversidade em termos do período de ocorrência é considerada natural e esperada, visto que o cadastro de demandas ocorreu em fluxo contínuo ao longo do tempo. Em termos de duração, houve uma variedade considerável também, com demandas cadastradas, analisadas, projetadas e implementadas em poucas semanas e outras com duração superior à dois anos. Os principais suportes de simulação utilizados estão apresentados no Quadro 5.



**Quadro 5** Principais suportes de simulação aplicados nos processos de concepção

<b>Técnica</b>	<b>Ferramenta</b>	<b>Descrição</b>
Ilustrações	Manual	Bastante utilizado durante reuniões e seminários para explicitar graficamente soluções ou problemas observados.
CAD 2D e 3D	AutoCAD	<i>Computer Aided Design</i> Ferramenta gráfica de engenharia que permite desenhos bi e tridimensionais com alto nível de precisão.
Animação 3D	3D Studio Max	Permite a criação de animações (filmes) em três dimensões com nível de realismo moderado/alto.
Modelagem e Simulação Humana Digital (MSHD)	Jack Tecnomatix	Software com modelagem humana que considera (permitindo ajustes) a antropometria e biomecânica. Possui diversas opções de análises. Pode ser estática, quando é analisada uma situação específica no tempo (postura, por exemplo) ou dinâmica, quando pretende-se compreender o curso da ação (estratégias e posturas adotadas, por exemplo).
<i>Game Engine</i>	CryEngine	Caracterizam-se pela alta qualidade gráfica, recursos de interação com o modelo e possibilidade de programação de eventos e respostas à estímulos do controlador.
Prototipagem Física	Laboratório DEP-UFSCar	O protótipo físico se caracteriza pela construção em escala natural (1:1) do objeto projetado. Busca-se também atender aos requisitos funcionais de operação e materiais aplicados. A grande vantagem deste tipo de protótipo é o manuseio pelos atores do processo de projeto. Assim, busca-se uma percepção diferente da obtida por suportes digitais.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Desta forma buscou-se na seleção das demandas que estas atendessem aos seguintes critérios e classificações:

- Representar a diversidade de suportes de simulação (objetos intermediários) utilizados ao longo do projeto – **critério de maior prioridade;**
- Desenvolvimento em locais distintos, sendo ao menos uma das demandas na Produção;
- Representar diferentes origens, sendo ao menos uma de origem dos próprios trabalhadores e outra gerencial;
- Apresentar demandas tanto de correção quanto de concepção;
- Ao menos uma das demandas em estado concluído (implementada);
- Por fim, como critério de **menor prioridade**, buscar demandas realizadas em diferentes anos de início de forma a representar os diferentes momentos de desenvolvimento do programa de ergonomia na Refinaria, assim como as composições do comitê, coordenação e equipe técnica de ergonomia.

Com base nos critérios estabelecidos as demandas selecionadas são apresentadas no Quadro 6.

**Quadro 6** Casos selecionados para detalhamento da pesquisa

<b>Demanda (Início/duração)</b>	<b>Local</b>	<b>Origem</b>	<b>Estado Final em 2012</b>	<b>Natureza da Ação</b>	<b>Suportes Simulação</b>
<b>Caso 1:</b> Plataformas e Escadas de Acesso (2006/1a6m)	Transferência e Estocagem	Gerência	Implantada	Correção	CAD, Simulação Humana, <i>Game Engine</i>
<b>Caso 2:</b> Laboratório de Ultrassom (2009/2a3m)	Engenharia	Auditoria Interna	Em implantação	Correção	Protótipos Físicos, CAD, Simulação Humana
<b>Caso 3:</b> Sala de Descoqueamento (2011/11m)	Produção	Trabalhadores	Em testes/validação	Correção	Protótipos Físicos, CAD, Simulação Humana
<b>Caso 4:</b> Plataforma de Abastecimento Manual (2010/ 3m)	Novos Empreendimentos	Comitê / Equipe Técnica	Implantada	Concepção	CAD, Simulação Humana, <i>Design Review</i>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para cada demanda, diferentes estruturas de funcionamento e organização das equipes (tanto da universidade quanto da empresa) eram estabelecidas. Assim, foi bastante comum que em alguns casos houvesse uma aproximação maior com a gerência<sup>26</sup> na qual a situação sob intervenção ocorria e demandas na qual não houve contato com este nível hierárquico, por exemplo. Os grupos de trabalho estabelecidos em cada situação possuíam uma dinâmica própria e na maioria das vezes independente da vontade da equipe técnica de ergonomia ou ainda do comitê gestor de ergonomia. Pretende-se apresentar e discutir nos capítulos seguintes que tais dinâmicas foram determinantes para as escolhas dos suportes de simulação, na forma como foram aplicados e nos resultados efetivamente obtidos.

É importante destacar que as diferenças de cada grupo de trabalho se davam internamente ao longo da demanda e entre demandas. Assim, situações onde o grupo de trabalho de uma demanda tinha sua composição de membros alterada ao longo da análise e projeto eram relativamente comuns.

<sup>26</sup> Na estrutura hierárquica da refinaria o nível de Gerência encontra-se abaixo apenas do gestor que ocupa a Gerência Geral. Abaixo das gerências existem as gerências setoriais e coordenações.

Outra característica observada foi a relação destes grupos com a disciplina (e perspectiva) da ergonomia, sua posição hierárquica dentro da empresa (na pessoa do coordenador e do comitê gestor de ergonomia) e com a equipe técnica (assessores da universidade). Tal relação ora era de extrema confiança e desejo de envolvimento, ora era de desconfiança e participação única e exclusivamente por força de padrões, normas ou determinação da hierarquia superior.

Desta forma, o desenvolvimento de um processo de construção social, além da técnica, foi fundamental para o desenvolvimento de cada uma das demandas analisadas, projetadas e implantadas. Para isto, reuniões e constantes comunicações (e-mail, principalmente) eram realizadas para buscar o envolvimento dos participantes dos grupos de trabalho. Este processo é um dos pilares fundamentais da metodologia de intervenção aplicada ao longo da intervenção: a AET. Wisner (1975, apud WISNER, 2005) apresentou esta metodologia de análise ergonômica do trabalho estruturada em cinco etapas de importância e dificuldades diferentes: (1) análise da demanda; (2) análise do envolvimento técnico, econômico e social; (3) análise da atividade; (4) recomendações ergonômicas; e, (5) validação da intervenção e eficácia das recomendações.

A análise da demanda (1), segundo Wisner (2005), tem por objetivo compreender a natureza e o alcance do que foi pedido. Segundo o autor, é possível descobrir nesta etapa que, por exemplo, a demanda colocada não é real e que ninguém, com responsabilidade importante na empresa, deseja resolvê-la. Outra situação possível – e mais frequente - é a descoberta de que a demanda posta se refere a um aspecto menor em um contexto com problemas muito maiores. Tais possibilidades podem surgir devido à falta de percepção dos reclamantes ou ainda por desconhecimento das possibilidades de atuação da ergonomia.

Guérin et al. (2001) afirmam que nesta etapa o objetivo é dar início à construção de um ponto de vista do trabalho sobre o funcionamento da empresa (ou da situação a ser analisada). Para estes autores a análise da demanda deve contribuir para a implantação das condições de confrontação dos pontos de vista em condições éticas e sociais aceitáveis.

A análise seguinte (2) trata de compreender as questões técnicas, econômicas e sociais da empresa (WISNER, 2005): questões como a tecnologia

empregada (antiga ou recente), investimentos previstos e o contexto social. Para Guérin et al. (2001) neste momento deve-se buscar conhecer o funcionamento da empresa em suas dimensões econômica, comercial, social, demográfica, as leis e regulamentações (normas internas), o ambiente geográfico da empresa, a dimensão técnica (processos produtivos, fluxos, operações, entre outros) e, por fim, uma compreensão global da produção e da sua organização. Na intervenção realizada nesta pesquisa esta etapa é denominada como Análise da Tarefa.

Daniellou e Béguin (2007) descrevem esta etapa como análise do processo técnico e das fontes de prescrição. Para os autores o nível de conhecimento técnico exigido para os analistas é aquele que lhes permitam compreender uma parte significativa das trocas informais nos setores que eles interveem.

Wisner (2005) apresenta a próxima etapa (3) como “análise das atividades e da situação de trabalho” e a coloca como essencial ao ergonômista (portanto, núcleo fundamental do método). O autor registra três objetivos propostos por Duraffourg et al. (1977, apud WISNER, 2005):

- Um inventário (não exaustivo) das atividades humanas no trabalho;
- Uma indicação das principais inter-relações entre essas atividades; e,
- Uma descrição do trabalho na sua globalidade.

Nesta etapa fica evidente a importância da observação das atividades realizadas. Tal observação busca coletar informações no momento do exercício efetivo da atividade (GUÉRIN et al., 2001), compreender os comportamentos (WISNER, 2005) e atender aos diferentes objetivos da intervenção, seja quando se refere a situações existentes (visando um diagnóstico) ou ao processo de concepção de novas situações produtivas (visando à prevenção de disfunções potenciais no sistema futuro) (DANIELLOU; BÉGUIN, 2007).

Porém, Guérin et al. (2001) também apontam os limites da observação, seja por uma questão temporal, a qual não permite a constatação de diversas variabilidades, seja pela seleção de parte dos postos de trabalho e trabalhadores para serem observados - excluindo da observação parte da diversidade que caracteriza o sistema de trabalho. Para contornar tais limitações os autores apontam a busca pelos raciocínios, trocas de informações e planejamento das ações (componentes não

observáveis do trabalho) para complementar a análise da atividade. Tal compreensão pode se dar através das verbalizações dos trabalhadores.

No mesmo sentido, Wisner (2005), Daniellou e Béguin (2007) colocam como indispensável a necessidade de validar o trabalho da análise através de conversas a fim de: restituir a informação a quem forneceu (oferecendo uma nova descrição de sua atividade – a auto-confrontação), corrigir e completar a análise realizada (enriquecendo a compreensão do analista). Encerradas as três etapas de análises é possível propor um diagnóstico local, um diagnóstico global e referências para a transformação da situação de trabalho (GUÉRIN et al., 2001).

Para Wisner (2005) a etapa que constrói as recomendações ergonômicas (4) nem sempre é considerada de forma justa e suficiente pelos teóricos da ergonomia. Para o autor esta negligência é, de alguma forma, fazer o inverso dos profissionais que se contentam em utilizar soluções genéricas sem uma análise prévia do trabalho.

Por fim, a AET é concluída com a validação da intervenção e eficácia das recomendações (5). Tal etapa, segundo Wisner (2005) raramente ocorre nos estudos ergonômicos, seja devido ao cliente expressar sua satisfação (ou decepção) com os resultados, ou pelo fato do ergonomista não parecer demasiado ansioso pelas consequências de sua prática ou ainda pela falta de financiamento privado e público para tais estudos (ou mesmo para a implementação efetiva das recomendações geradas).

Para dar suporte à AET foi utilizado um sistema de informações em plataforma *web*, desenvolvido pelos pesquisadores do PSPLab, que agrega diversas ferramentas e instrumentos de análise e projeto. Este sistema, denominado como Intervir, foi responsável por armazenar e sistematizar as informações colhidas e tratadas ao longo dos cinco anos da cooperação entre universidade e empresa. Os principais instrumentos utilizados foram:

- **Ficha de Caracterização Geral da Área (FCGA):** objetiva caracterizar itens típicos da análise da demanda de forma a fornecer elementos para construção de hipóteses e uma melhor compreensão do que “está em jogo”, desde as razões que originaram a demanda, contexto inserido, tentativas

anteriores de resolvê-la, até a avaliação da factibilidade de implantação de soluções. A FCGA é estruturada para receber as seguintes informações: local, centro de trabalho (divisão), centro de produção, características do ambiente de produção, equipamentos de proteção individual necessários, descrição do produto, descrição geral do processo produtivo, características da organização do trabalho (quantidade e sexo de trabalhadores, turnos de trabalho, existência de revezamento e descrição geral desta organização), recortes de análise e nome dos responsáveis pela análise, com as datas de criação e finalização.

- **Ficha de Descrição da Tarefa (FDT):** instrumento que possibilita a análise do processo técnico e das fontes de prescrição. A FDT é criada para cada um dos recortes de análise apontados na FCGA. Seu objetivo é descrever, analisar e sistematizar a execução da tarefa. Tal sistematização se dá pela tabulação das diversas operações demandadas. Para cada operação o analista cria uma linha que deve possuir um título, uma descrição do processo, apontar a próxima operação, apresentar local da realização daquele processo, descrever as máquinas e equipamentos utilizados e, por fim, o analista deve discorrer sobre o que foi observado ao longo da operação, incluindo nisto os constrangimentos observados, seus condicionantes e determinantes.
- **Ergonomic Workplace Analysis (EWA):** instrumento para análise de fatores de risco em postos de trabalho. O EWA (AHONEN, LAUNIS, KUORINKA; 1989) foi aplicado para todos os recortes de análise e após a validação (finalização e aprovação) das respectivas FDT. A ferramenta avalia 7 fatores de riscos, classificando-os geralmente de 0 (ou N/A, “não se aplica”) a 5 (risco máximo): Espaço de Trabalho; Atividade Física Geral, Levantamento, Carregamento e Aplicação de Força; Posturas de Trabalho e Movimentos; Ferramentas Manuais e Outros Equipamentos; Cargas Cognitivas; Cargas Organizacionais e Repetitividade; e, Risco de Acidente. Cada fator de risco (e subfatores, em alguns casos) deve ser avaliado com base nas referências apresentadas pelo instrumento e comentadas, especialmente quando o risco avaliado for maior ou igual à 3 (três).

- ***Ergonomics Check-Point (ECP)***: trata-se de uma lista de verificação ergonômica (ILO, 1996) que apresenta 128 tipos de intervenções ergonômicas que buscam melhorar as condições de trabalho e produtividade. A aplicação deste instrumento não foi considerada obrigatória, sendo que apenas em situações onde a análise, diagnóstico e recomendações poderiam apontar para um conjunto de intervenções pontuais necessárias, sem grande necessidade de aprofundamento, o ECP era utilizado.
- ***Product Design Specification (PDS)***: conjunto de especificações que servem de referência para todo o processo de projeto. Pugh (1990) define trinta fatores a serem considerados nas especificações e as questões típicas associadas a cada um deles, de forma a posicionar o projeto dentro da complexidade que envolve o seu desenvolvimento. Responder às questões levantadas significa estabelecer um conjunto de indicadores que irão nortear o processo de projeto. A aplicação desta técnica, assim como o ECP, não foi considerada obrigatória, sendo que apenas em condições específicas, onde o desenvolvimento da solução precisava considerar e formalizar uma amplitude maior de restrições e necessidades, seu uso era recomendado.

No capítulo seguinte os casos selecionados são apresentados e analisados com o objetivo de compreender a função e os resultados obtidos com a utilização dos diferentes suportes de simulação.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE DA PESQUISA DE CAMPO

O objetivo deste capítulo é o de apresentar a pesquisa de campo ocorrida em uma refinaria no interior do estado de São Paulo e que serve como base prática para o desenvolvimento desta tese.

Os casos selecionados, a partir dos critérios estabelecidos e apresentados no capítulo de Método e Pesquisa de Campo, são expostos em três partes: (1) Análise ergonômica do trabalho; (2) Desenvolvimento de projeto conceitual; e, (3) Considerações acerca dos suportes de simulação utilizados.

A apresentação das etapas de análise possui grande importância para a compreensão dos processos de projeto realizados visto que tal desenvolvimento, incluindo os suportes escolhidos, o tempo de duração e a decisão pela implementação, tem uma ligação direta com a origem e contexto da demanda, tarefas prescritas e a atividade realizada nas situações de trabalho. Buscou-se nesta apresentação manter a fidelidade das análises realizadas pelos especialistas durante sua realização. A principal fonte de consulta foram os sistemas de informação do próprio grupo de pesquisa (sistema Intervir) e da empresa. Como explicitado anteriormente, cada caso possuiu uma dinâmica própria, sendo refletida para esta pesquisa na quantidade de informações disponíveis e, portanto, no grau de detalhamento dado, especialmente na etapa de análise.

A exposição dos desenvolvimentos dos projetos conceituais busca revelar os processos não lineares, as descobertas, decisões, discussões e a aplicação de diferentes suportes técnicos que caracterizaram tal etapa. Para reconstruir tal curso de ação, além dos sistemas citados, o autor buscou nos projetos armazenados no servidor do grupo de pesquisa, em seus arquivos pessoais e comunicações eletrônicas (e-mail) todas as referências e informações relacionadas a cada um dos casos. Tal material apresentou-se muito farto e necessitou de um trabalho de compilação para a presente pesquisa. Desta forma o relato foca na utilização de diferentes suportes ao longo de cada processo e o contexto no qual foi aplicado.



Por fim, para cada caso são apresentadas considerações acerca dos suportes aplicados com o objetivo de uma primeira reflexão que auxilie nas considerações gerais e na caracterização das diferentes formas que a simulação pode se apresentar para instrumentalizar os processos de projeto.

O primeiro caso abordado tem como objeto de análise e concepção diversos acessos utilizados por operadores em um parque de tanques com produtos armazenados (petróleo e derivados). Tais acessos, distribuídos em uma extensa área da refinaria, se davam entre as áreas dos tanques e destes com as vias de circulação (ruas e avenidas do entorno).

O segundo caso recupera o desenvolvimento de dispositivos em um laboratório de engenharia com o objetivo de, em um primeiro momento, atender a recomendações de uma auditoria interna e, posteriormente, melhorar o armazenamento e movimentação de corpos de prova a partir da perspectiva da atividade dos operadores.

O terceiro caso, situado em uma sala de operação de uma área industrial, surge de uma demanda típica da ergonomia: análise e seleção de mobiliário. A partir da análise e reformulação da demanda, o mesmo é desdobrado em três frentes com desenvolvimentos dependentes e paralelos: projeto de uma máscara para interface de um painel; modificação da estrutura física do console do painel para melhor acomodação dos membros inferiores; e, análise, seleção e testes de cadeiras para operação no console.

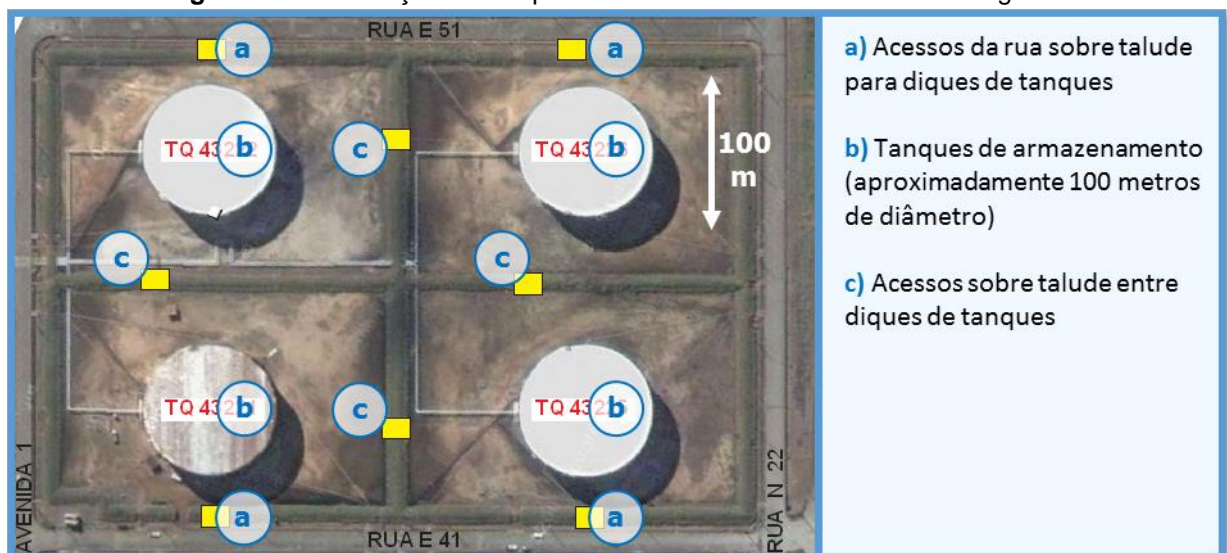
Por fim, o quarto e último caso, difere-se dos demais por se tratar de uma situação completamente nova e apresentar uma dinâmica de atuação da equipe de ergonomia nas etapas iniciais do projeto de instalações e como esta atuou nas situações encontradas, em especial, sobre o projeto de uma plataforma de abastecimento de produtos químicos em uma estação de tratamento de despejos industriais.

#### 4.1. Caso 1: Plataformas e Escadas de Acesso – Transferência e Estocagem

O parque de tanques da refinaria analisada ocupa uma área aproximada de 700 mil metros quadrados, correspondente a cerca de 15% do espaço total da mesma. Tal área é basicamente dividida em duas partes, sendo uma contendo a matéria-prima do processo (cerca de 50 tanques e 20 esferas) e outra com os produtos derivados do refino (40 tanques aproximadamente).

Como os tanques estão, em sua maioria, organizados em quadras contendo cada uma quatro tanques e cada um destes possui um acesso direto pela rua e outros 2 acessos internos para os tanques laterais, no total cada quadra possui, em média, 8 acessos. Para um total aproximado de 90 tanques (matéria prima e produto acabado) tem-se aproximadamente 180 acessos distintos na área da tancagem. Tal quantidade, no entanto, não reflete uma situação única (idêntica em cada acesso), mas sim situações com características específicas relacionadas ao processo, produto, relevo do local, iluminação, vegetação, entre outras. Assim, a demanda original registrada em 2006 foi desmembrada em 122 demandas entre os anos de 2007 e 2010. A Figura 11 ilustra uma quadra com quatro tanques e oito pontos de acesso (quatro acessos internos e quatro acessos para as vias de circulação).

**Figura 11** Identificação de tanques na área de Transferência e Estocagem



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Imagem de satélite (extraída de googlemaps.com) com informações adicionadas.

Para o presente caso é utilizado como principal referência a análise ergonômica da demanda original, no entanto, utiliza-se dados e situações analisadas e projetadas em demandas desdobradas desta.

#### 4.1.1. Análise ergonômica do trabalho

A demanda para intervenção na área de tanques da gerência de Transferência e Estocagem (TE) é anterior à chegada da equipe de ergonomia na unidade de refino. Como apresentado anteriormente, antes do início do contrato entre a refinaria e a equipe de ergonomia vinculada à universidade, os membros do Comitê Local de Ergonomia realizaram um levantamento inicial de demandas (registrando 30 demandas), sendo que algumas possuíam algum tipo de análise e outras chegaram até a etapa de implementação (5 demandas). Assim, a demanda inicial havia sido registrada em agosto de 2006 e possuía registro fotográfico de visitas técnicas à alguns locais do parque de tanques. A descrição inicial dada pelo Comitê de Ergonomia foi: “Risco de acidentes ocasionado pela precariedade do acesso ao parque de tanques: falta de guarda-corpo”.

Desta forma, a demanda pela adequação de plataformas e acessos da tancagem (como também é conhecido o parque de tanques) foi uma das primeiras situações a serem analisadas e projetadas pela equipe de ergonomia em seu primeiro ano de atuação. As visitas de reconhecimento da demanda foram iniciadas em abril de 2007.

A área analisada inicialmente, conhecida como 322, armazena um tipo de produto acabado (gasolina) e foi selecionada pela própria gerência da TE pelo fato de ser uma das mais acessadas pelos operadores. Na ficha de Caracterização Geral da Área o analista da equipe de ergonomia descreve o ambiente de produção como:

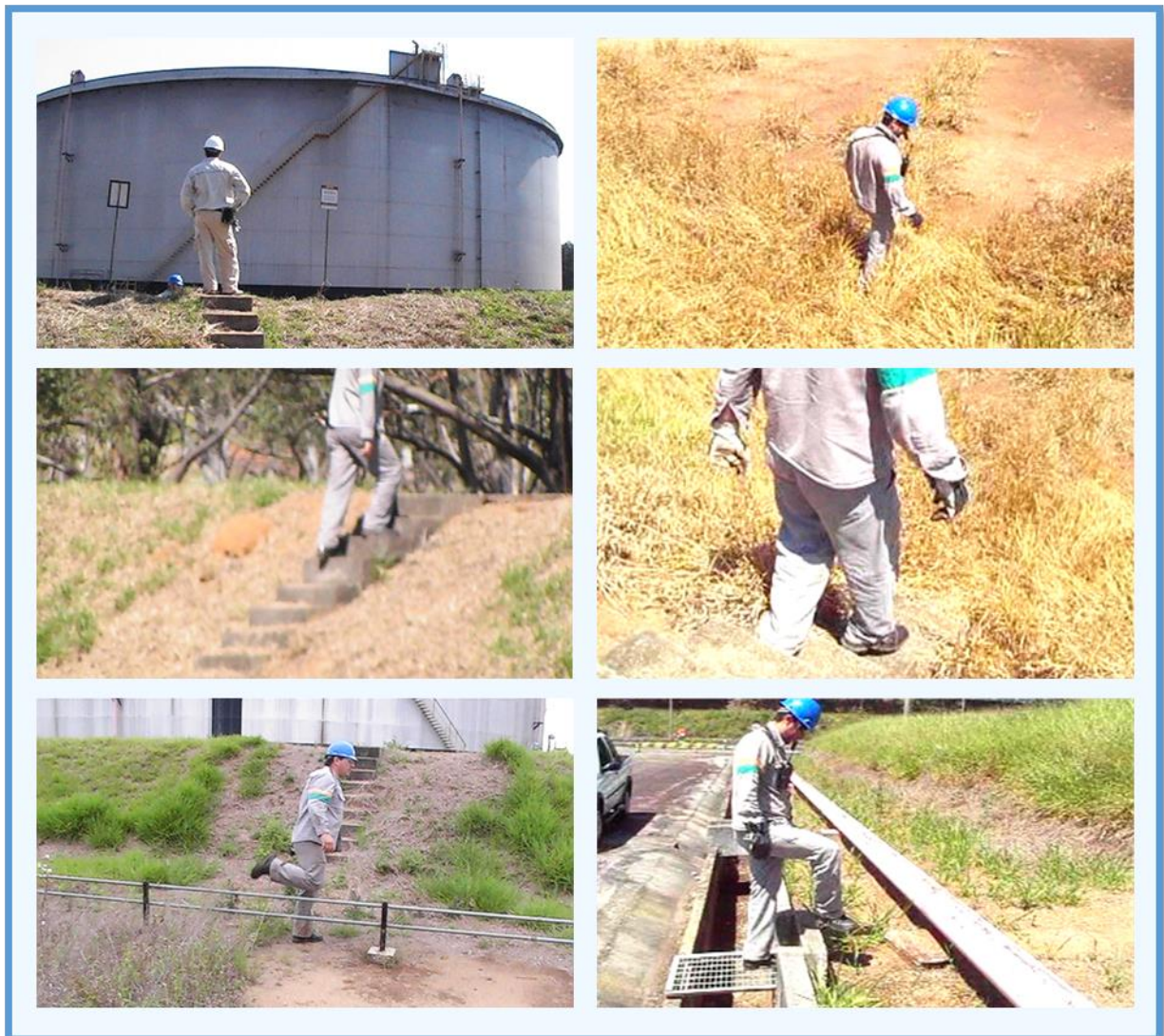
“Área em campo aberto, sujeita às condições climáticas. Deslocamento em automóvel e caminhando. Durante a rotina expostos a: animais peçonhentos, colisão, atropelamento, explosão, hidrocarbonetos, campo eletromagnético, descarga atmosférica, H<sub>2</sub>S, radiação solar e ruído.”

A análise sobre a organização do trabalho levantou que na área atuavam 15 operadores de campo (todos do sexo masculino) divididos em 5 grupos de 3 operadores com rodízio alternado em 3 turnos (7-15h / 15-23h / 23-7h). Além destes,

no turno das 7-15h, trabalhavam mais 2 operadores de produção e no turno administrativo (7h30-16h30) mais 1 operador de manutenção.

Na Ficha de Descrição da Tarefa a análise registrou os diversos processos, operações, locais, equipamentos e observações percebidas pelo analista. A distância entre o local da análise e a base dos operadores foi um dos primeiros pontos característicos da demanda, assim como o ambiente à “céu aberto” obrigando os operadores a se deslocarem caminhando sob chuva, sol, vento, em pisos arenosos (ocasionalmente com lama, devido à chuvas), mato alto, obstáculos (canos e tubulações, por exemplo), atravessando canaletas e vãos, com pouca ou nenhuma sinalização e iluminação. A Figura 12 ilustra alguns dos primeiros registros realizados pela equipe de ergonomia.

**Figura 12** Espaço físico de alguns acessos no parque de tanques



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A ferramenta de análise ergonômica de postos de trabalho EWA foi utilizada para a compreensão dos fatores de risco presentes no local de trabalho. No Quadro 7 é apresentada a síntese do resultado de sua aplicação.

**Quadro 7** Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 1

Item	Fator de Risco	Avaliação
1	<b>Espaço de Trabalho</b>	1
2	<b>Atividade Física Geral</b>	2
	<b>Posturas de Trabalho e Movimentos</b>	
3	Comentários do Analista: “Nas movimentações necessárias para acionamento de válvulas e transposição de obstáculos, principalmente de coluna, joelhos e punhos.”.	3
	<b>Ferramentas Manuais e Outros Equipamentos</b>	
4	Comentários do Analista: “Apoios para equilíbrio na passagem por obstáculos e movimentação de válvulas mal posicionadas”.	3
5	<b>Cargas Cognitivas</b>	1
	<b>Cargas Organizacionais e Repetitividade</b>	
6	Comentários do Analista: “Comunicação somente via rádio, trabalho em campo”.	2
	<b>Risco de Acidente</b>	
7	Comentários do Analista: “Quedas e fraturas por ausência de proteção, irregularidades do piso, possibilidade de ferimentos por animais”.	4

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Avaliação com escala de 1 (situação ótima/adequada) – 5 (situação perigosa/alto risco).

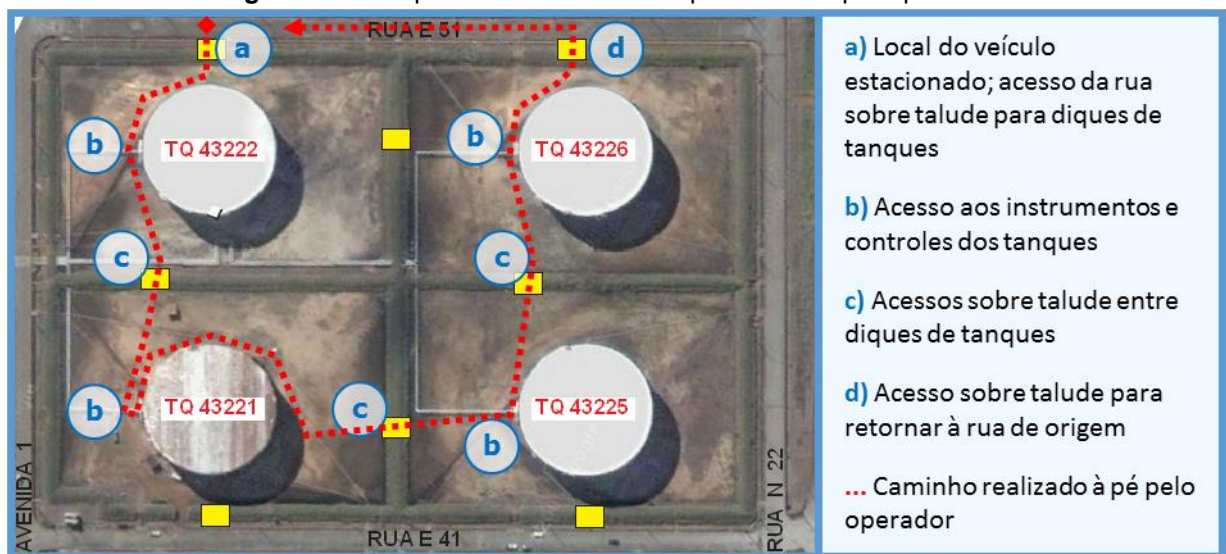
Assim, devido à distância, toda vez que é necessário o acesso ao parque (o que ocorre de duas a três vezes por turno, em média) o operador sai da sua base (Centro de Controle Local – CCL, Centro Integrado de Controle – CIC, ou ainda do Prédio Administrativo) e se desloca com um veículo até a quadra onde se encontra o tanque onde realizará a sua operação.

Por uma questão de segurança todas as quadras possuem uma elevação do terreno conhecida como talude para que, em caso de vazamento do tanque, o material contido neste não seja dispersado e contamine o entorno (função de bacia de contenção). De forma complementar, outra característica é que internamente à quadra existe uma impermeabilização para que não haja contaminação do solo (e lençol freático) em caso de vazamento de produtos químicos. Porém, um efeito colateral destas medidas é o acúmulo de água da chuva, em maior ou menor grau, dependendo da época do ano. Os taludes, na sua maioria, possuem acesso via escada de concreto sem proteção lateral o que permite ao operador ter acesso direto à parte superior do talude. Tal situação revelou durante a análise da atividade uma estratégia dos operadores para contornar áreas alagadas ou com obstáculos, ao permitirem que estes localizem pontos de acesso mais adequados ou com menor risco ou nível de exposição à água, mato, passagens de tubulações/dutos,

entre outros. Tal registro, observado e posteriormente confrontado e validado junto aos operadores, foi fundamental para o desenvolvimento do projeto conceitual.

Outra estratégia revelada pela análise da atividade foi o “roteiro” seguido pelos operadores para realizar as tarefas de rotina e as amostragens programadas. Segundo os operadores a sequência é definida pela preferência de cada operador, mas eles destacam a preferência por fazer deslocamentos em forma de “U”, se deslocando a pé para acessar quatro tanques e diminuir a necessidade de utilização do veículo, conforme ilustrado na Figura 13. Outra estratégia relacionada é o local onde o veículo é estacionado; segundo alguns operadores, a maioria prefere estacionar nas vias secundárias de menor movimento do que parar nas avenidas, onde o fluxo é maior, com maior possibilidade de bloqueios e trânsito de veículos de grande porte (guindastes, por exemplo).

**Figura 13** Exemplo de deslocamento a pé realizado por operador



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Ainda na análise da atividade foi possível destacar que um dos principais constrangimentos revelados pelos operadores foi a irregularidade dos pisos ao longo dos deslocamentos. A possibilidade de torção de tornozelo e queda foi apontada como resultado das escadas estreitas, presença de mato, buracos, valetas, diques, tubulações de diversos tamanhos, sarjetas, entre outros.

Uma série de outros constrangimentos foram identificados ao longo da análise e projeto conceitual. Situações como identificação visual deficitária dos tanques, proteção insuficiente para operações no teto dos tanques, posição de

volantes em alturas inadequadas, posição de volantes e linhas ocultos por tubulações maiores e que podem levar ao choque físico - em especial da cabeça – e proteção dos drenos para recolhimento de amostras de forma a não contaminá-las com chuva.

Tais situações foram registradas, porém, não foram incorporadas ao projeto conceitual em desenvolvimento devido à natureza da solução. Para as plataformas metálicas estava previsto um contrato com uma empresa especializada neste tipo de intervenção. As outras situações se configuraram em novas demandas, com destaque por serem de origem dos próprios operadores e foram tratadas ao longo da intervenção global.

#### 4.1.2. Desenvolvimento de projeto conceitual

A fase de concepção teve início em abril de 2007 com a análise ainda em andamento. O objetivo foi antecipar a construção de um conceito genérico de solução e posteriormente buscar a especificidade de cada situação, isto é, as características únicas de cada acesso analisado.

Para o início do desenvolvimento do projeto a equipe de ergonomia optou por aplicar a ferramenta PDS visando orientar a construção de soluções. Os principais aspectos levantados pelos projetistas para definir as características desejáveis foram:

- Desempenho: permitir o acesso às escadas e utilização de corrimãos;
- Manutenção: permitir e facilitar a limpeza do mato no entorno das escadas e acesso com maior frequência;
- Materiais e componentes: verificar a aplicação de materiais e componentes já aplicados em projetos semelhantes e materiais alternativos possíveis;
- Instalação: a instalação deve ocorrer de forma externa aos degraus (sem diminuição da largura útil da escada);
- Normas e padrões: seguir as normas “Projeto de Estruturas Metálicas”, “Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas”, “ABNT/NBR-9050 Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamento urbanos”; “ABNT/NBR-13532 – Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura”,

“ABNT/NBR-14718 – Guarda-corpos para Edificações” e “NR-18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção”.

A partir destas características foram definidos os pressupostos iniciais para o desenvolvimento do projeto:

- Desenvolver escadas, passarelas e plataformas para transpor obstáculos como tubulações, valetas, diques entre outros;
- Escadas devem ser iniciadas na rua de forma a transpor a inclinação da rua (sarjeta);
- Manutenção das escadas atuais de concreto.

As primeiras versões das propostas desenvolvidas pela equipe de ergonomia e discutidas com os operadores e o setor da engenharia utilizaram como suporte a ferramenta CAD 3D e estão ilustradas na Figura 14, o acesso sobre o talude, e na Figura 15, acesso da rua passando por tubulação.

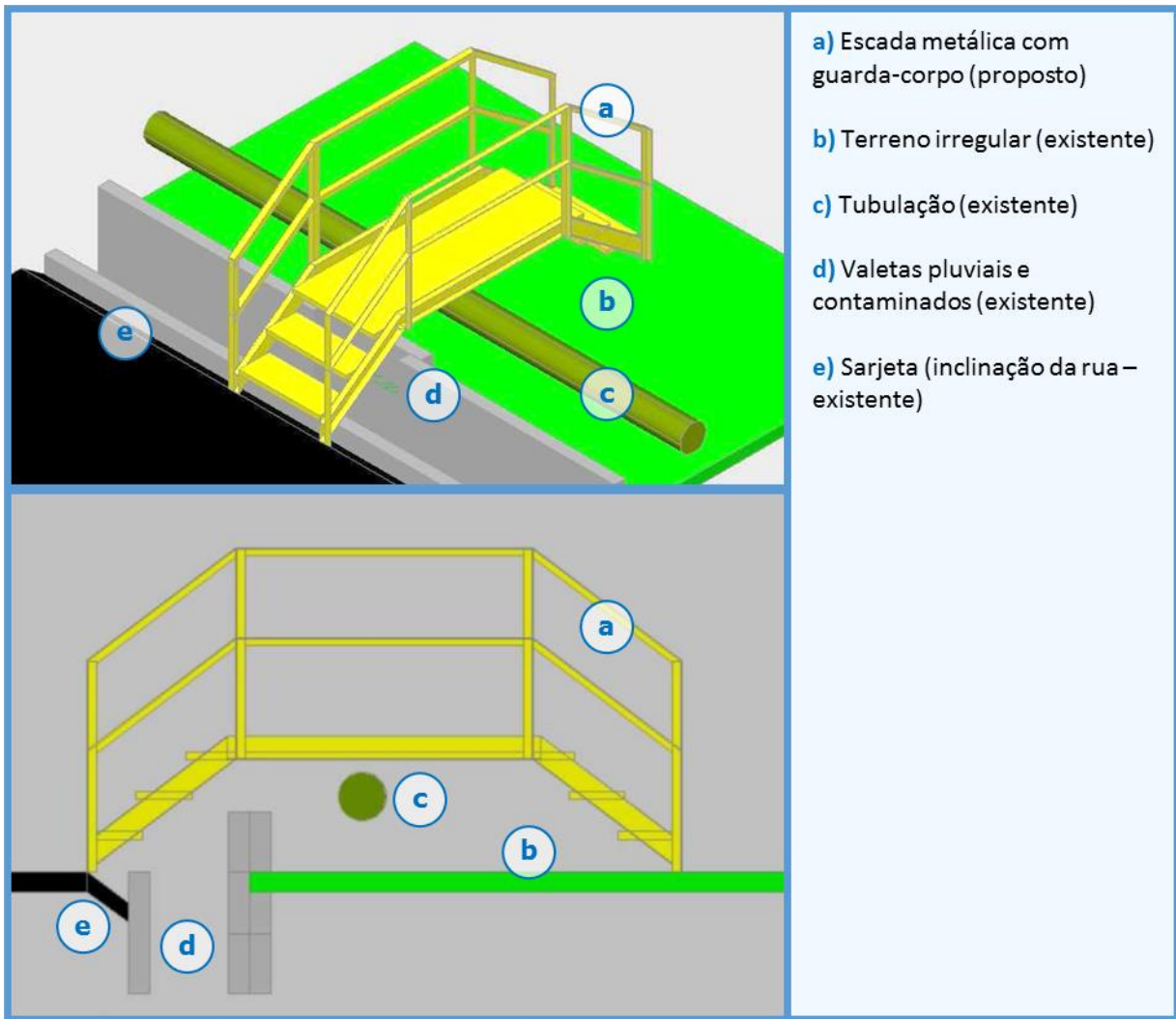
**Figura 14** Vista em perspectiva do CAD 3D de projeto conceitual inicial de guarda-corpos



Fonte: Elaborado pelo autor.



**Figura 15** Vista em perspectiva e lateral do CAD 3D ilustrando o projeto conceitual inicial



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A aplicação da ferramenta CAD permitiu a discussão e validação entre os diversos atores presentes na 1ª reunião de apresentação (equipe de ergonomia, responsável da engenharia e operador da área). As principais questões levantadas durante a discussão da primeira versão do projeto conceitual foram o avanço da escada sobre a rua, criando um risco de acidente (impacto de veículos com a estrutura metálica) e o questionamento sobre a utilização das escadas de concreto, visto que a análise ergonômica apontou que as mesmas estavam fora das normas de engenharia da empresa e que suas dimensões irregulares e variáveis aumentavam a chance de acidente por parte do operador.

Outro ponto levantado pela equipe de ergonomia se tratava do acesso ao talude por parte dos operadores, em especial em época de chuvas. Foi observado que, devido a este fato, os mesmos se deslocavam pelo talude para encontrar uma

região sem ou com pouco alagamento. O operador verbalizou que, mesmo com a presença do guarda-corpo, a prática de acessar o talude provavelmente continuaria acontecendo. A equipe de ergonomia externalizou que tal estratégia desenvolvida pelos operadores era decorrente de uma variabilidade do trabalho e que a presença do guarda-corpo poderia gerar um novo constrangimento e risco de acidente. Para a continuidade do projeto os pressupostos alterados foram:

- Escadas devem ser iniciadas na rua de forma a transpor a inclinação da rua; alterado para: Escadas devem iniciar na guia (ou meio-fio), sem risco de choque físico com veículos. A passagem pela sarjeta, da rua até a escada, deverá ser feita por meio de gradil.
- Manutenção das escadas atuais de concreto; alterado para: Novas escadas construídas em estrutura metálica, segundo normas e padrões existentes, deverão substituir as escadas de concreto.

Além destes, um novo **pressuposto** foi discutido com o objetivo de permitir o acesso ao talude por parte dos operadores:

- Prever uma passagem no guarda-corpo para permitir o acesso ao talude no ponto mais alto e plano do mesmo.

Com base nestes pressupostos um novo projeto conceitual foi desenvolvido e apresentado para os demais envolvidos na demanda. A solução proposta para o acesso ao talude foi uma abertura no guarda-corpo e fechamento com uma corrente e placa de aviso (solução considerada simples e de baixo custo, adotada em diversos locais da refinaria). Outra característica desta versão apresentada foi a proposição de uma plataforma única, sempre que possível, para a transposição de todos os obstáculos, desde a sarjeta, valetas, tubulações até o término do talude, objetivando diminuir o esforço físico dos operadores.

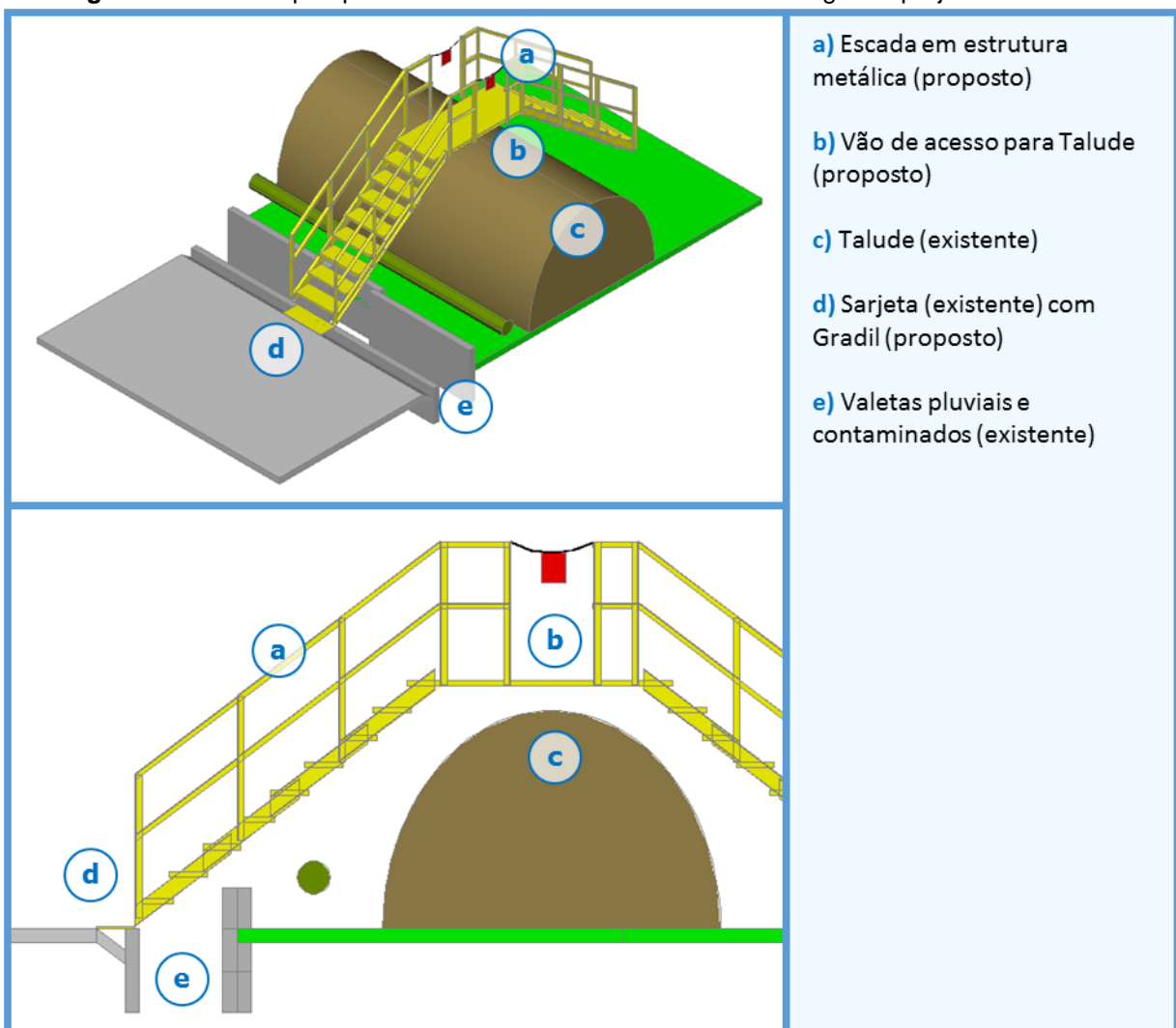
De maneira geral as principais características conceituais do projeto foram:

- Os acessos que partem de ruas devem estar desde o início nivelados com a mesma;

- As plataformas intermediárias (entre rampas) deverão possuir acesso ao talude através de vão no guarda-corpo de 80cm, protegido por corrente e com placa de aviso. A plataforma deverá estar próxima ao talude, permitindo facilmente saída e chegada ao piso da plataforma;
- Os pisos dos degraus e plataformas devem ser do tipo “grelha”, antiderrapante e não permitindo acúmulo de água.

A Figura 16 ilustra a segunda proposta.

**Figura 16** Vista em perspectiva e corte do CAD 3D ilustrando o segundo projeto conceitual



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Durante a apresentação da segunda proposta conceitual a discussão principal que envolveu a equipe de ergonomia, engenharia e operação foi a utilização da corrente como elemento de fechamento do vão da plataforma para acessar o talude. A antecipação da atividade futura, que contou com o suporte da modelagem

CAD 3D, apontou que, em especial no período noturno, a falta de iluminação e possível dificuldade de visualizar a corrente, poderia levar o operador a tentar apoiar sobre o guarda-corpo neste vão, criando uma situação potencial de acidente.

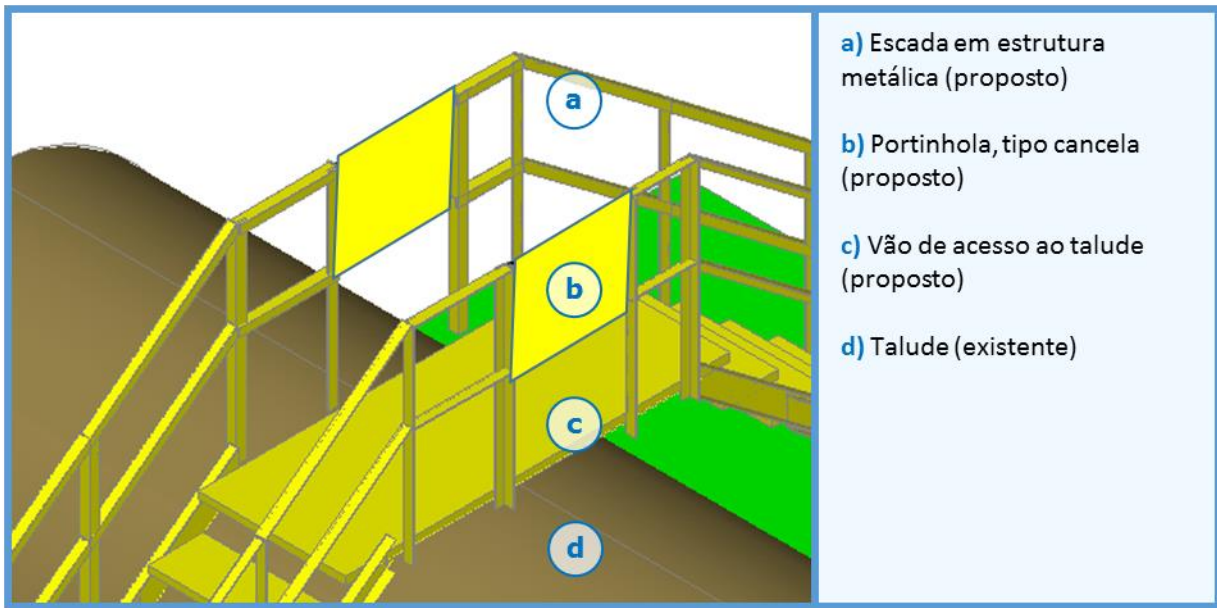
Outra observação, destacada pela engenharia, teve relação com a proposta de uma plataforma única. O responsável desta gerência salientou que o contrato que seria firmado para implementar as plataformas provavelmente teria como base o peso em material utilizado de forma global. Isto é, quanto maior as plataformas fossem em tamanho (e peso), menor em quantidade seriam as intervenções realizadas no geral (sendo a estimativa inicial de 180 acessos distintos apenas no parque de tanques, sem considerar área de processo).

Com base nas observações e validações a partir da segunda proposta, ficou definido que a próxima reunião seria realizada com a presença de mais atores que pudessem validar o conceito em desenvolvimento e possibilitar o avanço na etapa de contratação de uma empresa para execução dos projetos básicos e detalhados. A principal alteração da proposta foi a substituição do fechamento do vão com corrente por um sistema de portinhola. Assim, o pressuposto modificado foi descrito da seguinte forma.

- As plataformas devem possuir cancela (meia-altura, tipo portinhola) com espaço para placa de aviso (ou adesivo) nos espaços reservados para acesso aos taludes. A portinhola deve contar com dobradiças e sistema simples para fechamento (travamento). Na situação fechada a cancela deve propiciar a continuidade do corrimão. A plataforma deve estar próxima ao talude, permitindo facilmente saída e chegada ao piso da plataforma.

A terceira versão da proposta em desenvolvimento foi apresentada novamente com o suporte da modelagem CAD 3D, conforme Figura 17.

**Figura 17** Vista em perspectiva do CAD 3D ilustrando o detalhe do acesso ao talude



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Devido aos trâmites de licitação e contratação da empresa que ficaria como responsável pelo detalhamento do projeto e posterior implantação, a terceira reunião ocorreu aproximadamente um ano após a segunda, quando o contrato estava assinado e a equipe de ergonomia deveria apresentar o projeto conceitual, especificar os detalhes construtivos para escadas inclinadas, localização exata e apontar a sequência de instalação das plataformas. Durante este período a equipe de ergonomia deu suporte para a gerência setorial de Construção e Montagem (gerência de Engenharia) no detalhamento do edital e estimativa/gestão de cronograma.

Na reunião seguinte de validação a discussão em torno da portinhola para o acesso ao talude novamente foi protagonista e um consenso não foi obtido em torno da mesma. A posição colocada por um dos representantes da Engenharia de Construção e Montagem foi que, ao permitir o acesso do operador ao talude, a empresa estaria concordando com uma situação de não segurança, visto que o mesmo não possui piso regular previsto para deslocamentos.

A equipe de ergonomia expôs que tal estratégia (andar sobre o talude), adotada por diversos operadores, era de fundamental importância para regulação da carga de trabalho e tinha como origem uma variabilidade não prevista na prescrição da tarefa (alagamento no interior do dique, principalmente). Novamente o engenheiro afirmou que tal situação deveria ser algo eventual e que a presença do guarda-corpo totalmente fechado não permitiria o acesso ao talude, fazendo com o que o operador

siga a prescrição. No entanto, entre os presentes haviam dois ex-operadores de área (sendo um atualmente engenheiro de processo e o outro, técnico de segurança) os quais foram assertivos ao afirmarem que o operador continuaria acessando o talude, inclusive pulando o guarda-corpo se fosse necessário (exemplificaram com situações cotidianas ainda mais críticas observadas na refinaria).

A discussão, que contou com a utilização de esboços feitos à mão e da modelagem CAD 3D como suporte para a antecipação da atividade futura possível, além das análises, concluiu que a portinhola deveria ser mantida e que a causa para a necessidade de acesso ao talude fosse eliminada, melhorando substancialmente a drenagem destas áreas para evitar o acúmulo de água. Quando isto fosse realizado, a portinhola deveria ser inutilizada com uso de cadeado ou solda.

Com o conceito completamente definido e poucas alterações a serem efetuadas, o 1º lote de plataformas pôde ser especificado. Tal lote foi validado pela gerência setorial da área de Transferência e Estocagem, pelos fiscais da Engenharia de Construção e Montagem, pelos operadores da área e pelos responsáveis de SMS.

Apesar da definição em torno do conceito, a equipe de ergonomia optou por utilizar um suporte de simulação ainda em fase de pesquisa para permitir uma discussão mais ampla e compreensiva no sentido de permitir a antecipação da atividade, reconstruindo-a no cenário proposto. Este suporte tem como base a aplicação da tecnologia de *Game Engine* e, como apresentado anteriormente, se destaca pela alta qualidade gráfica, recursos de interação entre manequim virtual e o ambiente, aliando à isto a possibilidade de programação de eventos e respostas à estímulos (gatilhos) por parte do controlador.

Para a simulação foram utilizados dois manequins humano digitais (MHD) masculinos. Ao contrário da modelagem e simulação humana, nesta tecnologia a definição dos manequins é restrita e não possui relação com aspectos biomecânicos e antropométricos (por serem modelos de visualização). Um dos manequins foi programado para ser controlado via *joystick* (denominado *player*) e o outro programado para uma sequência pré-definida de ações (denominado *actor*). O ambiente exportado para a *Game Engine* contemplou parte representativa da refinaria, incluindo os prédios administrativos, de serviços, armazéns e laboratórios.

O parque de tanques também foi modelado quase que na sua totalidade. As principais situações características simuladas foram:

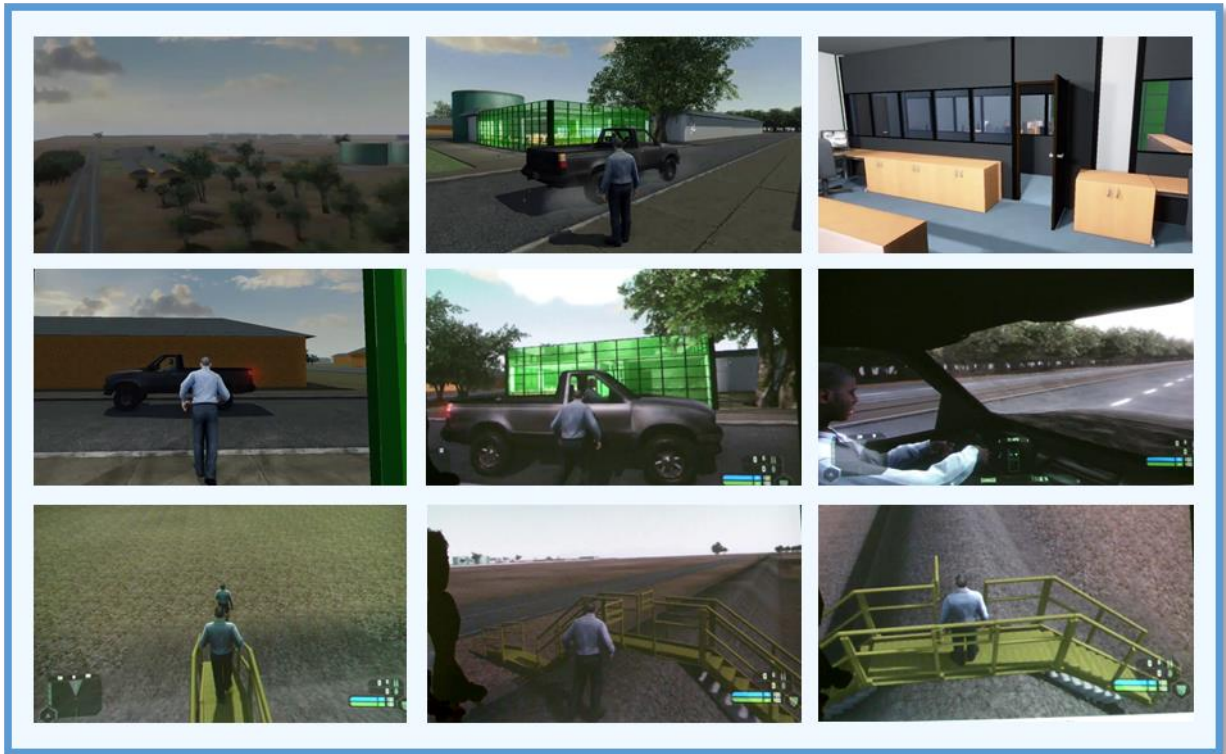
- O manequim *player* no início da simulação encontra-se em frente ao laboratório que realiza os testes com as amostras extraídas do parque de tanques;
- O manequim *player* pôde “explorar” livremente o prédio do laboratório (que foi modelado com divisórias das salas e mobiliário); os demais prédios da área administrativa não foram detalhados, possuindo apenas uma representação da estrutura de alvenaria;
- No momento que desejasse, o controlador do manequim *player* poderia se dirigir até uma camionete que encontrava-se em frente ao laboratório. Ao acionar a entrada na camionete o manequim *player* tinha seu controle suspenso e o manequim *actor* “assumia” o controle (pré-programado). Este manequim encontrava-se na direção do veículo (motorista) e estava programado para dirigir até o parque de tanques. Ao término do deslocamento, o manequim *player* tinha seu controle restabelecido para o controlador do *joystick*. Simultaneamente o manequim *actor* descia do carro e se deslocava pela plataforma metálica projetada, seguindo até um dreno localizado junto ao tanque.
- O controlador pôde optar por seguir o manequim *actor* até o dreno (observando uma atividade futura possível – situação de ação característica) e/ou “explorar” a plataforma sob projeto.

A Figura 18 apresenta um *storyboard*<sup>27</sup> ilustrando uma simulação com o cenário virtual utilizando a *Game Engine*. Ao longo da reunião a utilização desta tecnologia tornou possível uma série de discussões e apoiou a validação do conceito visando a implantação das plataformas em diversos pontos do parque de tanques.

---

<sup>27</sup> *Storyboard* são organizadores gráficos com uma série de ilustrações ou imagens arranjadas em sequência cronológica com o propósito de pré-visualizar ou ilustrar estaticamente um filme, animação ou gráfico animado. Este recurso foi aplicado somente na elaboração deste texto, não sendo portanto um elemento do campo pesquisado.

**Figura 18** *Storyboard* de simulação utilizando *Game Engine*



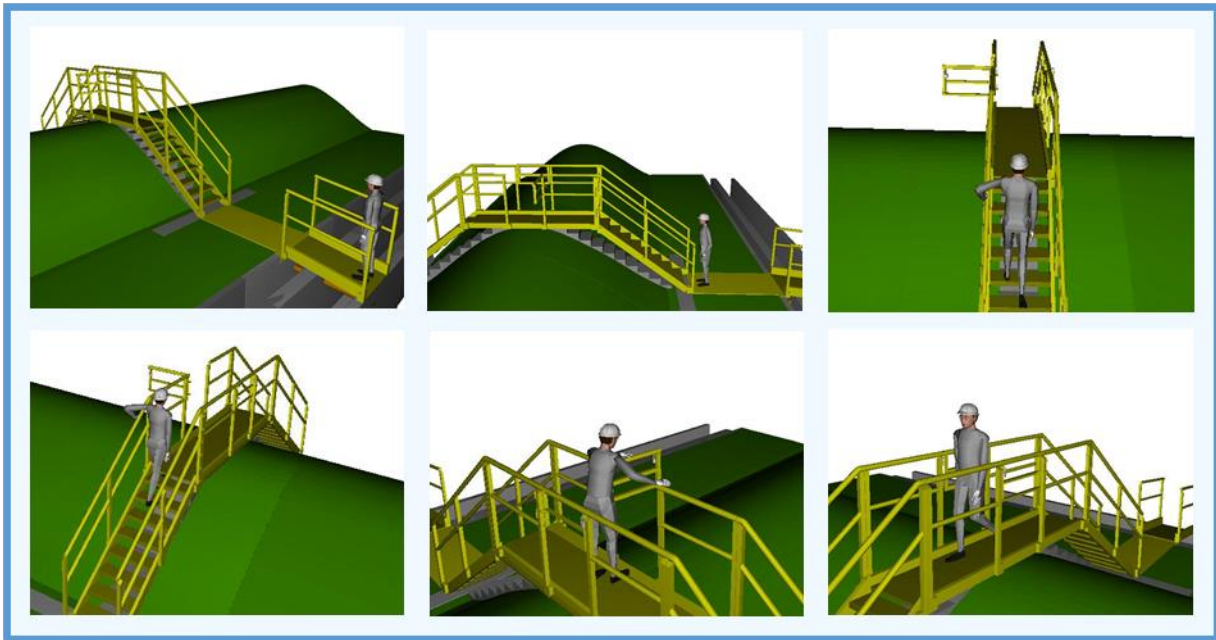
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os suportes de modelagem CAD 3D e simulação com *Game Engine* ainda foram utilizados em outras reuniões como elementos de apoio para a discussão sobre o projeto e assuntos correlacionados, como uma reunião para tratamento de anomalia (devido a um acidente ocorrido no parque de tanques, quando um operador perdeu o equilíbrio e caiu de uma escada de concreto, torcendo o tornozelo) e durante o processo de definição de um novo contrato para implantação de mais plataformas metálicas na refinaria com o objetivo de adequar outros acessos em diversos locais.

Em paralelo com o desenvolvimento das simulações com *Game Engine* foram desenvolvidas simulações humanas dinâmicas com o software Jack. Os resultados foram apresentados em algumas reuniões como apoio à discussão. A Figura 19 ilustra em *storyboard* a animação criada para a simulação.



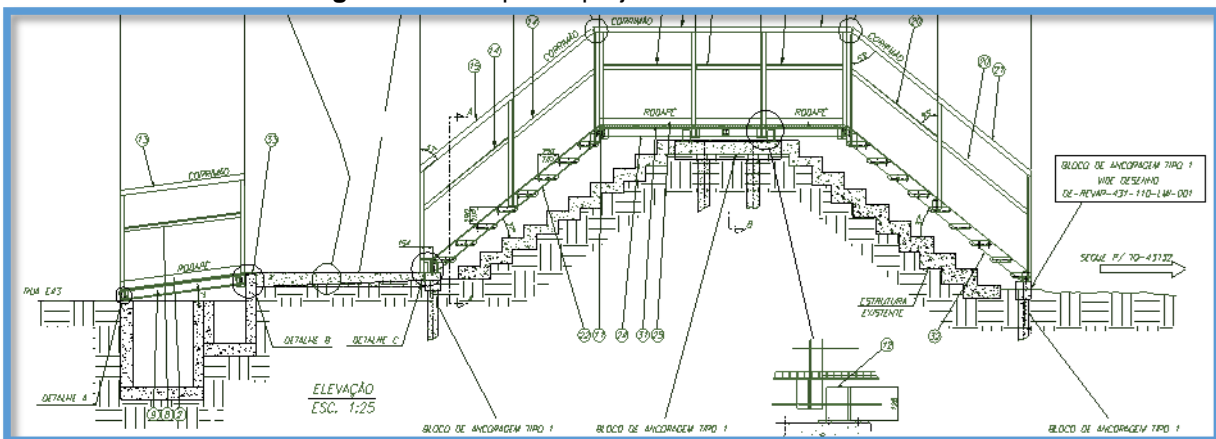
**Figura 19** Storyboard da simulação humana dinâmica de acesso ao parque de tanques



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A equipe de ergonomia continuou atuando sobre a demanda com a tarefa de validar os detalhamentos do projeto conceitual de cada situação que sofreu intervenção. O processo de validação ocorreu em 3 etapas após a entrega do conceito: validação do projeto básico, validação do projeto executivo e validação da implementação (sendo esta última em dois momentos distintos: durante e após a conclusão). Estas etapas estão ilustradas na Figura 20, com um exemplo de projeto básico apresentado em CAD 2D, Figura 21, mostrando uma validação durante a montagem, e na Figura 22, com uma foto da validação após conclusão e entrega de plataforma.

**Figura 20** Exemplo de projeto básico em CAD 2D



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 21** Validação durante a implantação dos acessos com escadas metálicas



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 22** Validação após implantação definitiva de plataforma metálica



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** No detalhe, a portinhola de acesso ao talude.

#### 4.1.3. Considerações acerca dos suportes de simulação utilizados

O projeto apresentado fez uso de poucos suportes de simulação que funcionaram como objetos intermediários no processo de concepção. Basicamente

foram utilizados como instrumentos o CAD 2D e 3D e, já na fase final do projeto, a *Game Engine* e a Simulação Humana Digital. Tal opção pela tipologia adotada de suportes tem relação com a natureza da demanda (e da solução dada). No presente caso a demanda fez referência à uma série de dificuldades relacionadas com o deslocamento de operadores em um parque de tanques. Desta forma, o espaço a ser analisado e (re)projetado foi caracterizado como uma situação de trabalho da qual o operador faz um uso breve (considerando toda a sua rotina) porém com frequência razoável.

Outro ponto que influenciou na utilização dos suportes de simulação deste projeto foi o objeto central da solução (plataformas e escadas de acesso) ser bastante conhecido e dominado pelos operadores, gerências, engenharia (incluindo as normas internas e externas), equipe de ergonomia, enfim, por todos os envolvidos. Tais estruturas fazem parte do dia-a-dia de uma refinaria e facilmente podem ser exploradas e avaliadas em termos de suas vantagens, desvantagens, exemplos bem-sucedidos e malsucedidos. Assim, desde o início considerou-se que a aplicação de suportes como modelagem e simulação humana ou ainda prototipagens físicas adicionariam pouco ao desenvolvimento do projeto (fato este comprovado pelo pouco uso da simulação humana dinâmica criada em paralelo com a simulação em *Game Engine*).

Tal lógica de domínio sobre o artefato em projeto foi quebrada apenas devido ao fato da atividade do operador ter tido espaço desde o início, assumindo papel de protagonismo na concepção do conceito. A discussão envolvendo a possibilidade de acesso ao talude pelo operador e, conseqüentemente, a presença ou não de um vão na plataforma, gerou uma situação clara de conflito e confrontação de diferentes lógicas existentes no mundo do trabalho.

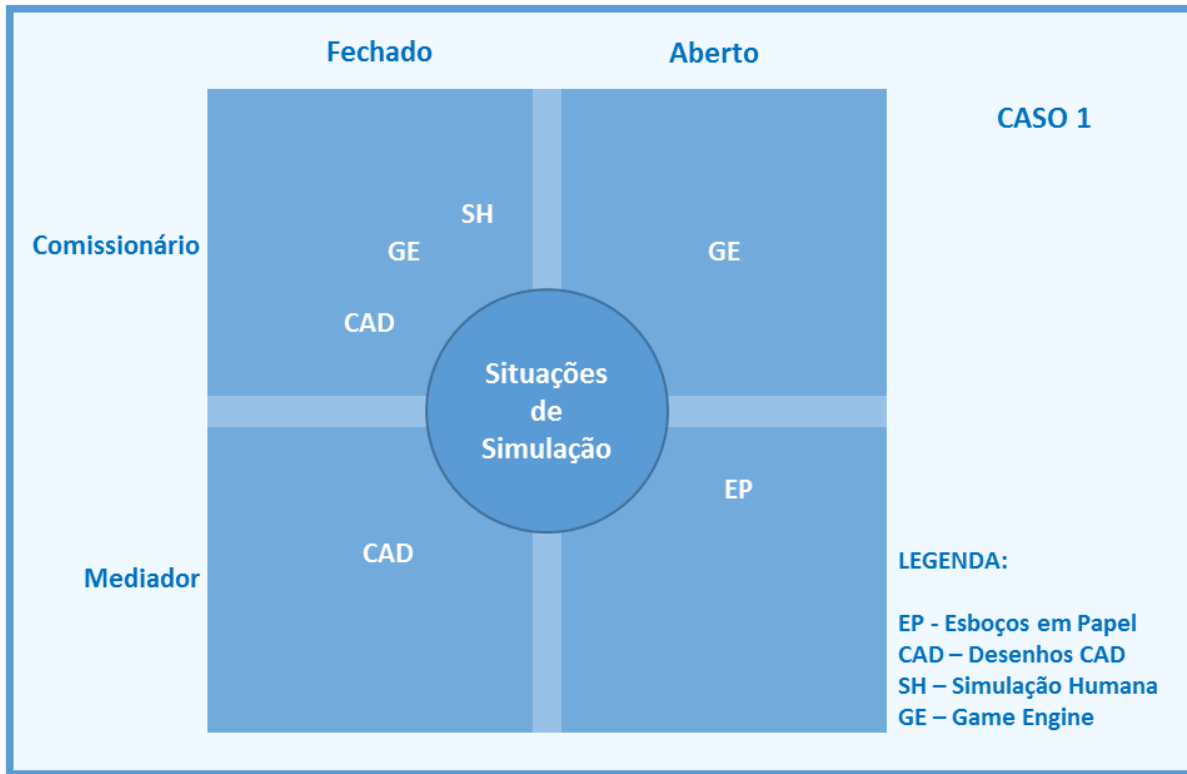
Após tal situação se manifestar a equipe de ergonomia optou por fazer uso de um suporte de simulação ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento: a *Game Engine*. Ao contrário do CAD, que se desenvolveu desde o início como ferramenta de apoio ao projeto e está completamente incorporado nos ambientes de projeto, trata-se de uma ferramenta nova, com uso quase que exclusivo para a indústria de entretenimento e com poucas experiências relacionadas a processos de concepção, e em especial, ao projeto do trabalho.

A opção por esta técnica, em detrimento das outras, pode ser explicada pelos seguintes pontos:

- Não havia a necessidade de uma análise detalhada da interface homem-ambiente, sendo portanto irrelevante para a discussão pretendida questões de ordem antropométrica ou biomecânica (itens nos quais a modelagem e simulação humana possui larga vantagem);
- A amplitude do espaço e da rotina exercida não poderia ser facilmente explorada com uso de protótipos ou maquetes, pelo contrário, seria interessante que a dimensão territorial da refinaria e a necessidade de deslocamentos com veículo e a pé fossem exploradas nas simulações;
- A variabilidade presente na situação de trabalho dos operadores do parque de tanques faz com que não haja um “roteiro” bem definido do que deve ser feito, em termos de posturas, caminhos, uso de equipamentos ou acessórios, entre outros e dificilmente poderiam ser exploradas as diferentes estratégias com uso de um suporte inflexível (que tende a seguir um roteiro fechado definido pelo projetista durante o desenvolvimento da simulação, como uma animação ou simulação humana dinâmica);
- A possibilidade de representar o ambiente de forma realística, incluindo texturas, formas e tempo de deslocamento e ações pré-programadas acionadas por gatilhos (abrir a portinhola ou acessar o veículo apenas quando fosse desejado pelo controlador do manequim *player*, por exemplo).

De qualquer forma, importante destacar que tal suporte não foi utilizado como parte das especificações do projeto conceitual entregue para a empresa contratada para o detalhamento e implantação das plataformas e escadas. Para este objetivo é de fundamental importância a precisão das especificações e a linguagem técnica já dominada, em especial o uso de software CAD.

Analisando-se os suportes de simulação aplicados ao longo do desenvolvimento de projetos do caso apresentado, pode-se classificá-los conforme os eixos Comissionário-Mediador e Fechado-Aberto (JEANTET et al., 1996). A Figura 23 apresenta os suportes e as funções e objetivos pretendidos durante a concepção das plataformas de acesso ao parque de tanques.

**Figura 23** Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 1

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Evidencia-se nesta análise a flexibilidade da função e objetivo da aplicação de um mesmo suporte durante as etapas de concepção de uma situação produtiva. Neste caso específico, pode-se destacar a ação dos esboços manuais em papel (EP) como objeto intermediário do tipo mediador aberto, isto é, não objetivou explicitar uma solução ou configuração pré-concebida e que permitiu uma ampla gama de ações (com novas proposições, inclusive). O uso de Game Engine (GE) pôde ser classificado com dois objetivos diferentes: aberto e fechado. Em um primeiro momento aberto, visto que a solução proposta estava em discussão e aberta para novas soluções e/ou configurações. Posteriormente, o uso dos cenários virtuais buscou a validação da solução proposta e antecipação de possíveis constrangimentos que pudessem surgir a partir da implantação das portinholas nas plataformas de acesso; em ambas situações o objeto foi do tipo comissionário, pois transmitiam uma representação bem definida da solução proposta. A função mediadora do CAD se deu em situações específicas onde o projeto foi discutido e alterado durante os encontros, dando suporte para simulações da atividade futura.

## 4.2. Caso 2: Laboratório de Ultrassom – Engenharia

O setor de Engenharia ao qual o segundo caso desta pesquisa está relacionado não se refere à gerência de Engenharia da refinaria objeto de estudo. Este setor está vinculado à outra divisão da empresa, mas, devido à localização geográfica, compartilha alguns recursos com a unidade de refino. Sua principal responsabilidade está na certificação através de exames e qualificação de pessoal, em especial de prestadores de serviços das diversas unidades da empresa em todo território nacional.

As instalações deste setor possuem diversas salas administrativas, oficinas e laboratórios para a realização de ensaios e exames. Neste caso específico o foco da análise e concepção por parte da equipe de ergonomia foi em um dos laboratórios utilizados em exames de certificação de pessoal com ensaios não destrutivos na modalidade ultrassom.

A demanda para intervenção neste caso surge de uma auditoria interna da empresa que aponta a presença de riscos de acidente e armazenamento inadequado de materiais no laboratório. O setor interno de segurança ocupacional, através de um técnico de segurança do trabalho, ficou responsável por encaminhar a questão visando eliminar a não conformidade apontada.

Desta forma, o técnico de segurança do trabalho entrou em contato com a Equipe Técnica de Ergonomia solicitando uma reunião para discutir possíveis encaminhamentos. A primeira reunião ocorreu no mês de setembro de 2009.

### 4.2.1. Análise ergonômica do trabalho

A equipe de ergonomia fez o reconhecimento do local e iniciou o processo de análise ergonômica do trabalho (FCGA). A descrição inicial do ambiente de produção foi: “Laboratório com iluminação natural e artificial, ambiente com ar-condicionado. São cinco postos de testes de ultrassom em corpos de prova, sobre bancadas com gavetas e cadeira alta”. A Figura 24 apresenta o espaço físico do laboratório.

A descrição geral do processo produtivo realizada apontou que os técnicos das empresas contratadas precisavam realizar testes para obter certificação

pelo laboratório para poder exercer o serviço de ultrassonografia de estruturas nas unidades produtivas da empresa. Os técnicos candidatos realizavam testes de ultrassom em diferentes corpos de testes (diferentes formas e tamanhos). Cada corpo de prova possuía uma identificação, a qual deveria ficar visível para facilitar a localização, pois possuíam tipos diferentes de falhas a serem identificadas através dos testes pelos técnicos.

**Figura 24** Espaço físico do Laboratório de Ultrassom



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O levantamento dos principais corpos de prova utilizados apontou para 33 unidades, sendo 9 referentes à tubos de 12 polegadas de diâmetro (40 cm de comprimento - peso máximo de 54 kg), 10 tubos de 8 polegadas (40 cm de comprimento - peso máximo de 22 kg) e 14 chapas (40x40x2,5 cm – peso máximo de 36 kg). Além destes existiam outros corpos de prova de diferentes formatos e pesos, porém todos com menos de 10 kg.

Em termos de organização do trabalho relatou-se que apenas um técnico empregado da empresa (com bastante experiência e na função de supervisor) atuava

de forma direta nas atividades do laboratório, podendo contar com o apoio de mais dois operadores (com pouca experiência ambos) caso fosse necessário. Além destes, os técnicos de empresas contratadas no local variavam de um a seis, conforme demanda de contratação/certificação de novos profissionais habilitados para a prestação do serviço. Toda a atividade ocorria em horário administrativo (7h30 – 16h30).

A reformulação da demanda inicial ocorreu no sentido de que a intervenção na situação não deveria estar focada apenas na definição de um local adequado para o armazenamento dos corpos de prova, e sim na compreensão da atividade desenvolvida e dos constrangimentos presentes que pudessem ocasionar riscos à saúde e produtividade dos trabalhadores.

As hipóteses geradas apontaram que o recorte de análise seria a sala do laboratório de ultrassom, apesar dos técnicos (empregados e contratados) atuarem em outros locais da empresa. Tanto a reformulação da demanda quanto as hipóteses foram discutidas e validadas com o técnico de segurança e com o gerente da área de SMS.

A análise da tarefa ocorreu primeiramente com base nos padrões que contêm os procedimentos que fixam os requisitos técnicos e as práticas recomendadas para qualificação de pessoal para a inspeção de construção, montagem e comissionamento de equipamentos e sistemas de instrumentação. Posteriormente, se deu através de uma descrição centrada nos processos técnicos, com ênfase nos fluxos de materiais e pessoas e nas etapas de realização das operações nas bancadas.

A descrição da tarefa (FDT) apresentou mais de 50 processos técnicos em termos de operações, locais, máquinas e equipamentos utilizados (inclusive EPIs), além das observações do analista. Nestas ficaram evidenciadas as primeiras diferenças entre o prescrito pela organização e o real, executados pelos trabalhadores.

O processo de análise focou, a partir de então, na compreensão da atividade desenvolvida no laboratório, as estratégias utilizadas, as posturas adotadas, ritmo de trabalho, uso dos espaços de bancadas, mesas, armários e piso. Os registros



para análise ocorreram por meio de fotos e vídeos gravados em situação real de trabalho. Algumas situações e estratégias compreendidas por suas manifestações observáveis foram:

*Local de armazenamento dos corpos de prova:* as chapas eram guardadas nos armários enquanto os tubos ficavam dispostos no piso do laboratório. Os tubos maiores (12”) ficavam sob as bancadas de forma a evitar a movimentação destes pelo laboratório. Os tubos mais leves (8”) ficavam no centro da sala (próximos à uma mesa). Todos os tubos ficavam armazenados na posição vertical e para a movimentação eram colocados na posição horizontal, de forma a facilitar o manuseio.

*Uso do carrinho:* com a necessidade de movimentação dos corpos de prova foi solicitado pelo setor a compra de um carrinho que movimentasse e elevasse os corpos de prova. O carrinho, com sistema manual de manivela, cabo de aço e roldanas, é utilizado apenas para movimentação dos corpos de prova mais pesados (acima de 30kg).

*Uso de massa plástica:* para diminuir o risco de queda ou de acidentes os funcionários desenvolveram a estratégia de usar uma massa plástica (tipo epóxi) para “travar” o tubo na chapa do carrinho e fazer com que este não role sobre seu próprio eixo durante a movimentação, conforme pode ser observado na Figura 25.

**Figura 25** Massa plástica utilizada no manuseio dos corpos de prova



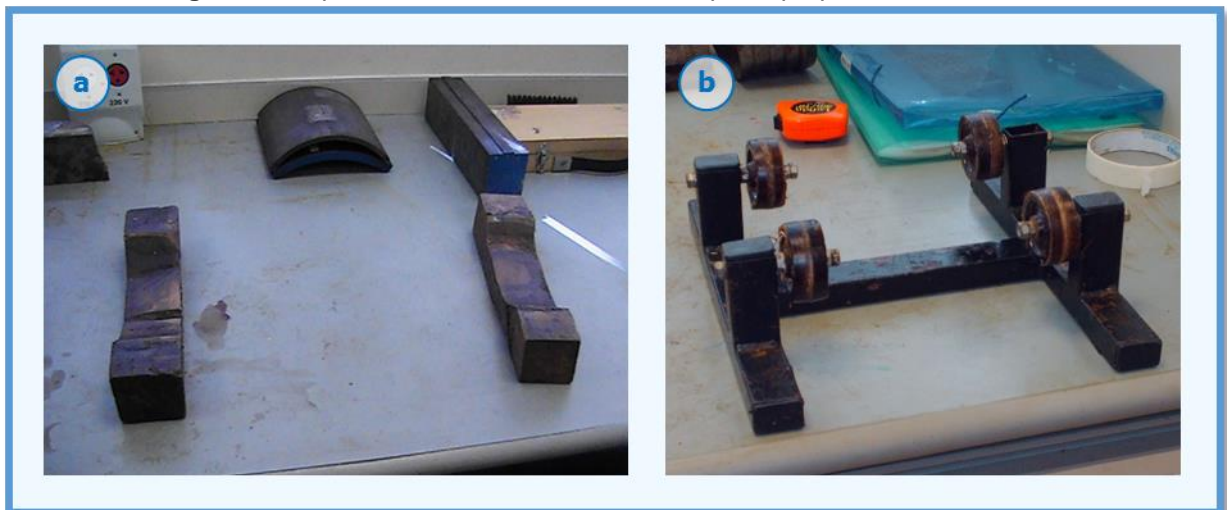
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A massa também era usada para as placas mais pesadas de forma que evitasse o risco de prensão dos dedos com a plataforma de carga do carrinho e

facilitando a pega para manuseio e retirada do corpo de prova (mantendo um vão entre a placa e a plataforma).

*Suportes artesanais:* durante a observação sistemática da atividade a equipe de ergonomia teve contato com dois suportes de corpos de prova desenvolvidos internamente pelos trabalhadores do setor. O primeiro suporte, Figura 26a tratava-se de dois pedaços de madeira com a parte superior no formato côncavo de forma a se tornar um “berço” para os corpos de prova. O segundo suporte, utilizado apenas para tubos menores (abaixo de 10 kg), constituía-se numa estrutura metálica com quatro rodízios instalados (Figura 26b). Os rodízios permitiam que o tubo girasse em torno de seu próprio eixo facilitando a execução do trabalho dos técnicos.

**Figura 26** Suportes artesanais desenvolvidos pelos próprios trabalhadores



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) suporte de madeira tipo berço. Em (b) suporte com estrutura metálica e rodízios.

Para auxiliar a construção de um diagnóstico foi aplicada a ferramenta de análise ergonômica de postos de trabalho EWA. No Quadro 8 é apresentada a síntese do resultado de sua aplicação.

Posteriormente as análises foram validadas através de confrontação com o funcionário responsável pelo setor. Os resultados das análises possibilitaram a construção de um diagnóstico e uma série de recomendações para melhoria das condições de trabalho e atendimento às normas e padrões da empresa. Desta forma, a partir de uma compreensão da atividade realizada e dos constrangimentos enfrentados pelos trabalhadores, iniciou-se o processo de concepção.

**Quadro 8** Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 2

Item	Fator de Risco	Avaliação
1	<b>Espaço de Trabalho</b> Comentários do Analista: “Principais desvios são em relação ao espaço para as pernas sob as bancadas de teste. As alturas no espaço vertical podem não seguir as recomendações eventualmente, dependendo do usuário o tempo na postura”.	4
2	<b>Atividade Física Geral</b> Comentários do Analista: “Principalmente no transporte manual de corpos de prova considerados menores podem ocorrer picos de esforço sobre joelhos e coluna. Essa situação fica agravada pelo stress de provas e testes a que os técnicos estão sendo submetidos.”	4
3	<b>Posturas de Trabalho e Movimentos</b> Comentários do Analista: “As posturas não são instáveis, mas desconfortáveis frente à situação de trabalho e dificuldades de ajustes individuais da cadeira. Observada a opção pelo trabalho em pé devido a estas dificuldades”.	4
4	<b>Ferramentas Manuais e Outros Equipamentos</b> Comentários do Analista: “Em ocasiões as ferramentas e os corpos de provas possuem peso e contatos de superfície inadequados”.	4
5	<b>Cargas Cognitivas</b>	3
6	<b>Cargas Organizacionais e Repetitividade</b> Comentários do Analista: “Os técnicos realizam os testes de acordo com uma organização individual”.	2
7	<b>Risco de Acidente</b>	2

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Avaliação com escala de 1 (situação ótima/adequada) – 5 (situação perigosa/alto risco).

#### 4.2.2. Desenvolvimento de projeto conceitual

O processo de concepção da situação de trabalho teve início no final de novembro de 2009. Foram solicitados os desenhos da sala do laboratório com as dimensões e com o mobiliário presente na situação real. Foram fornecidos desenhos CAD com a planta baixa com layout.

Para o desenvolvimento da 1ª proposta conceitual de solução foram determinados de forma coletiva as seguintes **características desejáveis**:

- Liberação completa do espaço sob as bancadas para ocupação dos membros inferiores dos trabalhadores;
- Definição de local adequado para armazenamento dos corpos de prova;
- Facilitação do manuseio dos corpos de prova, em especial os mais pesados;
- Minimizar ao máximo a necessidade de movimentação dos corpos de prova, em especial no eixo vertical;
- Diminuição substancial dos riscos de acidentes com corpos de prova.

Tais características desejáveis tiveram como **pressupostos** os seguintes fatores, acordados entre a equipe de ergonomia, técnicos de segurança e os operadores:

- Manutenção das bancadas atuais como espaço de trabalho (realização dos exames de ultrassom em corpos de prova);
- Substituição do carrinho atual (genérico) por um carrinho desenvolvido especificamente para a atividade desenvolvida no local;
- Retirada da mesa de trabalho localizada no centro da sala para liberação de espaço visando a organização dos corpos de prova;
- Não contemplar na intervenção outros locais com atividades relacionadas indiretamente ao laboratório, como por exemplo, a sala administrativa com as estações de trabalho computadorizadas dos operadores e do supervisor.

A proposta foi desenvolvida com o suporte de ferramenta CAD e do software de modelagem e simulação humana Jack. A aplicação da ferramenta CAD incluiu os desenhos em ambiente bi e tridimensional, conforme ilustra a Figura 27.

**Figura 27** Modelagem CAD 3D da 1ª proposta



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) a vista de topo do laboratório. Em (b) uma vista em perspectiva.

A modelagem tridimensional foi exportada para o software Jack e neste foram desenvolvidas simulações dinâmicas com apenas um MHD percentil 50 (padrão do software – dados antropométricos da população americana) executando de forma sequenciada e sem interrupções as seguintes atividades, que incluíam as principais **situações de ações características**:

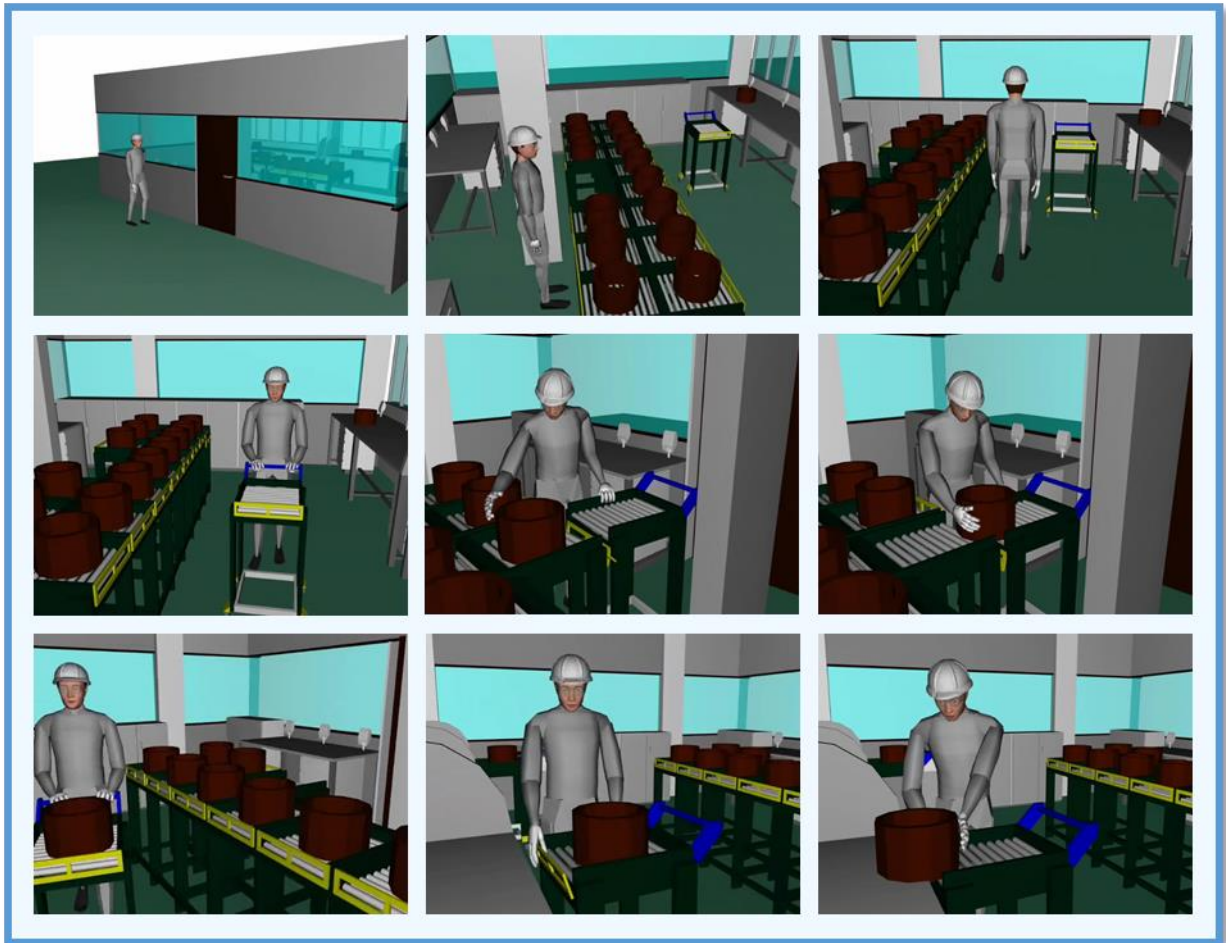
- Chegada até a sala do laboratório;
- Observação de todo o ambiente para localização do carrinho proposto;
- Deslocamento do manequim até o local do carrinho;
- Deslocamento do manequim com o carrinho até uma das posições de armazenamento de corpos de prova;
- Posicionamento do carrinho frente a estrutura de armazenamento e liberação das travas de segurança de ambos;
- Manuseio do corpo de prova deslocando este para cima do carrinho (usando esteira de roletes presentes em ambas estruturas);
- Fechamento da trava de segurança do carrinho e deslocamento do carrinho com o corpo de prova até uma das bancadas;
- Liberação da trava de segurança e manuseio do corpo de prova deslocando este para cima da mesa (esteira de roletes apenas no carrinho).

A simulação foi exportada como um vídeo de animação com aproximadamente 50 segundos de duração e objetivou representar os momentos da operação do conjunto “carrinho proposto; estrutura de armazenamento; corpos de prova” considerados críticos pela equipe de ergonomia no início do projeto – ver Figura 28.

Durante a reunião de discussão e validação, com a presença de diversos atores (trabalhadores, técnicos de segurança, supervisor e equipe de ergonomia) a simulação dinâmica pode ser visualizada inúmeras vezes e vários pontos foram levantados, dentre os quais alguns são destacados.

Os operadores do local perceberam que na simulação digital os tamanhos dos corpos de prova não foram modelados conforme a situação mais crítica e, desta forma, a solução apontada não poderia ser executada pelo risco do tombamento do objeto devido seu real centro de gravidade. Um fator destacado pela equipe de ergonomia para a mesma situação foi a falta de realismo da animação apresentada em alguns momentos e, em especial, na desconsideração do atrito durante o deslocamento manual do corpo de prova ao sair do carrinho e entrar na bancada (limitação típica do suporte de simulação aplicado).

**Figura 28** Storyboard de simulação humana dinâmica da 1ª proposta conceitual



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Ao longo da discussão um problema apontado pelo supervisor do referido setor foi a exclusão/substituição do carrinho atual por outro projetado especificamente para a atividade desenvolvida no laboratório. Tal exclusão teria impacto negativo sobre a gerência, segundo o supervisor, devido à recente aquisição do mesmo (levando à uma ideia de investimento desnecessário).

Os operadores também alertaram para o fato da simulação não contemplar a posição real do corpo de prova sobre a bancada no momento da realização dos exames de ultrassom (já que o mesmo é analisado na posição deitada e não em pé, o que exigiria uma operação adicional de tombamento do corpo de prova que pode alcançar 54 kg).

Assim, ao término da primeira reunião uma série de melhorias foram apontadas coletivamente e algumas características presentes na solução apresentada seriam descartadas para a continuidade do projeto. Algumas tarefas para

os presentes na reunião foram distribuídas, como por exemplo o envio das especificações técnicas do carrinho atual por parte do supervisor e técnicos de segurança e a construção de uma nova proposta de solução pela equipe de ergonomia com base na discussão realizada. Para a 2ª proposta conceitual os novos **pressupostos** adicionados foram:

- Manutenção do carrinho atualmente utilizado – eliminando a proposta de desenvolver um novo carrinho específico;
- Substituição da modelagem do corpo de prova para a situação mais crítica;
- Considerar nas simulações o real posicionamento dos corpos de prova sobre a bancada para a realização dos exames de ultrassom e as posturas adotadas pelos operadores (permitir alternância de postura em pé e sentada).

Assim, das principais observações realizadas ao longo da primeira reunião o único ponto que não foi considerado para a continuidade do desenvolvimento foi a inserção de análises de atrito/força nas simulações, devido ao fato de que, segundo a percepção da equipe de ergonomia, adicionaria uma alta complexidade com baixo benefício para a compreensão e desenvolvimento das soluções propostas e da atividade futura.

Os novos pressupostos, juntamente com as interações da primeira reunião, atuaram de forma a trazer para o projeto o desafio de incorporar melhor tanto a perspectiva técnica quanto a da atividade desenvolvida na referida situação de trabalho.

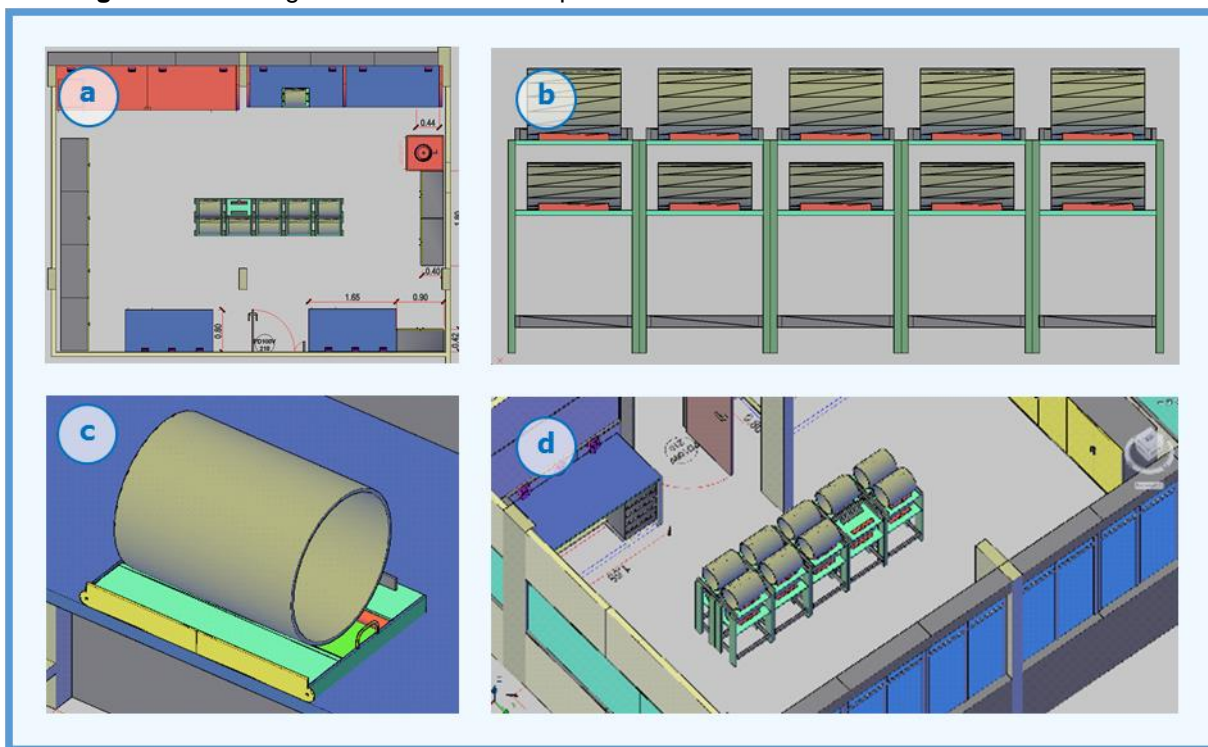
Pela perspectiva técnica destaca-se a necessidade de modelar com maior precisão e compreender tecnicamente o carrinho transportador existente e as características dos exames de ultrassom sobre as bancadas. Em termos da atividade, fez-se necessário compreender as posturas, movimentos, estratégias, entre outros, durante o manuseio dos corpos de prova com o carrinho e sobre a bancada (antes, durante e após a realização do ultrassom).

Assim a nova solução desenvolvida teve como principais características a posição deitada do corpo de prova ao longo de todo o processo (excluindo a necessidade de tombamento do mesmo e conseqüentemente diminuindo o risco de

acidentes), incorporação de um suporte de mesa para auxiliar a execução dos exames (especialmente para os corpos de prova mais pesados) e a interface do carrinho com o suporte de mesa e com a estrutura de armazenamento. Sobre este último, foi incorporada a partir da atividade desenvolvida pelos operadores a estratégia de utilizar um objeto para travamento dos corpos de prova (massa tipo epóxi) evitando o deslocamento acidental e risco de prensão dos dedos. O dispositivo projetado para substituir a massa (que frequentemente “sumia” do laboratório<sup>28</sup>) possuía uma pega e formato propícios e exclusivos para tal função.

Na Figura 29 é possível visualizar a solução desenvolvida e apresentada como segunda proposta conceitual. Assim como a primeira proposta, a solução foi modelada em ambiente CAD 3D e exportada para o software de modelagem e simulação humana, sem que houvesse, no entanto, a realização de uma nova simulação dinâmica. O grupo de trabalho optou por realizar apenas simulações estáticas das situações características que apresentassem algum potencial de constrangimento (determinantes).

**Figura 29** Modelagem em CAD 3D do suporte de mesa e da estrutura de armazenamento



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

<sup>28</sup> O sumiço da massa epóxi era explicado pelos operadores pelo fato do manuseio de corpos de prova cilíndricos ocorrerem em várias oficinas e laboratórios, inclusive sendo usual o deslocamento da massa para outros locais junto com os corpos de prova.



**Nota:** Em (a) a vista de topo do laboratório. Em (b) uma vista frontal apenas da estrutura de armazenamento dos corpos de prova. Em (c) uma vista em perspectiva do suporte de mesa com um corpo de prova. Em (d) uma vista em perspectiva do laboratório.

Para a modelagem e simulação humana da segunda proposta conceitual foram utilizados quatro MHD, sendo um feminino percentil 05, dois masculinos percentil 95 e um masculino percentil 50 – todos construídos com dados de uma base antropométrica brasileira<sup>29</sup>. As principais **situações características** simuladas de forma estática foram:

- Execução dos exames de ultrassom em diversas bancadas de forma simultânea (homem percentil 95 sentado; homem percentil 95 em pé; homem percentil 50 sentado; mulher percentil 05 em pé) e passagem/manobra de carrinho no corredor (verificando o impacto deste sobre a atividade nas bancadas);
- Operação do carrinho por manequim feminino percentil 05;
- Manuseio dos corpos de prova, retirando-os da estrutura de armazenamento e posicionando sobre a plataforma elevatória do carrinho. Neste caso, duas situações foram simuladas, visto que a estrutura de armazenamento possuía duas alturas distintas para os corpos de prova: os mais pesados ficavam na posição mais alta e os mais leves ficavam na posição inferior; tal opção de projeto deveu-se ao fato de propiciar uma melhor postura (operador em pé) para o manuseio dos corpos de prova mais pesados (até 54 kg) e uma postura menos adequada (operador agachado – joelhos fletidos) para o manuseio de corpos de prova mais leves (até 22 kg);
- Manuseio dos corpos de prova retirando-os da plataforma elevatória do carrinho e posicionando-os sobre o suporte de mesa localizado na bancada.

A Figura 30 ilustra as simulações estáticas realizadas. Estas foram apresentadas em uma reunião para discussão e validação das características desejáveis, pressupostos e compreensão da atividade dos operadores.

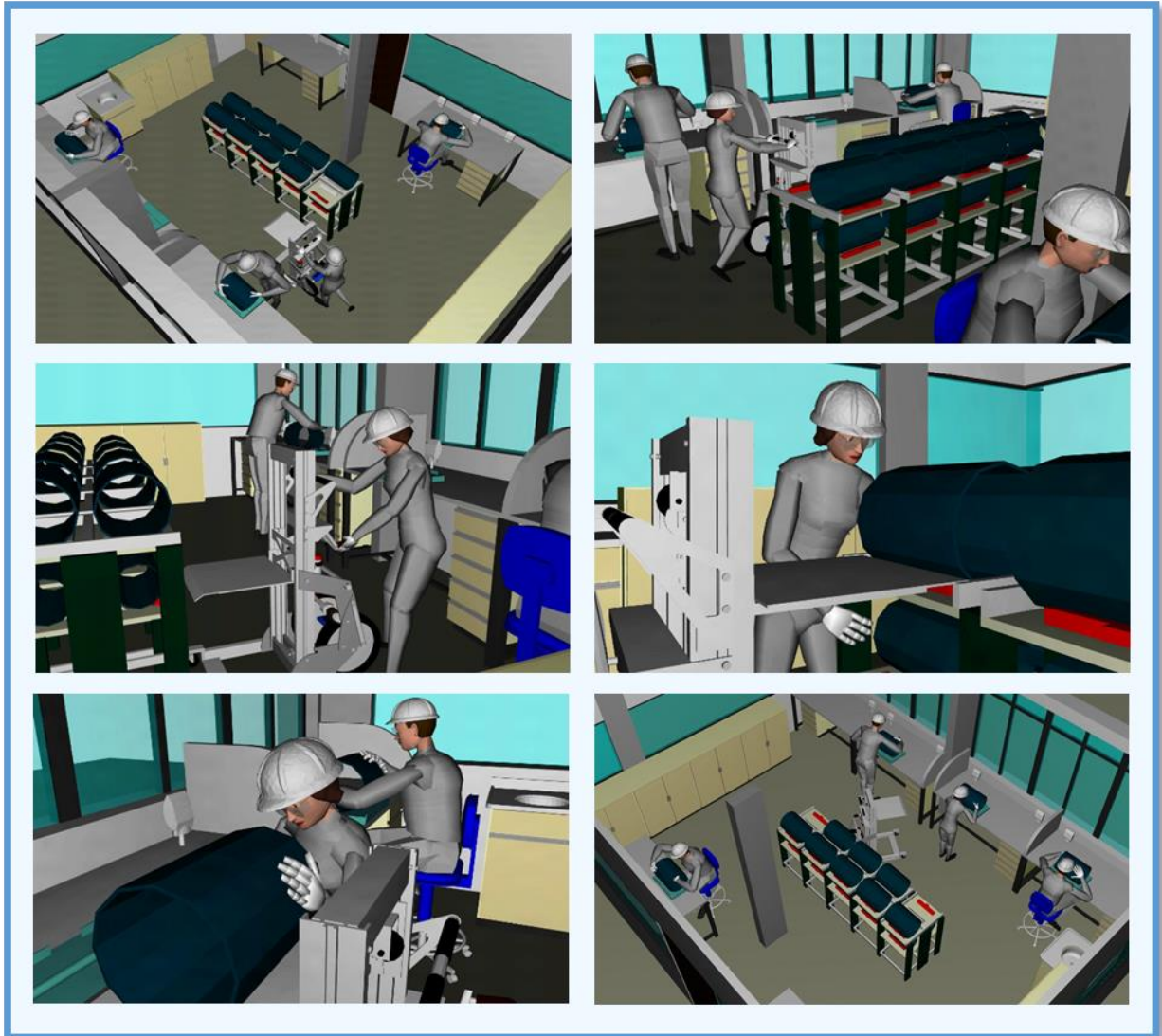
O espaço criado (situação de simulação) novamente para confrontação pelos diversos atores presentes da proposta apresentada pela equipe de ergonomia foi fundamental para validar os pontos levantados na reunião anterior e avançar sobre

---

<sup>29</sup> A base utilizada nesta e demais simulações humanas digitais desta pesquisa que citam dados antropométricos da população brasileira é apresentada em Menegon et al. (2002).

outros aspectos da solução. Com relação à reunião inicial a única diferença em termos de composição dos presentes para discussão foi a falta do supervisor, que foi representado pelos próprios operadores (responsáveis portanto de repassar as alterações realizadas e os encaminhamentos propostos).

**Figura 30** Modelagem e simulação humana da 2ª proposta conceitual



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Durante a reunião as discussões foram especialmente pautadas pelos seguintes pontos:

- Espaço de circulação e manobra do carrinho, entre a estrutura de armazenamento e os trabalhadores que estivessem realizando exames nas bancadas: a principal preocupação dos operadores neste ponto foi que a realização dos exames de ultrassom demanda um alto nível de atenção e que não pode ser atrapalhada ou interrompida pela movimentação do

carrinho ou dos corpos de prova, inclusive com o menor impacto possível de perturbação sonora;

- Força necessária para retirar os corpos de prova maiores da inércia e posicionar sobre a plataforma do carrinho ou sobre o suporte de mesa: os operadores e os técnicos de segurança neste ponto foram bastante incisivos em apontar possíveis problemas ou dificuldades, principalmente quando o projeto proposto criava a necessidade de se elevar o corpo de prova com a força manual para vencer obstáculos, como a inclinação da plataforma do carrinho, ou segurar o corpo de prova após este descer a inclinação da plataforma e ganhar velocidade;
- Funcionamento do suporte de mesa: os operadores se interessaram em como o suporte de mesa poderia auxiliar no desenvolvimento da atividade no laboratório de ultrassom de forma a diminuir esforços necessários (além de risco de acidentes) e facilitar a execução dos exames.

Os pontos levantados foram discutidos e, com o apoio da simulação humana, puderam ser analisados em conjunto. O modelo CAD 3D também foi fundamental para dar subsídio em algumas análises, como por exemplo, saber medidas exatas do suporte de mesa, da estrutura de armazenamento e espaço de corredores/áreas de manobras do carrinho. Neste sentido, a modelagem tridimensional com MHD também foram bastante úteis para reforçar a percepção de que o espaço era suficiente, inclusive quando um homem percentil 95 estivesse trabalhando nas bancadas (situação crítica). Com relação aos outros pontos (necessidade de força e funcionamento do suporte) as simulações apresentadas não dispunham de elementos suficientes para dar certeza se a solução proposta era adequada. Sobre o suporte, pouco havia sido desenvolvido até aquele momento e a principal referência era um suporte desenvolvido pelos próprios operadores com uso de bricolagem (adaptações de materiais e objetos para construção de um artefato próprio que atendesse total ou parcialmente necessidades específicas). No que tange à necessidade de analisar forças, o software empregado possui um módulo de análise de torque e força, porém com grandes restrições devido à necessidade de simplificação da situação real. A aplicação de outro software específico para tal situação foi descartada devido à complexidade, como dito anteriormente.

Com base nestas conclusões a equipe de ergonomia propôs aos demais atores presentes que o próximo desenvolvimento fosse um protótipo físico do suporte, visto que os modelos virtuais haviam avançado desde a proposta inicial e que as questões críticas apontadas poderiam ser melhor exploradas em ambiente físico. Para tal foi negociado um prazo maior para tal desenvolvimento e que, caso fosse necessário, uma reunião intermediária para discutir a construção do protótipo poderia ser marcada. A equipe de ergonomia também recordou aos participantes do projeto que ela possuía outras demandas em andamento, tanto em fase de análise, projeto e/ou validação de implantação, e que, sendo assim, não poderia se dedicar exclusivamente para aquela demanda.

Para o desenvolvimento do protótipo foram consideradas as seguintes **características desejáveis** do suporte de mesa:

- O suporte deve comportar os corpos de prova cilíndricos de 12 e 8 polegadas de diâmetro;
- Conter um sistema de rodízio/rolamento para permitir o giro em torno do eixo central do cilindro para permitir a realização do exame;
- Possuir algum sistema de segurança para o corpo de prova não se deslocar acidentalmente;
- Possuir uma interface com o carrinho de forma a diminuir a necessidade de força para manuseio na passagem de um para o outro;
- Ser leve e possuir alças para facilitar o transporte do suporte (vazio);
- Ser feito com material que pudesse ser lavado ou que permitisse entrar em contato com água e óleo eventualmente;
- Resistente para suportar o peso e a frequência de uso com os corpos de prova mais pesados.

Com relação ao projeto conceitual anterior as principais mudanças foram:

- Eliminação da trava de segurança: a trava desenhada no projeto adicionava uma complexidade na confecção do protótipo e possuía um baixo indicativo de eficiência; foi considerado que o próprio peso do corpo de prova não permitiria um deslocamento acidental;

- Os rolamentos não teriam o mesmo comprimento do suporte, sendo portanto mais curtos, porém suficientes para a função desejada, reduzindo custos da construção do protótipo;
- As alças foram substituídas por um modelo já disponível no laboratório e que possuía dimensões próximas às desejadas;
- Foi adicionado um recuo (vão) para a entrada da parte inclinada da plataforma do carrinho, de forma a propiciar um encaixe de forma que a plataforma de carga ficasse no mesmo nível do suporte, sem necessidade de sobrepor obstáculos (deslocamento apenas na horizontal).

A partir das novas especificações e com a chegada do rolamento (corpo de alumínio, fabricado sob medida por um fornecedor externo) o protótipo foi montado em um laboratório da universidade e pôde ser disponibilizado para testes.

Como se tratava de um protótipo funcional a reunião foi marcada para ocorrer no próprio laboratório e não mais em uma sala de reuniões da empresa. O objetivo definido antecipadamente foi de dedicar tempo e espaço do local para diversos testes e análises utilizando o protótipo.

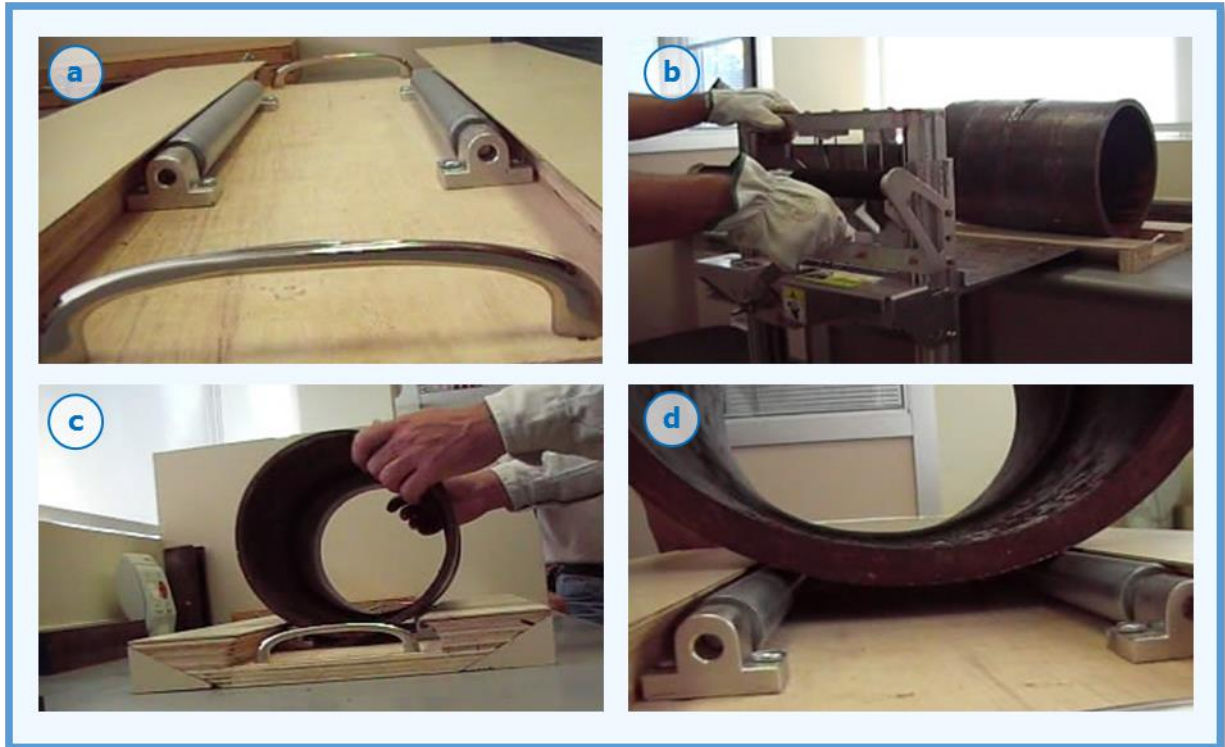
Assim, as principais simulações realizadas com o apoio do protótipo físico na 3ª reunião de discussão e validação foram:

- Teste de portabilidade utilizando as alças e verificando o peso do protótipo;
- Interface do protótipo com o carrinho (encaixe da parte inclinada da plataforma deste com o vão de entrada daquele);
- Passagem dos corpos de prova do carrinho para o suporte e vice-versa;
- Utilização do suporte para a realização dos exames de ultrassom com o apoio dos rolamentos;
- Espaço ocupado pelo suporte em cima da bancada, considerando a necessidade de realização de outras atividades e ocupação de outros equipamentos/materiais.

Na Figura 31 podem ser visualizadas algumas imagens das simulações realizadas por meio do protótipo físico na 3ª reunião de discussão/validação do projeto. Para esta reunião o supervisor, que não havia participado do encontro

anterior, compareceu, assim como os demais participantes (operadores e técnicos de segurança).

**Figura 31** Imagens do 1º Protótipo Físico do suporte



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) detalhe do suporte de mesa. Em (b) interface entre carrinho e suporte de mesa. Em (c) simulação de manuseio de corpo de prova sobre o suporte de mesa. Em (d) detalhe da interface entre corpo de prova e roletes.

Logo no início das simulações, quando um corpo de prova cilíndrico de 12 polegadas foi posicionado sobre o suporte, os operadores e o supervisor externalizaram uma falha grave do projeto, que não havia considerado o cordão de solda presente nos corpos de prova. O cordão, que é uma das principais regiões a serem analisadas pelo exame de ultrassom, modifica o perfil cilíndrico do corpo de prova e faz com que o mesmo não rotacionasse perfeitamente sobre os roletes, ficando desta forma instável e inviabilizando o exame de ultrassom. Tal característica não havia sido incorporada na modelagem virtual tridimensional e nem mencionada nas outras sessões de simulação, sendo que os próprios operadores e o supervisor só notaram a importância deste detalhe no momento em que o corpo de prova começou a girar sobre os roletes.

As demais simulações foram realizadas e permitiram a validação pelos participantes, que fizeram questão de manusear o suporte e simular algumas

possibilidades/situações que ocorrem no dia-a-dia do laboratório; como por exemplo, colocar ao redor do suporte todos os materiais e equipamentos necessários, incluindo um espaço para anotação e cálculos. Também foram simuladas as variações de postura do operador (em pé e sentado) ao longo da realização dos exames. A retirada das travas de segurança (conforme projeto conceitual anterior) foi considerada adequada, visto que na visão do grupo de trabalho a possibilidade de acidentes era mínima e na percepção destes atores este recurso teria pouca efetividade na redução do risco.

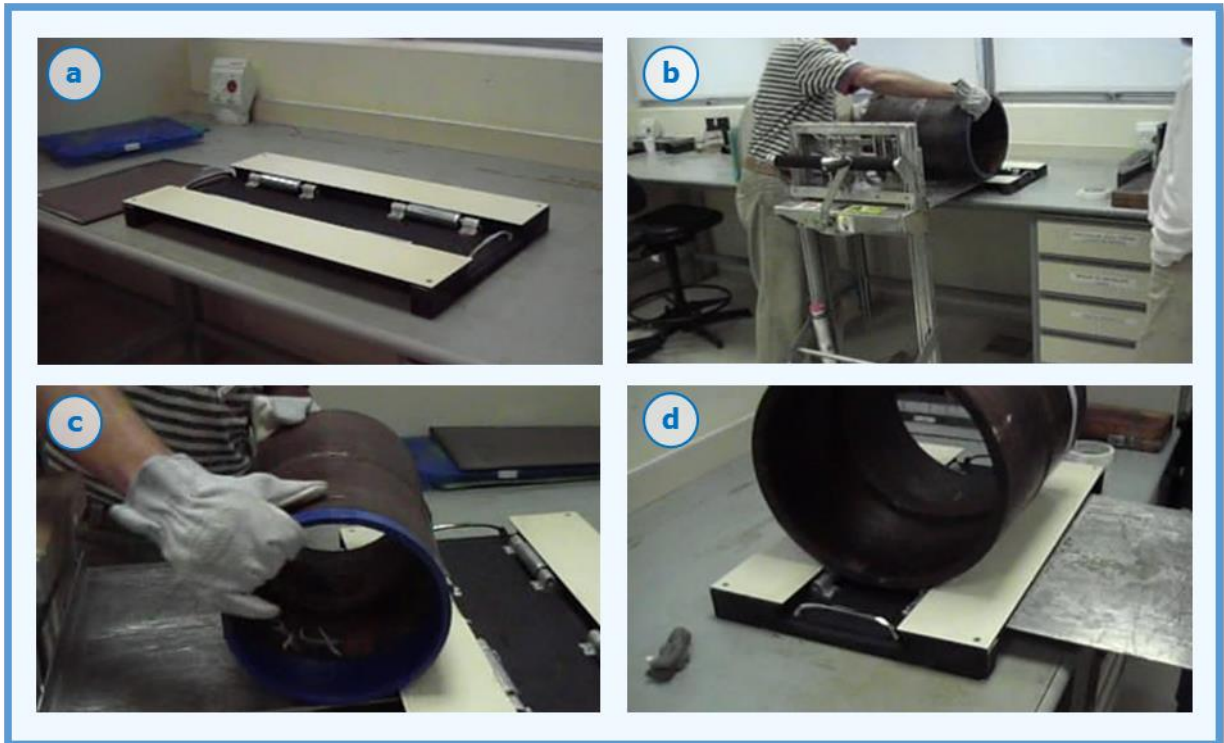
Um dos pontos positivos que os operadores destacaram durante as simulações foi a interface do suporte com o carrinho. A possibilidade de encaixe e praticamente manter uma superfície única, sem obstáculos foi considerada fundamental para diminuir a necessidade de esforço físico na passagem do corpo de prova de um ponto para o outro.

Como encaminhamento da reunião ficou evidenciado a necessidade de solucionar o problema de não considerar o cordão de solda na montagem do protótipo. A equipe de ergonomia se responsabilizou em procurar uma solução e retornar com informações para dar continuidade ao projeto.

A solução dada foi substituir os dois roletes existentes por quatro menores de forma a criar um espaço livre no centro do suporte para o cordão de solda (visto que este sempre se encontrava no centro do corpo de prova).

Desta forma, foram adquiridos quatro novos roletes de alumínio de um fornecedor externo, como pode ser observado na Figura 32.

Uma nova sessão de simulação foi marcada para validar as alterações feitas no protótipo. Para esta reunião de discussão e validação os mesmos participantes da reunião anterior estiveram presentes e puderam colaborar e interagir para avaliar o protótipo alterado. As mesmas simulações realizadas na sessão anterior foram repetidas e, em especial, o teste com o corpo de provas sobre o suporte utilizando os roletes.

**Figura 32** Imagens do 2º Protótipo Físico do suporte

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

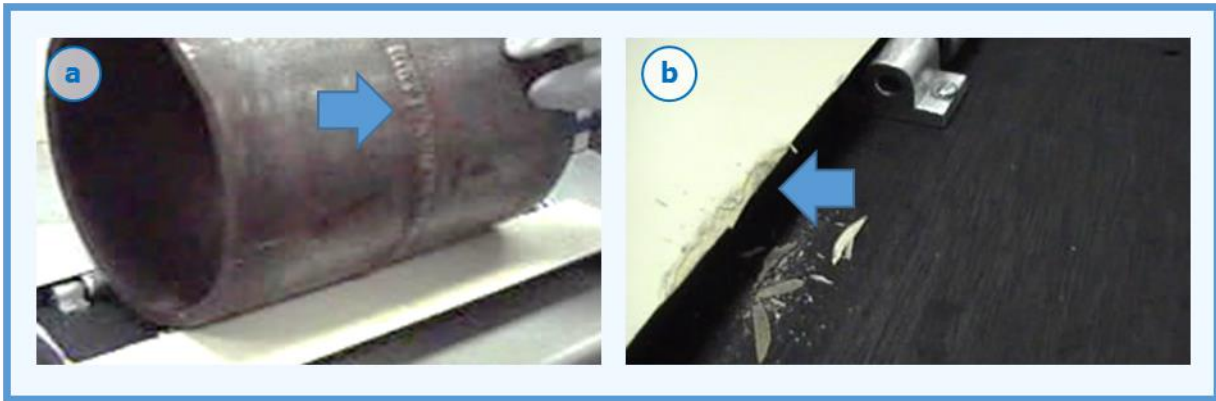
**Nota:** Em (a) suporte de mesa. Em (b) simulação de manuseio de corpo de prova sobre o suporte de mesa. Em (c) detalhe de manuseio de corpo de prova. Em (d) interface entre plataforma de carga do carrinho e suporte de mesa.

Os resultados obtidos com os testes foram satisfatórios, sendo que os roletes conseguiram cumprir a função de auxiliar na realização do exame de ultrassom. Pode-se perceber que, como o cordão de solda varia de um corpo de prova para outro, em alguns momentos houve contato deste com o suporte. Porém, devido à diferença de materiais (metal contra fórmica), o suporte sofreu rapidamente um desgaste na região de contato e o giro do corpo de prova ocorreu da forma esperada, sem interferência do cordão e de forma estável. A Figura 33 ilustra uma simulação com o 2º protótipo e o desgaste devido ao contato com o cordão de solda.

A partir dos resultados e da experiência da sessão de simulação realizada os participantes consideraram que a solução encontrada para o suporte de mesa estava em um ponto avançado e que o foco de desenvolvimento a partir daquele momento deveria ser a estrutura de armazenamento dos corpos de prova. O objetivo seria de construir um protótipo, assim como realizado com o suporte, para simular o uso integrado das soluções.



**Figura 33** Imagens da simulação com 2º Protótipo Físico do suporte e desgaste sofrido



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) detalhe do cordão de solda do corpo de prova sobre suporte de mesa. Em (b) detalhe do desgaste do suporte de mesa na região de contato com o cordão de solda.

Com relação ao conceito apresentado os participantes, em especial os técnicos de segurança, sugeriram incluir as chapas na estrutura de armazenamento, de modo a diminuir o risco existente com o manuseio destas no processo de retirada e colocação nos armários (14 chapas com dimensões de 40x40x2,5 cm e peso máximo de 36 kg). Outra observação realizada por um dos operadores foi melhorar a interface do carrinho com a estrutura, nos mesmos moldes que havia sido feito com a interface do carrinho com o suporte. Assim, duas novas características desejáveis foram adicionadas ao processo de projeto das estruturas de armazenamento:

- Prever a possibilidade de armazenar as placas, além dos tubos de 12 e 8 polegadas de diâmetro;
- Melhorar interface da estrutura com o carrinho, diminuindo o esforço físico necessário para movimentações dos corpos de prova.

Para atender às novas características elencadas uma pesquisa de soluções existentes para facilitar a movimentação de materiais foi realizada. Um conjunto de aplicações análogas ou com alguma semelhança foi encontrado, porém foram consideradas de alto custo ou baixa resistência/capacidade. Assim, soluções como mesas de transferência com esferas, trilhos com roletes, corrediças e uso de correias foram descartados. Desta forma, visando facilitar a construção de um futuro protótipo e viabilizar a adoção da solução em desenvolvimento, a equipe de ergonomia decidiu simplificar o projeto sem adição de elementos de alto custo e considerou que a movimentação da plataforma do carrinho para a estrutura seria

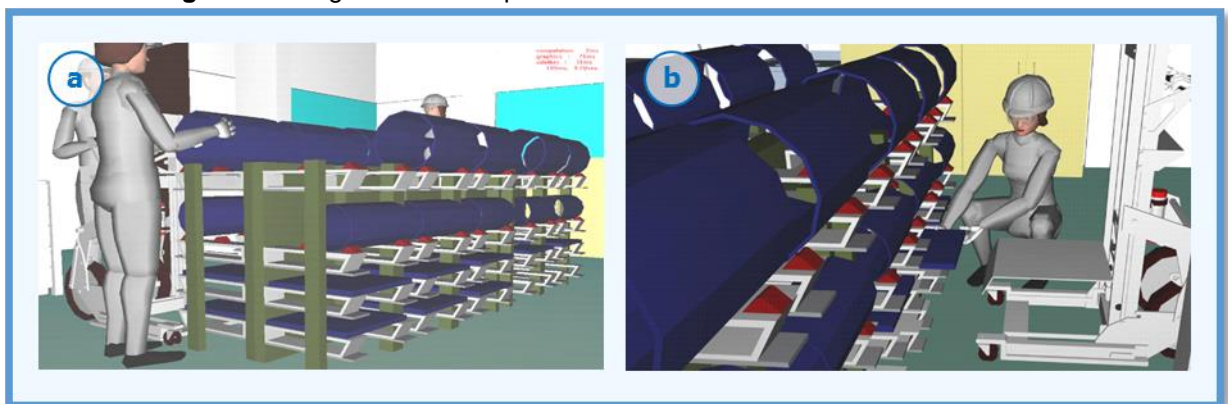
melhorada pelo fato de não haver nenhum tipo de tombamento dos corpos de prova ou elevação por aplicação de força manual.

A solução desenvolvida e apresentada como 3ª proposta conceitual foi modelada em ambiente CAD 3D e simulada de forma estática com o software Jack. Para estas simulações foram utilizados os mesmos MHD da segunda simulação. As situações características simuladas foram:

- Manequim feminino percentil 05, em pé, transferindo corpo de prova (tubo de 12 polegadas na posição mais alta da estrutura) para a plataforma do carrinho;
- Manequim feminino percentil 05, em pé, transferindo corpo de prova (tubo de 12 polegadas) da plataforma do carrinho para o suporte de mesa;
- Manequim feminino percentil 05, agachada, transferindo corpo de prova (tubo de 8 polegadas na posição intermediária do suporte) para a plataforma do carrinho;
- Manequim feminino percentil 05, agachada, transferindo corpo de prova (tipo chapa, na posição intermediária do suporte) para a plataforma do carrinho;
- Deslocamentos do carrinho e de pessoas e relação destes sobre as pessoas trabalhando nas bancadas, com manequins masculinos percentil 50 e 95 e manequim feminino percentil 05.

A Figura 34 ilustra as simulações de algumas das SACs.

**Figura 34** Imagens da 3ª Proposta conceitual: estrutura de armazenamento



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) simulação de transferência de corpo de prova no nível mais alto da estrutura de armazenamento para a plataforma de carga do carrinho. Em (b) a mesma simulação para o nível inferior, com agachamento do manequim digital.

Para a realização da reunião seguinte os técnicos de segurança, que faziam o intermédio entre os diversos participantes, não conseguiram a adesão da supervisão e dos operadores para o agendamento de uma data em comum. Algumas mudanças na estrutura gerencial do setor dificultaram, segundo a supervisão e técnicos de segurança, a continuidade do projeto.

A reunião ocorreu apenas entre a equipe de ergonomia e os técnicos de segurança. As simulações foram apresentadas, porém ficou evidenciado que a falta de interação com a supervisão e especialmente com os operadores, tornou a discussão “mais pobre” apesar do esforço dos participantes presentes. Neste sentido, a equipe de ergonomia reforçou a importância dos futuros trabalhadores da situação em projeto participarem efetivamente de todo o processo.

Assim, a reunião não apresentou nenhum encaminhamento definitivo em termos de projeto, ficando definido que as novas gerências deveriam ser informadas e sensibilizadas para dar suporte para a finalização e futura implantação das soluções em desenvolvimento. Um dos técnicos de segurança ficou responsável por fazer esta intermediação e teve suporte da equipe de ergonomia que repassou material explicativo de todo o processo, desde as análises até as diferentes versões de soluções desenvolvidas.

Após a reunião, o técnico de segurança entrou em contato com a equipe de ergonomia para agendar uma reunião visando apresentar todo o projeto desenvolvido para a gerência de engenharia. Segundo o mesmo, a gerência de saúde e segurança já havia tomado conhecimento do projeto e dado o aval para a continuidade do mesmo. A próxima reunião não apresentou nenhum desenvolvimento inédito e sim recuperou todo o histórico, desde a demanda inicial até os protótipos desenvolvidos. Para esta reunião estavam presentes o gerente da área de engenharia, o supervisor do laboratório, dois operadores do laboratório, dois técnicos de segurança e dois membros da equipe de ergonomia.

Com a exposição realizada sobre os desenvolvimentos do projeto, o gerente da área concordou com a importância da continuidade do mesmo e, percebendo que o mesmo estava ainda em fase de concepção, decidiu contribuir no processo. A principal questão colocada por ele, durante a apresentação das simulações do último conceito, foi que, apesar da redução considerável do risco e do

esforço realizado pelos operadores, ainda havia um manuseio (contato direto) com os corpos de prova. Assim, a sugestão dele foi que o grupo reunido desenvolvesse uma forma na qual não fosse necessário o manuseio direto dos corpos de prova pelos operadores.

Com base no protótipo presente e nas simulações apresentadas iniciou-se a construção de um novo conceito de solução, considerando todos os pressupostos do projeto (como por exemplo, a manutenção do carrinho existente) e as características desejáveis. A solução esboçada em folhas em branco e que recebeu sugestões e confrontações por parte de todos os presentes foi uma adaptação do suporte de mesa desenvolvido para que ele pudesse ser usado como base permanente dos corpos de prova, isto é, cada corpo de prova teria um suporte dedicado e não haveria mais a transferência com manuseio pelo operador. Uma das referências principais para a evolução do conceito foi a transformação do suporte em uma espécie de palete, que seria transportado junto com o “produto” (corpo de prova, neste caso) e que seriam armazenados (o conjunto) em um porta-paletes.

Apesar das grandes alterações geradas sobre o conceito durante a reunião, a verbalizações ao término desta foi que as mudanças poderiam gerar uma solução ainda mais efetiva e segura para os operadores. Neste sentido, a equipe de ergonomia ficou responsável em desenvolver novas simulações virtuais para o conceito gerado visando futuramente novos protótipos físicos. Os pressupostos adicionados ao projeto foram:

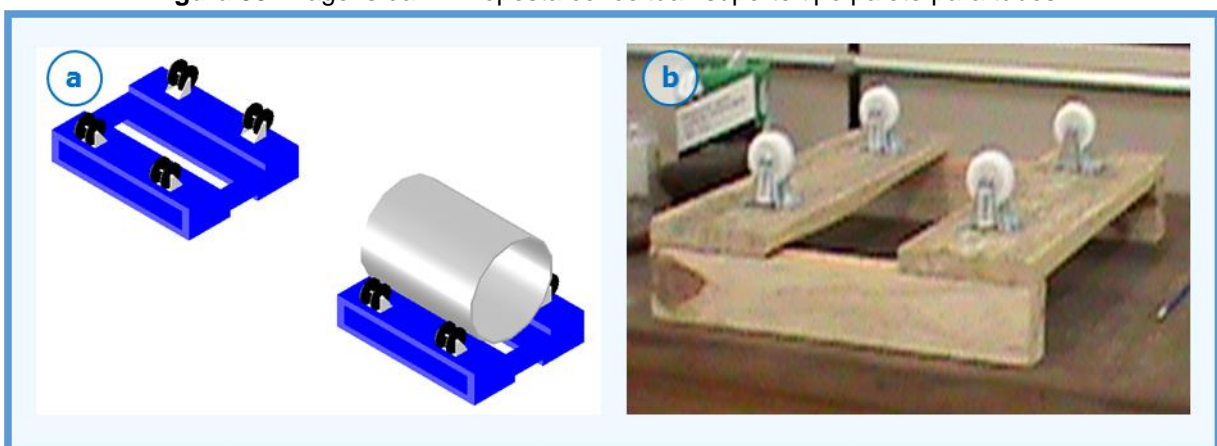
- Os operadores não deveriam ter contato direto com os corpos de prova durante a movimentação e armazenamento destes materiais, sendo utilizado apenas o carrinho atual como interface;
- Cada corpo de prova deveria conter um suporte próprio, isto é, o número de suportes disponíveis deveria ser o mesmo do que a quantidade de corpos de prova nos formatos tubo (de 12 e 8 polegadas) e chapas (de 40 x 40 x 2,5 cm).

O conceito desenvolvido então foi modelado tridimensionalmente e simulado de forma estática (software Jack) nos mesmos moldes das duas últimas propostas. Para este desenvolvimento, visto que um dos pressupostos definia que o

número de suportes de mesa seria bastante superior ao que estava previsto anteriormente, a equipe de ergonomia propôs substituir a solução dos roletes de alumínio (confeccionados sob pedido, com alto custo) por uma solução disponível no mercado (baixo custo). A pesquisa apontou algumas opções, sendo que o conceito que norteou novamente tal desenvolvimento foi a solução “caseira”<sup>30</sup> que os próprios operadores construíram com base nas suas experiências (apresentada anteriormente na Figura 26). A Figura 35 ilustra o conceito desenvolvido e o protótipo físico construído. Outro desenvolvimento apresentado foi a simplificação da estrutura de armazenamento, visto que a solução tipo palete permitiu buscar fornecedores de soluções comerciais de estruturas porta-paletes que atendessem às características do projeto em questão.

Com a nova configuração da proposta, tanto em termos dos suportes quanto das estruturas de armazenamento, foi externalizada pelo supervisor de operação uma preocupação a respeito do espaço ocupado e possíveis interferências sobre os operadores que estivessem trabalhando nas bancadas. Para analisar e simular a operação futura na sala e entender melhor esta preocupação, um estudo foi realizado com o suporte de uma ferramenta CAD 2D - pode ser visualizado na Figura 36.

**Figura 35** Imagens da 4ª Proposta conceitual: suporte tipo palete para tubos

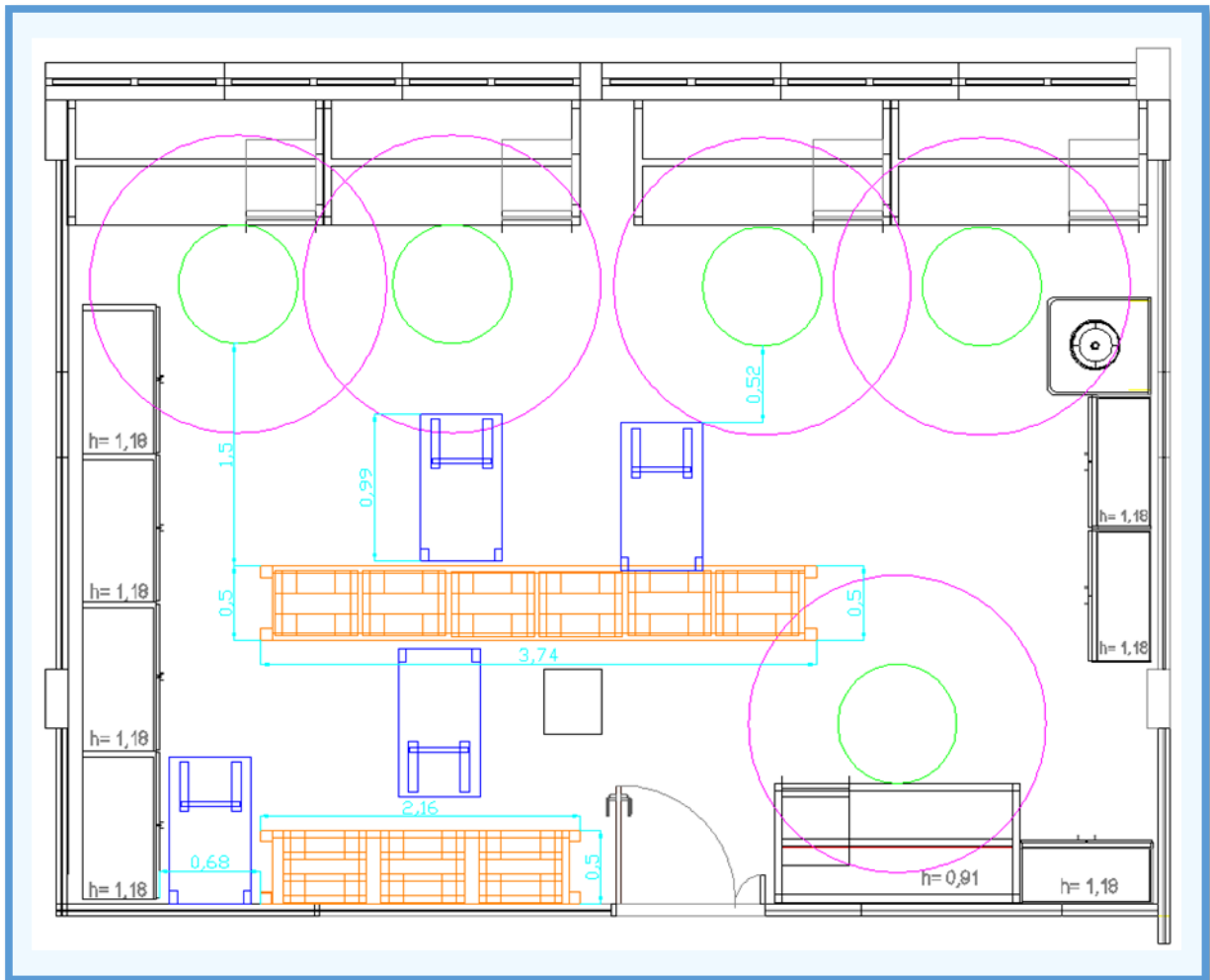


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) modelo digital em CAD 3D. Em (b) protótipo físico.

<sup>30</sup> A expressão “caseira” foi utilizada pelos próprios operadores. Folcher e Rabardel (2007) e Béguin (2008) definem este processo como uma instrumentalização que resulta em uma gênese instrumental dos trabalhadores com base em suas experiências e conhecimentos. Recomendam ainda o desenvolvimento de processos de concepção participativos em torno destas gêneses.

**Figura 36** Estudo de espaços e interferências a partir de planta CAD 2D

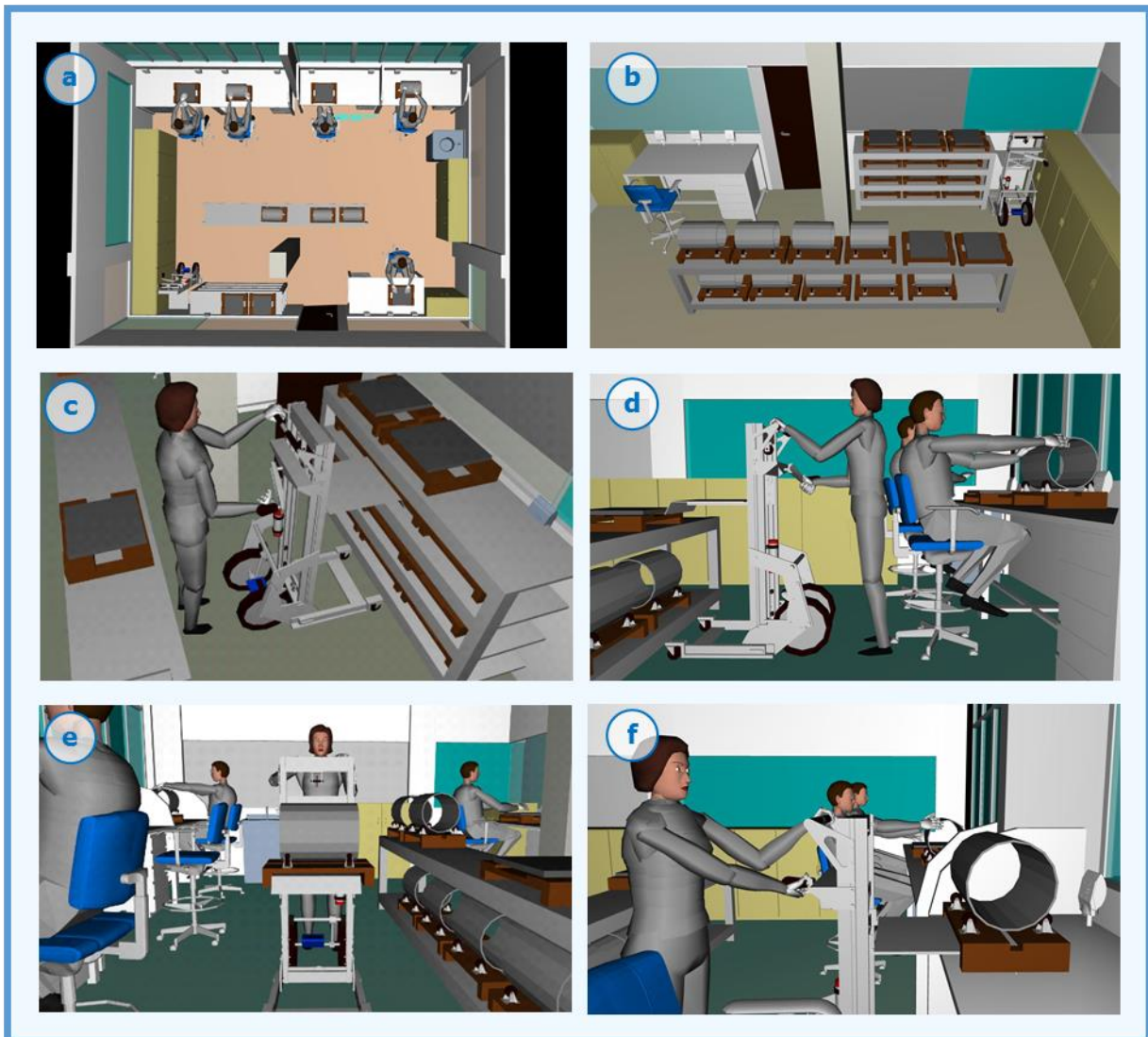


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Círculos verdes (Diâmetro=80cm) indicam o espaço reservado ao operador durante trabalho nas cinco bancadas. Os círculos magentas (D=160cm) indicam uma zona de segurança para evitar perturbação do operador na movimentação de pessoas e carrinho. O carrinho é indicado pelos retângulos em azul escuro em quatro diferentes posições. As duas estruturas de armazenamento são indicadas pela cor laranja. As cotas em azul claro indicam as principais distâncias de corredores e entre elementos, fixos ou móveis.

Para a reunião posterior a estes desenvolvimentos, os presentes foram o supervisor do laboratório, um operador, dois técnicos de segurança e dois membros da equipe de ergonomia. A Figura 37 ilustra algumas das simulações apresentadas e que serviram como base para discussões de ordem técnica, além da antecipação e desenvolvimento da atividade futura dos operadores do laboratório de ultrassom.

**Figura 37** Imagens da 4ª Proposta conceitual: suporte e estrutura porta-paletes



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) uma vista de topo do laboratório. Em (b) as estruturas de armazenamento tipo porta paletes. Em (c) e (d) simulações de acesso do carrinho às estruturas de armazenamento e possíveis interferências/colisões. Em (e) simulação de movimentação do carrinho com suporte e corpo de prova no corredor principal. Em (f) simulação da colocação do suporte com corpo de prova na bancada.

Para esta reunião, destaca-se que foi abordado como o cordão de solda das chapas poderia impactar no manuseio dos corpos de prova e na realização dos exames, buscando desta forma antecipar algum problema com apoio das simulações virtuais. Com base na experiência dos operadores e do supervisor ficou claro que o cordão de solda deveria se posicionar de forma perpendicular ao operador durante o exame. Como a construção do suporte tipo palete permitia um espaço para o cordão com um ângulo de 90 graus ao desejado, foi possível discutir na reunião qual solução para este problema. Uma das soluções apontadas foi o operador rotacionar o suporte tipo palete (com a placa em cima) em 90 graus, o que não atendia às características

desejáveis de minimizar os esforços físicos e risco de acidentes. A solução final foi adicionar ao suporte duas placas de madeira para criar um novo espaço para o cordão de solda de modo que este ficasse perpendicular ao operador. Tal solução foi esboçada ao longo da reunião e incorporada ao projeto CAD de maneira preliminar para validação do conceito.

Os principais encaminhamentos da reunião ficaram sob responsabilidade da equipe de ergonomia: a construção de protótipos para validação dos conceitos dos novos suportes tipo palete (um para tubos e outro para chapas) e; a especificação técnica conceitual da estrutura de armazenamento (porta-palete) para contato com possíveis fornecedores.

Considerando os resultados das simulações e os encaminhamentos, a equipe de ergonomia buscou na construção dos novos protótipos a simplificação do projeto (para facilidade de construção) e minimização do peso e de custos, sem obviamente ignorar os pressupostos e características desejáveis definidos ao longo de todo o projeto.

Após a confecção dos protótipos físicos um novo encontro foi agendada para discussão e validação. A reunião, realizada no espaço do próprio laboratório de ultrassom, teve como objetivo simular ao máximo as condições reais desenvolvidas pelos operadores do setor.

Para a preparação visando as simulações foi necessária a colocação dos corpos de prova sobre os suportes (algo que neste conceito ocorreria apenas uma vez, sendo que no dia-a-dia isto não se repetiria) e posicionamento dos suportes para interface com o carrinho. Como não havia uma estrutura porta-palete disponível, inicialmente pensou-se em deixar os suportes no chão, porém não foi possível devido ao espaço necessário para a estrutura do carrinho avançar. Desta forma, a solução dada para a execução das simulações foi posicionar os suportes com os corpos de prova sobre uma mesa de forma que a plataforma do carrinho tivesse acesso ao vão do suporte.

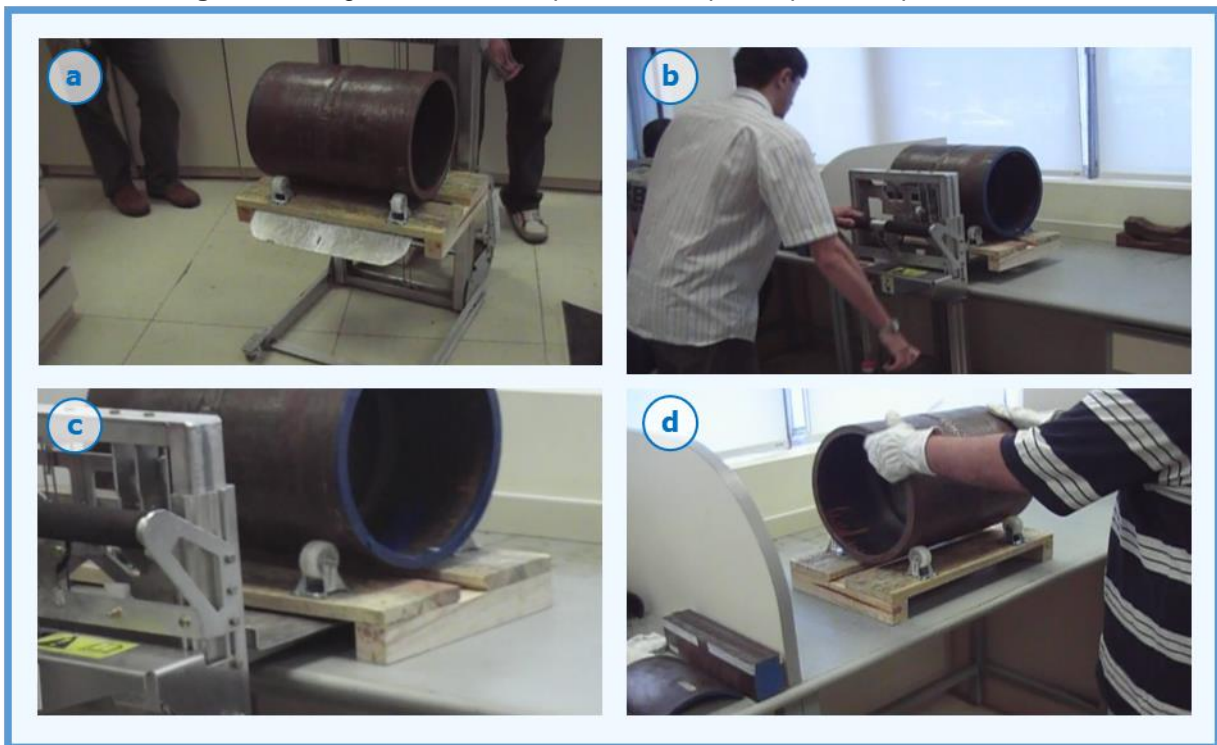
As principais simulações realizadas com o apoio dos protótipos físicos na reunião foram:



- Interface dos protótipos com o carrinho (encaixe da plataforma deste com o vão de entrada daqueles);
- Utilização do suporte tipo palete para a realização dos exames de ultrassom com o apoio dos rodízios, no caso dos tubos e sem rodízios no caso das placas;
- Espaço ocupado pelo suporte em cima da bancada, considerando a necessidade de realização de outras atividades e presença de outros equipamentos/materiais.

Na Figura 38 podem ser visualizadas algumas imagens das simulações realizadas com o suporte para tubos com a presença do supervisor do laboratório de ultrassom, dois operadores deste setor, dois técnicos de segurança e dois membros da equipe de ergonomia. A Figura 39 ilustra as mesmas simulações para o suporte de chapas.

**Figura 38** Imagens do 3º Protótipo Físico: Suporte tipo Pallet para Tubos



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) simulação de transporte do suporte com corpo de prova pelo carrinho. Em (b) simulação da colocação do suporte com corpo de prova na bancada. Em (c) o detalhe da entrada da plataforma de carga do carrinho no suporte tipo palete. Em (d) simulação de uso do suporte com o corpo de prova durante exame de ultrassom.

**Figura 39** Imagens do 4º. Protótipo Físico: Suporte tipo Pallet para Chapas



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) simulação de transporte do suporte com corpo de prova pelo carrinho. Em (b) detalhe do suporte com corpo de prova tipo chapa na bancada.

Durante as simulações os participantes puderam confirmar que o conceito desenvolvido atendia aos pressupostos e características desejáveis, em especial, pelo não manuseio direto dos corpos de prova e consequente diminuição substancial dos riscos de acidentes e praticamente eliminação dos esforços físicos necessários (sendo estes necessários apenas no manuseio da manivela do carrinho).

Um dos pontos que criou dúvida sobre a solução proposta e que surgiu ao longo das simulações foi o peso total que a estrutura de armazenamento deveria suportar e se o piso do laboratório (piso elevado) suportaria tal carga. Como as informações necessárias para sanar tal dúvida não estavam disponíveis no momento da reunião, tal questionamento se tornou um dos encaminhamentos a serem realizados, sob responsabilidade de um dos técnicos de segurança.

Para finalização do projeto, realizou-se um encontro entre os técnicos de segurança, supervisor do laboratório, equipe de ergonomia e um engenheiro de estruturas. Com base nas especificações técnicas conceituais e no registro das simulações realizadas com os protótipos de suporte tipo palete, foi possível confrontar as necessidades técnicas da solução e do ambiente onde esta seria instalada com os condicionantes e determinantes relacionados à atividade desenvolvida.

A interação entre a equipe de ergonomia e os responsáveis pela implementação da solução desenvolvida encerrou-se com a validação da especificação técnica (projeto básico) da estrutura de armazenamento (porta-paleta) desenvolvida pelo setor de Engenharia para o setor de Compras com base nas especificações conceituais.

Devido ao fato do processo de implementação não ter sido iniciado até o término do contrato, não foi possível fazer o acompanhamento e validação deste processo.

#### 4.2.3. Considerações acerca dos suportes de simulação utilizados

Ao longo do processo de projeto relacionado à demanda do “Laboratório de Ultrassom – Engenharia” diversos suportes de simulação foram utilizados para fins distintos e com diferentes resultados, mas especialmente com o objetivo de criar situações de simulação para confrontação e validação. Assim, nos tópicos anteriores foi narrado uma série de eventos e desenvolvimentos que tiveram como apoio as seguintes técnicas/tecnologias:

- Esboços à mão;
- Especificações técnicas e apresentações em documentos digitais de texto, planilhas e apresentações (pacote Office);
- Modelagem e estudos em CAD 2D e 3D;
- Modelagem e Simulação Humana Digital de forma estática e dinâmica;
- Prototipagem Física.

Apesar da separação entre as etapas de análise e projeto conceitual realizada na apresentação do caso é importante destacar que tal distinção dificilmente se verifica na prática, isto é, durante as análises do trabalho (em especial da atividade) é comum existir desenvolvimentos de caráter projetual, assim como ao longo do projeto a análise e compreensão da situação que está sofrendo intervenção é continuamente melhorada.

Ao analisar as técnicas e tecnologias aplicadas neste caso em um contexto separado do ocorrido, seria possível prever ou propor uma sequência lógica de aplicação de cada uma delas. No entanto, foi possível levantar que tal sequência “natural” não se evidenciou e que diversos fatores foram determinantes para as opções feitas em torno do real sequenciamento.

A partir das análises realizadas e, em especial, da reconstrução da demanda inicial e das atividades desenvolvidas, as primeiras simulações tiveram como objetivo apresentar e validar a compreensão dos ergonomistas junto à situação

real e propor um objeto intermediário inicial para discussão. Assim, as primeiras soluções apresentadas não tiveram como propósito serem soluções fechadas aguardando apenas a validação para uma possível implementação, e sim serem proposições abertas e mediadoras para novos desenvolvimentos em um processo divergente.

Para início das discussões a equipe de ergonomia optou por desenvolver uma simulação humana digital com baixa preocupação em termos de detalhamento do sistema técnico, porém, que representasse de forma dinâmica as principais atividades desenvolvidas pelos operadores no referido setor. Assim, desde a primeira reunião ficou claro que algumas características do sistema técnico não foram incorporadas na modelagem e que inviabilizariam a solução inicial desenvolvida. No entanto, apesar de inviável, a simulação (através da animação apresentada) se apresentou como um suporte frutífero para a discussão de diversos pontos de caráter técnico, político e, em especial, que contemplasse a atividade futura possível. Como exemplo de cada uma destas dimensões pode-se citar os pressupostos adicionados após esta primeira situação de simulação do projeto:

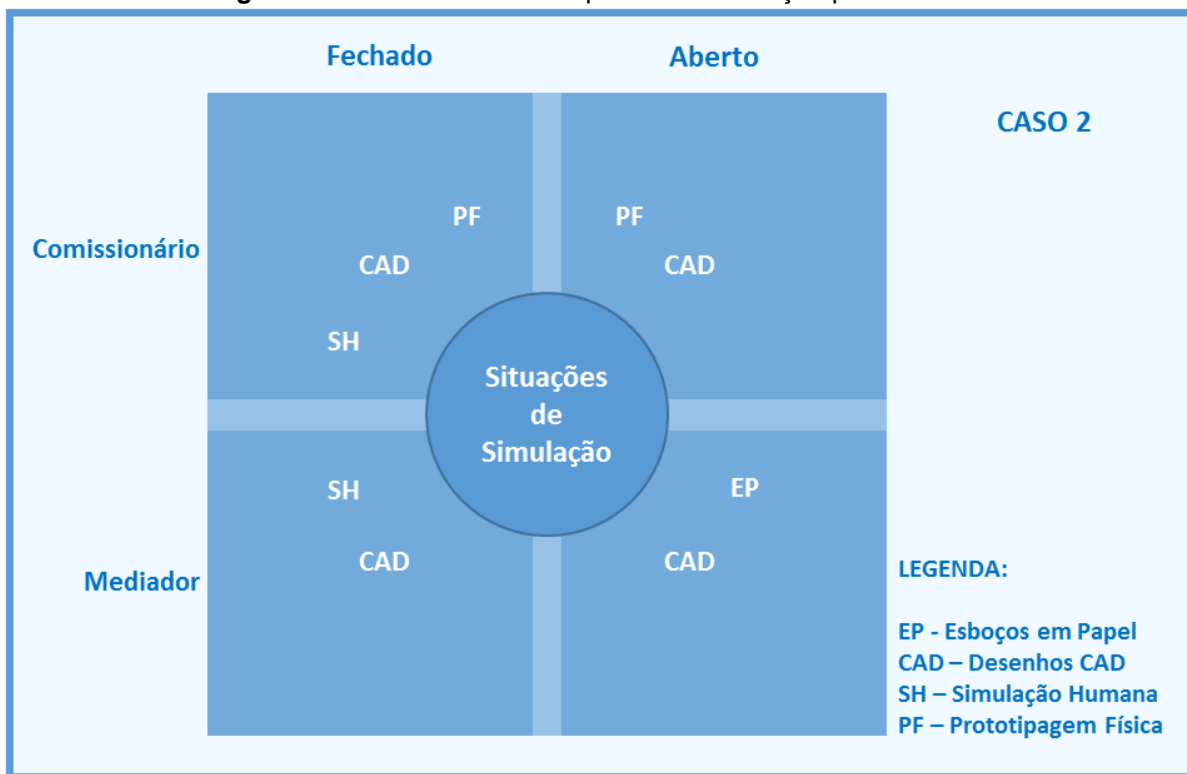
- Dimensão política: a manutenção de um carrinho recém adquirido foi fortemente sugerida pelo supervisor devido ao fato de ser um investimento muito recente e que não deveria ser desprezado no projeto;
- Dimensão técnica: necessidade de consideração precisa dos corpos de prova em termos dimensionais, em especial para os de maior massa;
- Dimensão da atividade: incorporação da posição exata dos corpos de prova quando estes estão sobre a bancada sendo submetidos aos exames de ultrassom.

Por outro lado, algumas simplificações que ocorreram nas primeiras simulações não foram determinantes e puderam ser aperfeiçoadas ao longo do processo de projeto, como por exemplo a modelagem do MHD. Na primeira proposta conceitual o modelo biomecânico utilizado foi o padrão do software (percentil 50 masculino da população americana). Para as modelagens e simulações seguintes em ambiente virtual, optou-se por trabalhar com mais de um manequim, representando os extremos (percentil 5 feminino e percentil 95 masculino) e construídos a partir de uma base de dados antropométricos da população brasileira.

A aplicação de protótipos completamente funcionais também foi fundamental para a incorporação da perspectiva da atividade e das questões técnicas no processo de design de engenharia desenvolvido. Em especial, a interferência do cordão de solda foi facilmente percebida pela capacidade de simular as operações de forma muito próxima ao esperado na situação futura, inclusive em termos dos materiais utilizados nos protótipos e testes com os corpos de prova reais em ambiente real.

Da mesma forma como apresentado no caso anterior, foram analisados os diversos suportes de simulação aplicados neste caso conforme os eixos Comissionário-Mediador e Fechado-Aberto (JEANTET et al., 1996). A Figura 40 apresenta os suportes e as funções e objetivos pretendidos durante o projeto resultante da intervenção ergonômica no laboratório de ultrassom.

**Figura 40** Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 2



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A análise, mais uma vez, evidencia a flexibilidade de função e objetivo dos objetos intermediários. O CAD, por exemplo, atuou nas quatro posturas possíveis, sendo comissionário-fechado quando teve como objetivo validar uma especificação técnica pré-concebida e mediador-aberto quando foi usado para desenvolvimento conjunto e colaborativo do projeto durante as situações de simulação.

Destaca-se novamente a utilização dos protótipos físicos como objetos intermediários do tipo comissionário-aberto, visto que expressavam uma definição clara de solução, porém permitindo uma diversidade de decisões e ações, não sendo previstas no objeto.

Apesar das dificuldades geradas pelas mudanças gerenciais ao longo do projeto, pode-se perceber que a utilização dos diversos suportes de simulação e o registro das situações de simulação, foram fundamentais para a rápida compreensão dos novos gerentes e, de forma suplementar ao esperado, permitiu a contribuição de um dos gerentes para a continuidade do projeto de forma à torna-lo ainda mais efetivo e seguro para os operadores.

#### **4.3. Caso 3: Sala de Descoqueamento – Produção**

O coque é resultado do processo de coqueamento retardado, um processo de conversão térmica que amplia a rentabilidade do petróleo processado ao obter derivados mais leves e com maior valor agregado. Assim, o coque pode ser considerado como um resíduo do processo de refino e não como um produto desejável. O coque produzido, apesar do baixo valor agregado quando comparado aos outros derivados de petróleo, é aplicado na própria refinaria na geração de calor e vapor de alta pressão e também comercializado com objetivo de queima para produção de energia ou como material abrasivo, por exemplo.

Esta demanda está relacionada à atividade de trabalho do operador de descoqueamento na unidade de Coque da Gerência de Produção. Após o início de operação em 2010 diversas reclamações foram relatadas por parte da operação à Gerência de Engenharia. Assim, a demanda para intervenção neste caso surge por parte da Gerência de Engenharia, que atuou na interlocução da operação e solicitou o apoio da equipe de ergonomia para buscar opções de melhoria para a situação relatada.

Segundo o representante da engenharia, a principal reclamação da operação era a falta de uma cadeira adequada para o trabalho em consoles de

descoqueamento nos reatores. A primeira reunião entre a engenharia e a equipe de ergonomia ocorreu em maio de 2011.

#### 4.3.1. Análise ergonômica do trabalho

Para a realização da análise foram necessárias diversas visitas técnicas, entrevistas, observações e acompanhamento das atividades. A localização dos consoles, objeto principal da demanda, foi considerada desde o início como um determinante para a carga de trabalho dos operadores, devido ao seu isolamento das demais áreas de operação da produção. Sua posição, como pode ser observada na Figura 41, acima dos reatores e da área de descarga do coque, era alcançada através de 6 lances de escada ou por um elevador de carga. O elevador, no entanto, encontrava-se constantemente em manutenção fazendo com que o acesso somente pudesse ocorrer pelas escadas. Os quatro consoles estão localizados em duas salas (dois consoles por sala) em uma instalação predial que abriga os reatores. Tal instalação não possui áreas de serviço ou apoio para pessoal, como sanitários, copa, área de descanso e nem água potável resfriada.

**Figura 41** Visão da Unidade de Coque



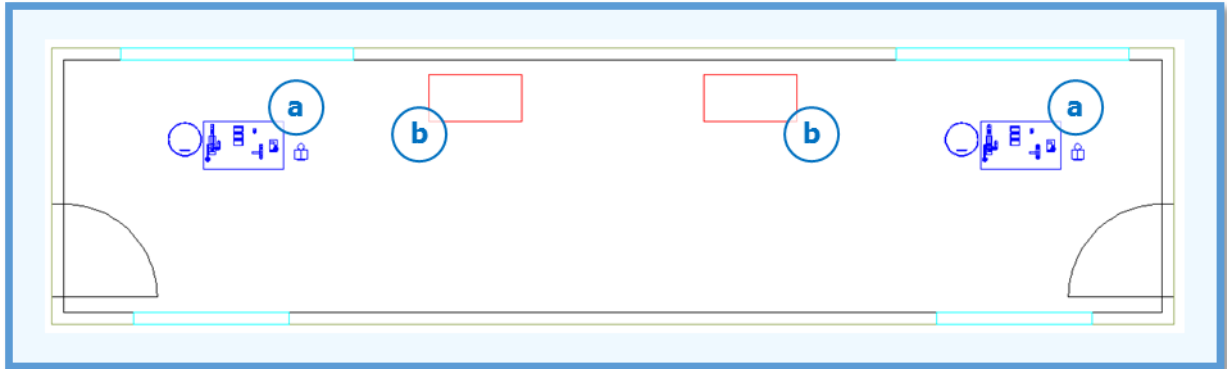
**Fonte:** Banco de imagens da refinaria.

**Nota:** A seta indica a localização das salas de operação de descoqueamento.

No interior de cada sala, além dos dois consoles encontram-se dois painéis de controle e duas bocas de visualização da área de descarga do coque. Na

Figura 42 é possível observar a planta da sala com os painéis de controle e consoles de operação.

**Figura 42** Planta baixa em CAD 2D da sala de descoqueamento



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) indicação dos consoles de operação. Em (b) os painéis de controle. Em azul claro indicação das janelas.

A caracterização geral da área descreveu, além das questões apontadas sobre a localização, a presença de vapores (alta temperatura), “fuligem” (gerada a partir da quebra do coque), ruído (proveniente do console e da área externa de produção) e iluminação insuficiente.

A operação de descoque ocorre em média uma vez ao dia, com duração entre 3 e 4 horas e durante sua execução o operador não realiza pausas ou revezamentos. A descrição da tarefa permitiu compreender a sequência de processos prescritos pela organização dos procedimentos. Assim, pode-se observar que o operador além de utilizar o console para operação da lança de furação e desbaste, ele deve acompanhar e atuar constantemente uma série de informações e controles via painel de controles (distante cerca de 5 metros) e ocasionalmente se deslocar até a área externa para visualizar ou atuar sobre os equipamentos diretamente. Além destes, o operador também faz uso de uma boca de visualização que se encontra ao lado do console e que permite ao mesmo receber uma informação visual direta do resultado instantâneo do processo, isto é, a frequência de queda e tamanho das partes de coque, cor da água, quantidade de vapor, entre outras. Assim como nos casos anteriores, a construção do diagnóstico foi suportada pela aplicação da ferramenta de análise ergonômica EWA. No Quadro 9 é apresentada uma síntese do resultado de sua aplicação.



**Quadro 9** Síntese do resultado do EWA para a demanda – Caso 3

Item	Fator de Risco	Avaliação
	<b>Espaço de Trabalho</b>	
1	Comentários do Analista: “Trabalho sobre painel e console separados em sala isolada. Ruído, vapor e temperatura são agravantes”.	3
	<b>Atividade Física Geral</b>	
2	Comentários do Analista: “Diversos deslocamentos, levantamento de cargas e aplicação de forças são realizadas individualmente.”	4
	<b>Posturas de Trabalho e Movimentos</b>	
3	Comentários do Analista: “A postura em pé é praticamente obrigatória e determinada pelo formato do console e necessidade de busca constante de informações no painel de controle”.	4
	<b>Ferramentas Manuais e Outros Equipamentos</b>	
4	Comentários do Analista: “Os equipamentos não atendem às necessidades da operação e geram constrangimentos e elevada carga de trabalho para um único operador”.	4
	<b>Cargas Cognitivas</b>	
5	Comentários do Analista: “O operador precisa estar constantemente atento ao processo. O operador movimenta a haste a partir do manuseio dos manches e de comandos no painel. Ao mesmo tempo precisa acompanhar visualmente a alteração da haste (subida e descida). Ele também precisa saber onde está a lança dentro do reator e se naquele local está descoqueado ou não. Para diagnosticar isso ele usa a audição, uma vez que quando a água bate na chaparia do reator emite um som característico. Além disso, para se certificar que o reator foi furado ele verifica se na rampa existe vaporização. Os tamanhos das pedras também são observados durante o corte do coque.”.	4
	<b>Cargas Organizacionais e Repetitividade</b>	
6	Comentários do Analista: “Repetitividade Cíclica: O operador realiza os comandos para subir e descer a haste em intervalos de 2 a 3 minutos. O tempo total da atividade é de 3 horas. Essa tarefa é manual (movimentação de manches) e sua frequência de movimentos torna a atividade cansativa e com relevante repetitividade. Conforme aumenta o número de repetições da tarefa, maior é o risco de lesões aos tecidos e maior o esforço percebido. As estruturas mais acometidas são os músculos, tendões e nervos. Conteúdo do Trabalho: Os comandos para movimentar a haste estão localizados sobre a bancada. O operador controla a subida e descida, velocidade e rotação da haste. O operador desce a haste com a ferramenta para furar o leito de coque. Depois do furo o funcionário sobe a haste para que os caldeireiros troquem a ferramenta para corte. O operador é responsável por todo o processo e ao final, durante o fechamento de topo e fundo acompanha essas atividades. Regulação no Trabalho: O processo de descoqueamento é um trabalho contínuo e isolado, por isso os operadores que operam a haste fazem poucas pausas durante seu turno de trabalho.”.	3
	<b>Risco de Acidente</b>	
7	Comentários do Analista: “Os operadores trabalham muito próximos a tubulações em alta temperatura e o risco de queimaduras é grande. A vaporização também é um fator de risco pois cobre toda a região do último andar.”.	4

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Avaliação com escala de 1 (situação ótima/adequada) – 5 (situação perigosa/alto risco).

A compreensão da atividade revelou uma série de estratégias, comportamentos e posturas adotadas pelos trabalhadores e que foram consideradas no desenvolvimento do projeto conceitual.

O foco da demanda original (necessidade de cadeira) fez com que os analistas desde o início se atentassem para as posturas realizadas pelo operador. Ao longo do acompanhamento dos diversos trabalhadores do setor, nos diferentes reatores, notou-se uma constante variação na postura (ver Figura 43), em especial na alternância do pé de apoio (o qual suporta o peso do corpo), mas que nenhum deles sentou-se, apesar de haver cadeiras e banqueta disponíveis. Com relação as cadeiras, eram simples e baixas (conhecidas como “cadeira tipo secretária”, com rodízio e apoio de braço) e não atendiam à nenhuma situação de trabalho (operação do painel ou do console, por exemplo). Em uma das visitas o operador verbalizou: “*não pode ser cadeira baixa porque cadeira baixa você não enxerga (os mostradores)*”.

**Figura 43** Alternância de posturas em pé observadas durante a análise da atividade



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A banqueta foi disponibilizada como uma solução da própria operação para tentar minimizar o desgaste do trabalho em pé. No entanto, seu uso foi relatado como esporádico e com alto grau de desconforto devido à postura necessária para operar o console (como não há espaço para os membros inferiores sob o console o operador deve sentar com as pernas abertas e fica distante dos controles) e pelo material (madeira, sem revestimento ou espuma). A Figura 44 apresenta a banqueta e simulações de uso durante a operação do console.

**Figura 44** Banqueta de madeira e simulações de uso

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) banqueta de madeira disponibilizada para operação. Em (b) e (c) simulações de uso da banquetta.

Devido ao seu baixo ou nenhum uso, as cadeiras e a banquetta ficavam posicionadas distantes dos equipamentos para não se tornarem obstáculos durante os deslocamentos dos operadores. Tais deslocamentos, que inclusive foram considerados como uma das razões que não contribuíam para a adoção de uma postura sentada, ocorrem com frequência, especialmente saindo do console até o painel de controle. Os analistas observaram e validaram posteriormente com os operadores o fato de que muitas vezes isto ocorria com o objetivo de obter informações e não atuar sobre o painel de controle. Ao entrevistar o coordenador técnico de operação o mesmo relatou que em outras unidades é comum o painel estar mais próximo do console, permitindo a visualização e acompanhamento sem a necessidade do operador deslocar-se.

Também foi possível observar na análise da atividade uma diferença entre o trabalho prescrito e o trabalho real que ocorreu pelo fato do local em questão ser isolado e de difícil acesso. O procedimento para uma dada operação (troca de ferramenta de furo para ferramenta de corte) previa o auxílio de um profissional de caldearia. No entanto, o operador considera inviável acionar tal profissional e aguardar sua chegada para dar continuidade à operação, preferindo realizar sozinho, resultando em aumento considerável de deslocamentos na área de processo e do esforço físico realizado.

O isolamento responsável pelo aumento da carga física também é responsável por uma parcela de carga cognitiva. O operador relatou que o trabalho envolve riscos e as consequências podem ser graves para o processo, para sua saúde e para a população vizinha à refinaria<sup>31</sup> e, portanto, sua responsabilidade era alta. Junto à isto o fato de tomar a maioria das decisões de forma individual (sem consulta) e em um curto intervalo de tempo e com um panorama incompleto ou incerto das informações do sistema, agravam o quadro.

A respeito das informações do sistema, o operador mostrou dominar as interfaces e as faixas de operação aceitáveis dos parâmetros existentes, mesmo a maioria sendo em língua inglesa. No entanto, devido à presença de anotações feitas à mão sobre o console e a presença das “folhas de processo” chamaram a atenção para o risco associado à estas questões. Ao lado dos mostradores e controles do console foram observados as seguintes expressões escritas à mão e algumas já desgastadas: “Tensão no cabo”; “Giro”; “Profundidade”; “*Full Open*”; “*Release/Retract*”, entre outras. Na Figura 45 é possível observar o console e algumas destas anotações.

Ao término da análise ergonômica do trabalho ficou claro para a equipe de ergonomia que a intervenção não poderia ficar restrita apenas à especificação de um determinado tipo de cadeira (demanda original). A solução deveria compreender o máximo dos constrangimentos observados e incorporar aspectos oriundos da atividade desenvolvida.

---

<sup>31</sup> A refinaria havia sido autuada no primeiro trimestre daquele ano pela companhia ambiental estadual e municipal em função de episódios de emissão significativa de particulados de coque (fuligem) diretamente para a atmosfera, sendo registradas dezenas de reclamações da comunidade local.

**Figura 45** Console de operações para descoqueamento e anotações feitas à mão



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Setas indicam a presença de anotações feitas à mão para auxiliar na operação do console.

#### 4.3.2. Desenvolvimento de projeto conceitual

A percepção desde as primeiras visitas foi de que a demanda tratava-se de algo maior que a indicação de uma cadeira e que a solução a ser desenvolvida deveria incorporar mudanças efetivas especialmente sobre o console operado. Com o objetivo de organizar o desenvolvimento conceitual foram definidas três esferas de atuação do projeto:

1. Projeto Físico do Console de Operação;
2. Projeto da Interface do Console de Operação;
3. Cadeira para Console de Operação.

Assim, a primeira frente de atuação buscou propor uma solução para reduzir o desconforto físico gerado pelo desenho do console, em especial pela falta de espaço para membros inferiores neste equipamento e pela necessidade de deslocamentos constantes até o painel de controle.

Foi possível levantar junto ao Coordenador Técnico da Operação que os consoles mais atuais já possuíam um monitor integrado que diminuía a necessidade de tais deslocamentos. A pesquisa por informações técnicas sobre consoles junto aos principais fornecedores apontou para algumas adaptações possíveis de serem realizadas no console atual, visto que a substituição por um novo já havia sido descartada pela gerência da Produção. Foram obtidas informações sobre um sistema mais moderno de descoqueamento (mesmo fornecedor do sistema atual) no qual a operação não necessita estar na torre sobre os reatores. Neste sistema o console de operação proposto, conforme pode ser visualizado na Figura 46, possui um monitor para acompanhamento de informações, espaço sob o console para membros inferiores (porém, aparentemente, ainda insuficiente para uma operação confortável) e tecnologia de operação remota, isto é, os acionadores hidráulicos e pneumáticos não se encontram no interior do console, o que elimina o incômodo gerado pelos ruídos de tais equipamentos.

**Figura 46** Console de descoqueamento apresentado em catálogo de fornecedor



**Fonte:** Imagem de catálogo extraído da internet.

Com base na AET e nas informações obtidas junto ao fornecedor foi discutida com os operadores e o coordenador técnico a possibilidade de modificar o atual console. Uma das possibilidades levantadas pela equipe de ergonomia seria liberar espaço para as pernas e para isto uma análise do interior do console foi realizada. A Figura 47 ilustra algumas fotos deste estudo. A resposta obtida foi que

nenhuma parte mecânica do equipamento poderia ser alterada, visto o risco de “perda de garantia” do fornecedor.

**Figura 47** Estudo do interior dos consoles visando liberação de espaço para as pernas



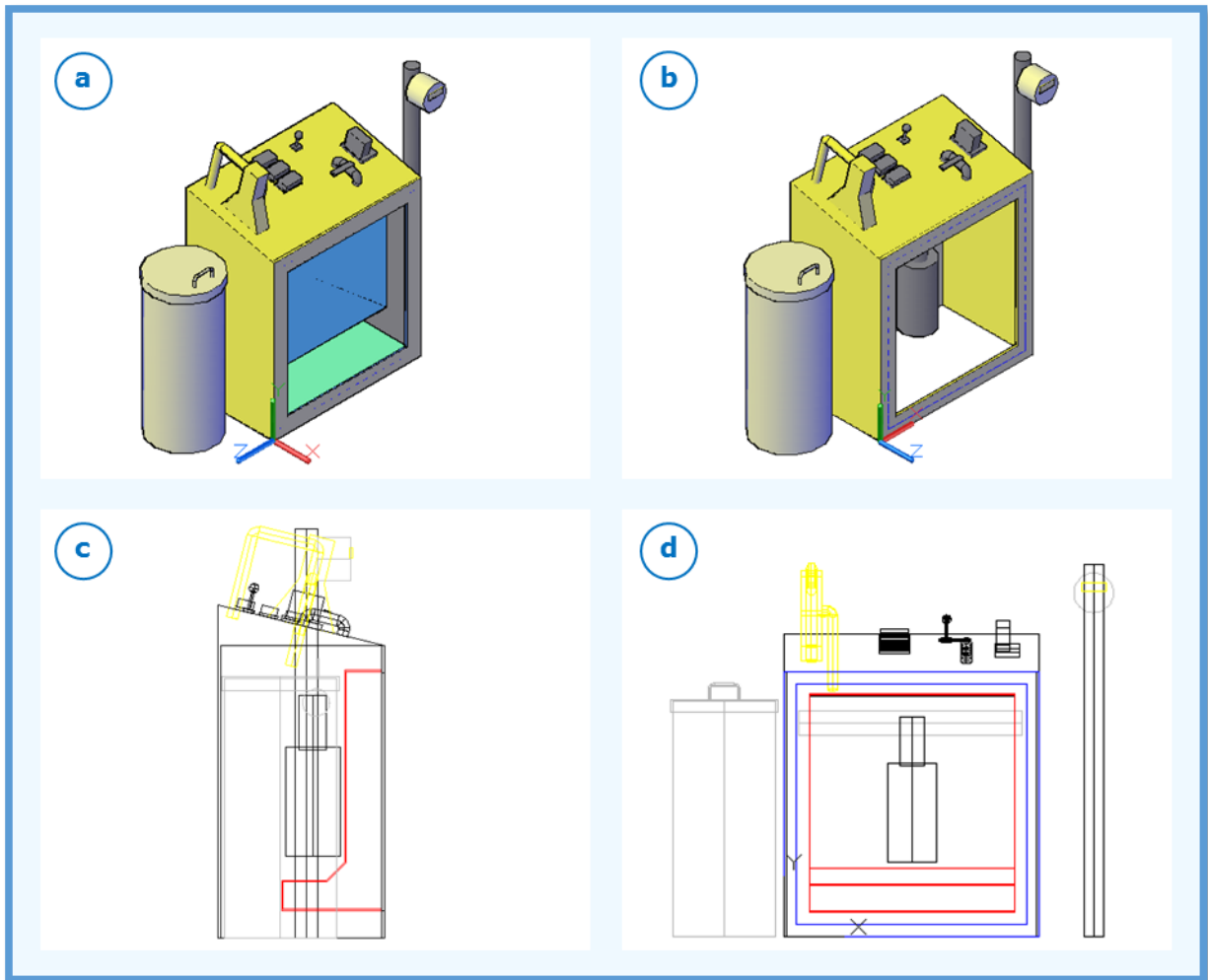
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A partir destas análises foram definidas as seguintes características desejáveis para o projeto:

- Liberação parcial de espaço sob console para membros inferiores, sem alteração funcional sobre equipamento;
- Instalação de monitor com informações do painel de controle.

Desta forma, foi desenvolvida a 1ª proposta conceitual considerando a possibilidade de alterar a tampa de fechamento do console, sem necessidade de alterar os equipamentos existentes no interior deste. A Figura 48 apresenta o conceito desenvolvido em CAD 3D.

**Figura 48** Modelagem CAD 3D da modificação física do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) a perspectiva isométrica com novo fechamento proposto. Em (b) perspectiva isométrica sem fechamento. Em (c) a vista lateral com destaque em vermelho para perfil do novo fechamento. Em (d) idem para a vista frontal.

Para a apresentação e discussão da proposta foi utilizado como suporte de simulação as ferramentas CAD 3D e o software Jack (simulação estática). Para esta simulação foram utilizados um MHD masculino percentil 95 e um feminino percentil 05, ambos construídos com dados antropométricos da população brasileira. Foram simuladas três situações características para cada manequim:

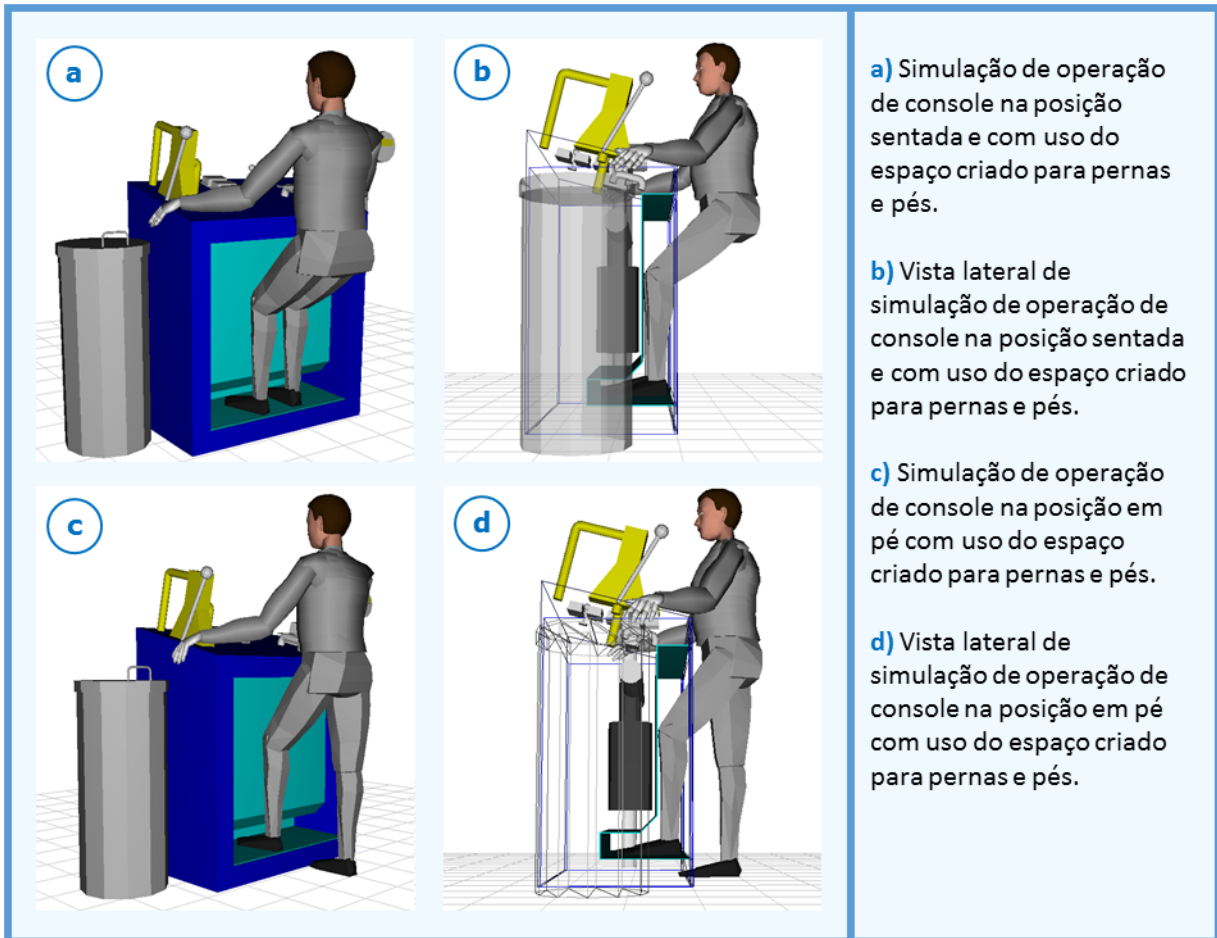
- Operador sentado, com pés apoiados;
- Operador sentado, com joelho fletido em 90 graus;
- Operador com um pé no chão e outro apoiado.

As simulações não consideraram na modelagem o assento (cadeira ou banqueta) para a postura sentada, visto que, para definição de tal dispositivo, foi considerado necessário um estudo específico. Outro aspecto que não foi adicionado



ao conceito foi a inserção de um terminal de vídeo junto ao console para replicação das informações do painel de controle. Tal simplificação na modelagem se deu pelo fato do projeto, naquele momento, focar sobre a intervenção física do console. A Figura 49 ilustra as simulações estáticas realizadas para as três situações para o manequim masculino percentil 95.

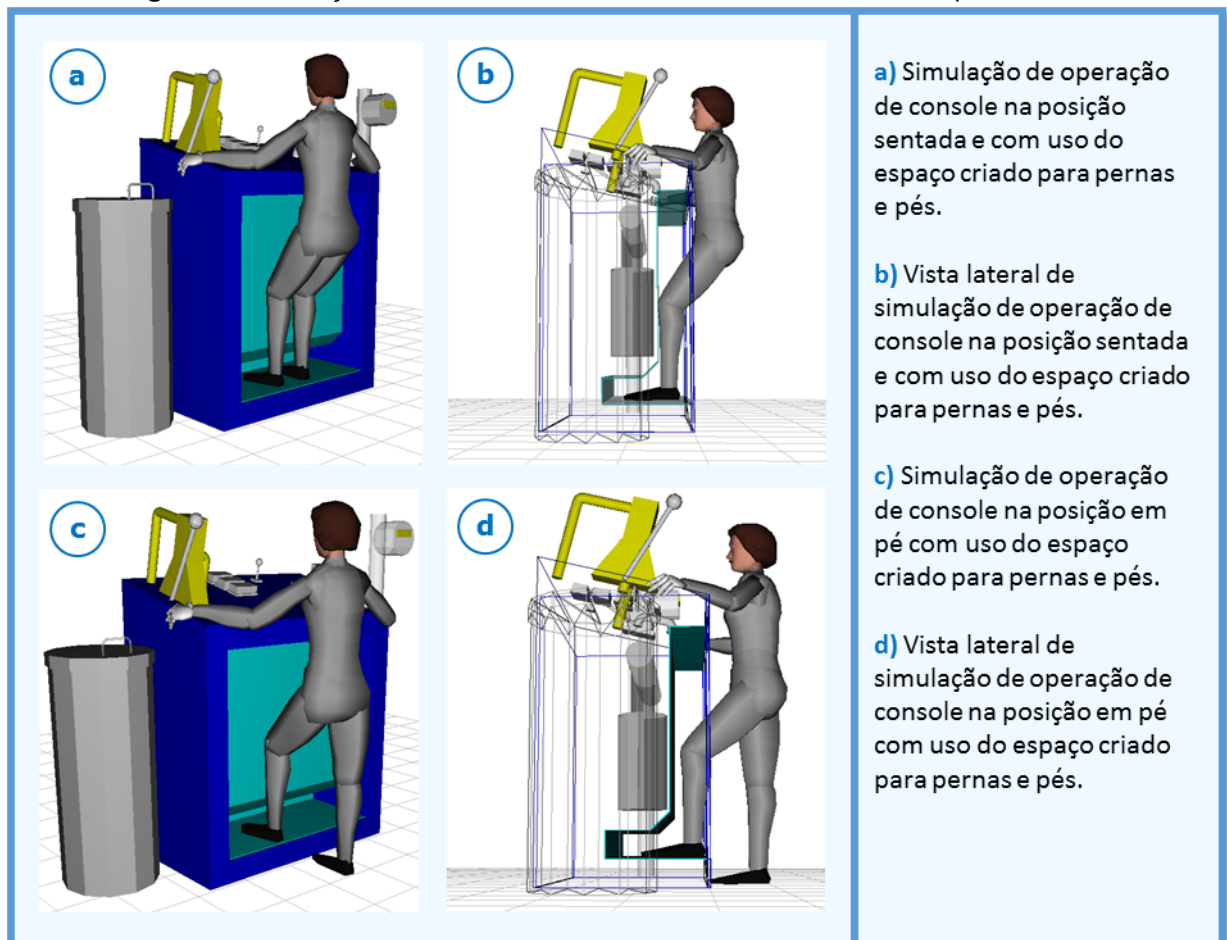
**Figura 49** Simulação humana estática do console com MHD masculino percentil 95



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

As mesmas simulações estáticas realizadas para as três situações com o manequim feminino são apresentadas na Figura 50.

**Figura 50** Simulação humana estática do console com MHD feminino percentil 05



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A proposta foi apresentada para o representante da engenharia em reunião com a equipe de ergonomia, porém sem a presença de operadores ou representantes da produção (estes afirmaram ser difícil sair dos locais de processo durante a jornada de trabalho por possuírem poucas brechas em suas agendas para este tipo de atividade considerada “externa”). Assim, para validação do conceito as simulações foram impressas e levadas até a sala de operação de descoqueamento.

Os operadores apontaram que a solução, a priori, parecia melhorar uma situação incômoda, mas que gostariam de testar fisicamente o conceito. A equipe de ergonomia ficou responsável pela construção de um protótipo para testar a efetividade da intervenção. O coordenador técnico de operação sugeriu a construção do protótipo em acrílico. A equipe de ergonomia sugeriu instalar juntamente à tampa frontal algum material para isolamento acústico, visto que muito do ruído era gerado no interior do console. O coordenador técnico e o representante da engenharia ficaram

responsáveis por analisar qual material poderia ser utilizado sem risco de interferir em questões de segurança do operador e desempenho/integridade do equipamento.

A inserção do terminal de vídeo para replicação das informações do painel de controle foi discutida em termos de benefícios e viabilidade técnica de execução. Os operadores afirmaram acreditar que tal ação diminuiria sensivelmente a necessidade de deslocamentos. O coordenador técnico afirmou que o painel de controle existente não previa tal adaptação e talvez fosse necessária uma modificação ou atualização do sistema, o que representaria um custo alto. A partir destas considerações, tal item da solução ficou em suspensão até que informações adicionais pudessem subsidiar novas discussões.

A segunda frente de intervenção ocorreu sobre a interface do console, visto principalmente a existência de anotações à mão (já desgastadas) para tradução de comandos ou rotulagem de instrumentos, necessidade de folhas de operação para confirmações dos valores e parâmetros de operação ideal, entre outros. Os operadores informaram quais seriam os melhores termos e faixas de operação que poderiam aparecer nesta nova interface. A equipe de ergonomia salientou que tal interface seria instalada sobre o console atual, sem modificação das características existentes, usando como exemplo outras demandas com intervenções semelhantes na própria refinaria e, inclusive, na mesma gerência (Produção).

As características desejáveis para a interface, que foram definidas com apoio de todos envolvidos presentes, foram:

- Termos e expressões preferencialmente em português e que considerassem a experiência e conhecimento dos operadores;
- Indicação de faixas de operação com valores e cores para auxiliar no diagnóstico e tomada de decisão dos operadores;
- Uso de esquemas gráficos para auxiliar a compreensão dos principais controles, remetendo ao estado real do sistema (localização da lança dentro do reator, por exemplo);
- Projeto (materiais e processos) que garanta a durabilidade e legibilidade das informações, considerando o uso e o ambiente no qual está inserido.

Ao término da discussão ficou definido que um protótipo físico seria construído para testar o conceito de modificação da tampa frontal do console e um protótipo virtual com uma interface proposta para validação também seria desenvolvido.

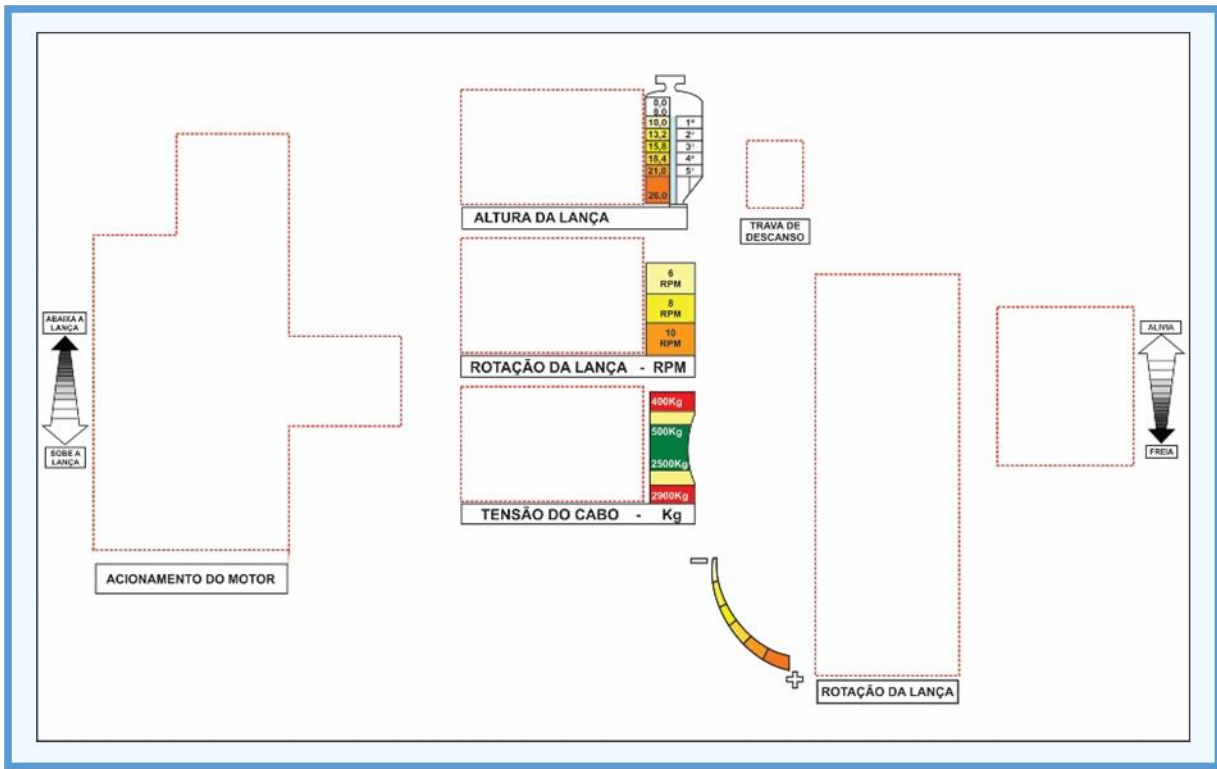
Para a construção do protótipo físico foram necessárias algumas visitas à sala de operação para confirmação de medidas e conferência nos quatro diferentes consoles. Em todas estas oportunidades os operadores eram interpelados a respeito da solução proposta e colaboravam com informações e explicações detalhadas da operação e das atividades realizadas.

O desenvolvimento do protótipo virtual da interface do console utilizou-se de ferramentas de computação gráfica como CorelDraw e 3D Studio Max, sendo que, esta última até então tinha sido muito pouco utilizada nas intervenções na refinaria. A opção por utilizar tal ferramenta se deu pelo fato da equipe de ergonomia receber um novo membro para dar suporte nas atividades de projeto e que possuía formação em Desenho Industrial e colaborou no desenvolvimento do protótipo. A Figura 51 ilustra a proposta conceitual desenvolvida em CorelDraw.

Na proposta as linhas tracejadas (em vermelho) representam os recortes da máscara (placa) a serem realizados para permitir a instalação sobre a interface existente, sem alterações ou necessidade de desmontagem de partes do console atual.

Para a apresentação da proposta foram modelados e simulados no software de renderização 3D Studio Max a instalação da interface nova sobre a atual (exibindo os mostradores e controles), a instalação de uma nova tampa frontal do console em substituição à existente e a interação destes com um manequim virtual de visualização (isto é, sem detalhamento biomecânico ou antropométrico) de 1,72 metros de estatura para representar o operador. A Figura 52 ilustra o protótipo virtual desenvolvido.

**Figura 51** Proposta conceitual desenvolvida para interface do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** As linhas pontilhadas na cor vermelha indicam as áreas vazadas (a serem recortadas) da interface para visualização dos mostradores e manuseio dos controles existentes.

**Figura 52** Protótipo virtual da interface do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** A) Vista superior da interface com controles e mostradores existentes; B) Simulação da instalação da interface; e, C) Simulação de uso do console.

Em paralelo, uma modelagem e simulação dinâmica foi desenvolvida para ilustrar a operação dos comandos do console em duas situações distintas: operador sentado e operador em pé, ambos utilizando a proposta com a nova tampa frontal. Para representar os operadores foram utilizados manequins masculinos com percentil 05 e 95. Na modelagem do ambiente foram inseridos além do console uma representação da estrutura predial (sala com janelas e portas) e presença do painel de controle. A Figura 53 apresenta um *storyboard* com imagens da simulação dinâmica.

**Figura 53** *Storyboard* de simulação humana dinâmica da tampa frontal do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os protótipos virtuais foram apresentados para o representante da engenharia que considerou factível suas instalações, não apresentando, portanto, restrições técnicas em termos de interferência sobre o equipamento existente no local de trabalho.

Considerando a experiência anterior (a respeito da dificuldade de marcar encontros com os operadores em uma sala de reunião localizada próxima ao local sob intervenção, como preferencialmente ocorre) a equipe de ergonomia optou por levar

até a sala de operação imagens do protótipo virtual e um protótipo físico da interface impresso em tamanho real, de forma a propor a instalação deste para testes e validação.

Assim, a proposta conceitual foi plotada em papel sulfite em escala natural e instalada sobre um dos quatro consoles existentes. O objetivo era validar a real utilidade da interface proposta e a exatidão das informações inseridas, sendo, portanto, os operadores instruídos a avaliar e, caso julgassem interessante ou necessário, fizessem alterações ou anotações sobre o próprio protótipo em papel.

Ao longo das primeiras horas com o protótipo físico instalado um operador questionou uma das faixas de operação e apresentou um novo valor (escrevendo ao lado do valor que considerava estar equivocado). A Figura 54 apresenta o protótipo físico instalado e a anotação realizada por um dos operadores.

**Figura 54** Protótipo físico em papel da interface do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) vista superior da interface com controles e mostradores existentes. Em (b) mostradores existentes e faixas de operação com grafismos e cores para apoiar compreensão e tomada de decisão. Em (c) detalhe com seta apontando anotação feita por operador.

Após o período de testes e validação do protótipo físico em papel (cerca de 48 horas) o protótipo foi retirado e discutido com a operação e representante da engenharia. A principal alteração proposta foi um dos valores da faixa de operação desejável da “Tensão do Cabo” substituindo o valor de 2500 kg para 1600 kg. Segundo

o operador este valor havia sido recentemente alterado nos padrões e objetivava uma melhor qualidade do processo. Outra alteração apontada pela operação foi a inserção da unidade do mostrador referente à altura da lança (“metros”).

Com base nesta experiência e de outras intervenções realizadas de natureza semelhante, a equipe de ergonomia propôs aos demais envolvidos na demanda a construção de um novo protótipo físico desta interface em material de melhor qualidade e durabilidade, se aproximando mais da solução definitiva proposta.

O material escolhido para o protótipo foi uma placa de acrílico e a impressão seria feita sob a placa, de forma a proteger e evitar o desgaste das informações. O coordenador técnico solicitou que a placa não fosse branca como o protótipo em papel devido à presença de sujidades na área de processo.

Além das alterações já acertadas, também foi adicionado um quadro com aviso sobre o protótipo para dar informações sobre o processo de projeto, a característica temporária da nova interface (por não se tratar de uma instalação definitiva) e com contato dos responsáveis por parte da empresa e da equipe de ergonomia. A Figura 55 apresenta algumas imagens do protótipo físico em acrílico instalado sobre o console de operação.

**Figura 55** Protótipo físico em acrílico da interface do console



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) a vista superior da interface com controles e mostradores existentes. Em (b) os mostradores existentes e faixas de operação com as alterações propostas. Em (c) detalhe do aviso explicativo sobre o protótipo e contatos dos responsáveis.



Alguns dias após a instalação do protótipo físico da interface, o protótipo físico da tampa frontal foi concluído e pode ser instalado para avaliação por parte dos operadores. Este protótipo, assim como o da interface recém-instalado, também tinha como característica ser operacional e durável, porém, sem pretensões de ser definitivo.

Com o protótipo em mãos, a equipe de ergonomia discutiu com a Engenharia e Operação se eles consideravam melhor este ser instalado no mesmo console onde estava instalada a interface ou em um dos outros três consoles disponíveis. Os ergonomistas defenderam que consideravam melhor se a instalação fosse no mesmo console, visto que poderia captar a percepção de uso da nova condição de trabalho proposta, visto que eram soluções complementares e não excludentes. Os envolvidos na intervenção também acharam interessante que os protótipos fossem reunidos no mesmo console, inclusive para deixar claro para os operadores que se tratavam de uma intervenção única com o objetivo de propor melhorias nas condições de trabalho em termos de saúde, conforto, segurança, confiabilidade humana e eficácia produtiva. Algumas simulações foram realizadas para verificar se os protótipos estavam aptos para serem utilizados por um tempo maior sem prejuízo ou risco aos operadores e/ou processo. A Figura 56 apresenta os protótipos instalados sobre o console e uma simulação de uso com utilização de banquetas.

A partir das instalações dos protótipos o foco da continuidade do projeto foi a especificação de cadeiras e banquetas para validação junto aos operadores e no ambiente de trabalho. A Engenharia ficou responsável por obter ou negociar recursos para aquisição ou empréstimo deste mobiliário para os testes.

Destaca-se neste ponto a compreensão do grupo de trabalho de que a definição de uma cadeira (ou assento) não resolveria os principais constrangimentos observados na situação. Assim, a reformulação da demanda foi fundamental para direcionar os esforços e recursos em ações mais efetivas. De qualquer forma, após a convergência das soluções referentes à interface do console e tampa frontal, voltou-se o foco para o assento.

**Figura 56** Protótipos físicos da interface e da tampa frontal do console e simulação de uso



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A equipe de ergonomia apontou a necessidade de avaliar alguns modelos diferentes de assentos através da percepção de uso dos próprios operadores. Assim, a orientação foi que os dispositivos ficassem à disposição dos operadores por pelo menos uma semana para que pudessem avaliar, em diferentes situações e contextos, os benefícios e limitações de cada modelo e, juntamente com a equipe de ergonomia, encaminhar uma definição sobre qual modelo (podendo ser mais de um) seria indicado.

Os cinco modelos indicados para uma primeira etapa de testes foram: cadeira alta tipo caixa sem rodízios, cadeira tipo sela com rodízios (com e sem encosto), banqueta alta sem rodízio e banco semi-sentado sem rodízio. Todos os modelos deveriam possuir uma determinada faixa de regulagem de altura (definida pela modelagem e simulação humana), base giratória (exceto para banco semi-sentado) e assento com espuma. A Figura 57 ilustra os modelos indicados para fase de testes.

**Figura 57** Modelos de assentos indicados para testes junto aos operadores

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Devido ao atraso do setor de Engenharia para viabilizar a aquisição ou empréstimo, a realização dos testes com os assentos não foi possível de ser acompanhada pela equipe de ergonomia da universidade devido ao término do contrato desta com a refinaria, após aproximadamente cinco anos de atuação. As validações e análises a partir do uso dos protótipos instalados também não puderam ser concluídas pela mesma razão. Todos os desenvolvimentos e programações foram passados para a coordenação de Higiene Ocupacional e respectivos técnicos responsáveis para continuidade das ações em andamento.

#### 4.3.3. Considerações acerca dos suportes de simulação utilizados

O processo de projeto relacionado à sala de descoqueamento representa uma situação típica e bastante caricatural da ergonomia, em especial, a brasileira. Definida (ironicamente ou não) por alguns como a “*ciência das cadeiras ou*

*cadeirologia*”, a ergonomia muitas vezes é chamada para “avaliar a cadeira e a posição do teclado e monitor, obtendo a melhor postura possível” ou ainda recomendar a compra de “dispositivos ergonômicos”. No presente caso, a demanda inicial surge da engenharia com a solicitação de especificar uma cadeira para ser utilizada junto aos consoles de operação do descoque.

Ao longo das etapas de análise ficou bastante evidente que a cadeira é apenas parte de uma situação que apresenta uma série de constrangimentos e fatores de risco que colaboram para a sobrecarga física e mental dos trabalhadores.

A partir do diagnóstico a definição de três frentes de atuação do desenvolvimento projetual foi fundamental para evidenciar a necessidade dos diferentes tipos de intervenção: teste e aquisição de mobiliário; intervenção sobre a interface do console; e, mudança física do console a partir da substituição da tampa frontal.

Frequentemente as demandas de “ergonomia de correção” possuem um processo de projeto limitado por um conjunto de pressupostos e restrições definidas e discutidas logo no início ou ao longo da intervenção. A presente situação novamente se caracteriza por uma situação bastante típica: a inviabilização de substituir ou modificar funcionalmente os equipamentos existentes. Assim, a ergonomia de correção frequentemente tem como desafio propor soluções de baixo custo e pouco impacto sobre as tecnologias empregadas, mas, obviamente, que tragam resultados em termos de saúde, bem-estar, segurança, conforto, confiabilidade, produtividade, entre outros.

Assim, para a construção de uma solução que sintetizasse as necessidades da operação, as restrições da engenharia e da coordenação técnica (representando a gerência de produção) e os anseios da equipe de ergonomia, o processo de projeto se pautou em discussões propositivas que afunilassem para um conceito factível e viável.

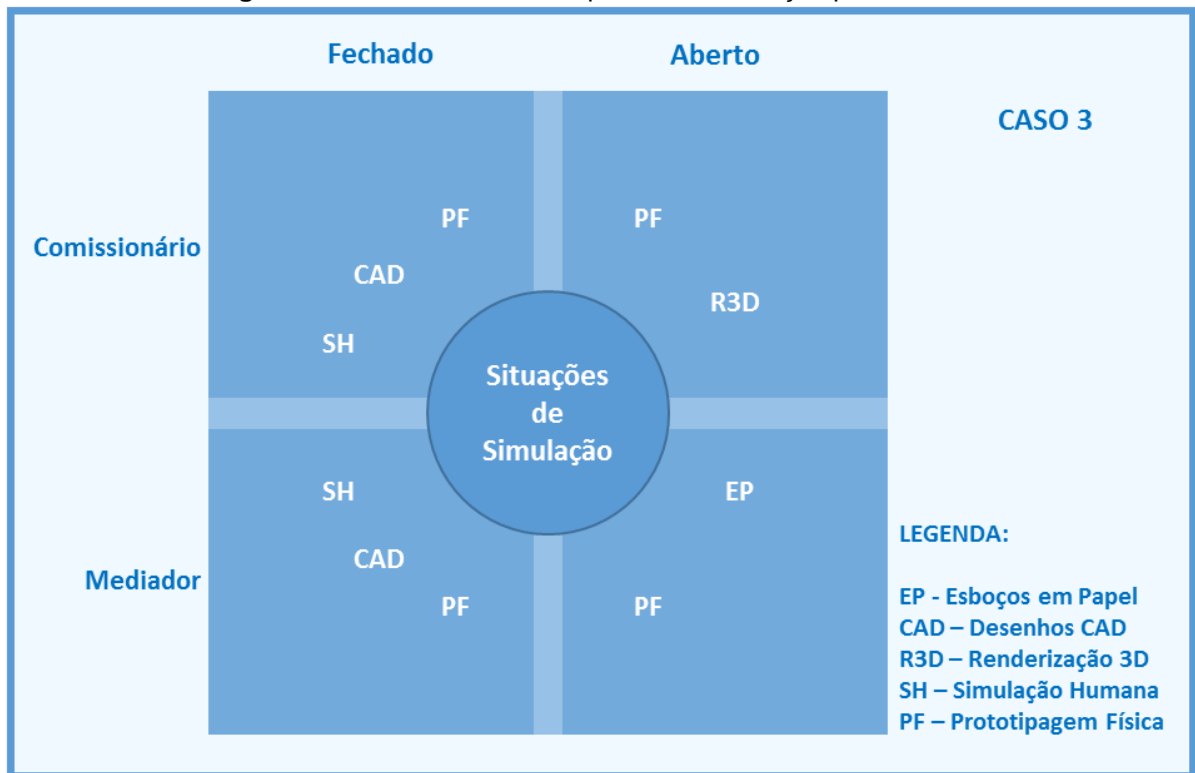
Neste sentido, tais discussões demandaram da equipe de ergonomia novas estratégias para atender uma especificidade da situação em estudo. O isolamento geográfico e a dificuldade de locomoção dos operadores fez com que a maioria das situações de simulação ocorressem na própria sala de descoqueamento,

e não em uma sala de reuniões ou em salas administrativas. As reuniões de projeto que ocorreram dentro deste contexto (salas administrativas) tiveram a participação única da equipe de ergonomia com os representantes da engenharia.

Esta dinâmica impactou diretamente na criação das situações de simulação e nos suportes utilizados para as mesmas. Se as simulações virtuais, em especial as dinâmicas, demandam uma estrutura computacional para serem exploradas, em ambientes externos (como a sala de descoqueamento) tais simulações só foram úteis quando impressas e mostradas para a operação e coordenação técnica neste formato. A estratégia desenvolvida em resposta à esta configuração do processo de projeto foi a antecipação e ampliação do uso de protótipos físicos funcionais.

A análise da aplicação dos suportes segundo os eixos comissário-mediador e fechado-aberto, ilustrada na Figura 58, corrobora a multiplicidade de posturas que os objetos podem assumir e a diversidade que pode ser utilizada em um processo de concepção. Tal variedade afasta o conceito de que existe uma ferramenta ideal para cada situação ou ainda que uma determinada técnica é caracterizada por ter uma função única (abrir possibilidades ou fechar conceitos, por exemplo).

Destaca-se nesta análise as diversas funções assumidas pela prototipagem física (PF) devido as circunstâncias e estratégias adotadas e que auxiliaram na concepção do painel e da tampa frontal do console. Este suporte foi responsável por diversos objetos intermediários que materializaram as propostas desenvolvidas e permitiram uma interface entre os participantes do projeto, em especial os operadores de campo, que puderam testar, opinar, avaliar os diversos aspectos envolvidos, enfim, colaborar com a perspectiva de suas atividades as soluções criadas de forma coletiva.

**Figura 58** Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 3

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4. Caso 4: Plataforma de Abastecimento – Novos Empreendimentos

O presente caso apresenta um grande diferencial dos casos já descritos nesta tese. Dentre os critérios estabelecidos para definir o recorte das demandas que seriam exploradas nesta pesquisa (de um total de mais de 200 demandas, quatro foram selecionadas) esta é a única entre as quatro que se refere à “ergonomia de concepção”, conforme classificação definida pela empresa na qual houve a intervenção.

Assim, ao contrário das demandas anteriores, neste caso não houve uma situação existente para análise da demanda, tarefa e atividade. A própria demanda inicial surge dentro de um contexto onde os principais envolvidos não compreendem a inserção e o objetivo de uma equipe de ergonomia em uma etapa tão antecipada do projeto e implantação das unidades.

Tal comportamento decorre, em grande parte, por uma cultura existente na gestão destes empreendimentos que o principal a ser garantido é a finalização dos

projetos no prazo previsto, respeitando o orçamento e dentro de uma faixa de operação aceitável (eficiência produtiva). As demais características são consideradas como variáveis de ajuste (e não de ação, isto é, com menor prioridade) que podem ser contempladas após a implantação dos sistemas, em um momento no qual os “ajustes já são previstos” e onde pode-se “acertar os detalhes com calma”.

Apesar de ser prevista pelos padrões e normas da referida empresa, a atuação da equipe de ergonomia junto aos projetos em desenvolvimento de novas unidades era muito dificultado pela estrutura organizacional que os gerencia. A gestão de projetos e implementações de novas instalações não acontece de forma autônoma pela refinaria e sim por uma estrutura gerencial (Implantação de Empreendimentos - IE) que responde à divisão nacional de Engenharia (e não de Abastecimento, como todas refinarias). Para dar suporte e acompanhar este processo a refinaria possui uma gerência (Novos Empreendimentos - EM) que atua em conjunto com a IE.

Assim, a participação da equipe de ergonomia estava condicionada à negociação da gerência de EM com a IE, o que, em termos práticos não ocorreu de forma espontânea nos dois primeiros anos nos quais a equipe da universidade atuou na empresa. No término do segundo ano (setembro de 2009) devido à um Relatório de Tratamento de Anomalia e conseqüente pendência na Ferramenta Integrada de Avaliação e Auditoria a coordenação e a equipe de ergonomia receberam um comunicado informando aos gestores da gerência de Novos Empreendimentos que a equipe da universidade deveria ser convocada para “...os *Reviews* das novas unidades da Modernização da (refinaria), mesmo os que são preliminares...”<sup>32</sup>. Os conteúdos do RTA e da pendência não foram informados à equipe da universidade.

O termo “*Reviews*” faz referência a um formato típico de reunião conhecido como “*Design Review*”. Nestas reuniões são apresentados o estado real e previsto do detalhamento do projeto e da implantação. Tradicionalmente são organizadas em três etapas conforme evolução: 30%, 60% e 90%. O Review de 30% pode ser o primeiro contato de muitos na reunião com o projeto. Uma visão geral das etapas que conduzem o processo de detalhamento e implementação das instalações futuras e a descrição geral do trabalho devem preceder a apresentação dos

---

<sup>32</sup> Trecho de comunicação interna enviada para os gerentes e gestores da IE e EM com cópia para a Equipe de Ergonomia.

documentos exigidos. Esta fase poderá gerar várias soluções alternativas para os requisitos do projeto, porém apresenta como ponto de partida uma visão simplificada (projeto básico) e agregada do projeto. Nesta etapa poucas informações relacionadas à operação (posicionamento de controles, válvulas e plataformas, por exemplo) estão disponíveis, sendo o foco principal a delimitação da área disponível, escolhas tecnológicas referentes aos processos, principais fluxos e cronogramas físico e financeiro do projeto.

Na revisão de 60% as perguntas ou preocupações levantadas a partir da avaliação de 30% devem ser abordadas. Além disso, as atualizações dos aspectos-chave (engenharia de processos, instalações, cronograma e estimativa de custos do projeto) devem ser apresentadas. Esta etapa pode ser considerada a principal etapa para atuação da ergonomia (sem desconsiderar as outras) por ser o momento do projeto onde ficam evidenciadas as interações dos futuros operadores e pessoal de manutenção, SMS, funcionários terceirizados, entre outros com a planta industrial e instalações de serviço e apoio. Outro ponto favorável desta etapa é a margem ainda disponível para modificações, o que se torna muito restrita na fase seguinte.

Por fim, no Review de 90% todas as questões e preocupações da revisão de 60% devem ser abordadas. Além disso, uma atualização completa e exaustiva dos aspectos-chave deve ser apresentada. Nesta etapa a margem de modificação é considerada mínima, visto que muito já foi implementado no campo (demarcação da área, fundações, construção e montagem de estruturas e instalações de parte dos equipamentos) e parte considerável das aquisições já foi realizada. Qualquer alteração proposta pode ser considerada um risco para o cronograma do projeto e previsão financeira, sendo portanto evitadas por todos envolvidos.

Para estas reuniões a empresa empreiteira responsável pelo projeto executivo e implantação tem a obrigação de informar os andamentos, alterações, imprevistos e indicar os próximos passos, além de repassar o projeto com os demais participantes. Além da empreiteira participam da reunião o gestor do projeto (empregado próprio da IE, maior nível hierárquico presente nas reuniões e responsável por manter os níveis gerenciais informados sobre os andamentos dos projetos) e técnicos de diversas áreas como Engenharia de Processos, SMS, Manutenção, Operação, Elétrica, Montagem Estrutural, Movimentação de Cargas,



entre outras. Para atender esta diversidade de áreas as reuniões de *Design Review* nesta unidade são programadas para ocorrerem de 3 à 5 dias de uma semana, sendo que em cada período são agendadas algumas áreas que, preferencialmente, possuam alguma interface.

#### 4.4.1. Análise ergonômica do trabalho

A partir da comunicação da gerência de EM citada anteriormente algumas convocações para participação em reuniões de *Design Review* (em diferentes momentos de evolução, ou seja, revisões de 30%, 60% e 90%) chegaram até a equipe de ergonomia.

Uma destas convocações tratava do projeto da nova Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI). A reunião era para um *Design Review* de 60% e no período informado (quarta-feira período da tarde) ocorreria a “revisão dos aspectos ergonômicos” junto com a revisão de demandas das áreas de SMS, Engenharia de Processos, Operação e Manutenção.

Antes da reunião foram solicitados aos responsáveis da EM informações prévias sobre as instalações em projeto e operadores ou situações de referência para preparação da equipe de ergonomia. O retorno dado foi no sentido que as informações não poderiam ser antecipadas e que não haviam situações de referência por se tratar de uma unidade completamente nova (incluindo novos operadores). Uma nova tentativa explicando o conceito de situações de referência e importância da antecipação de algumas informações foi feita, porém sem sucesso.

Para a reunião a equipe de ergonomia foi representada pelo engenheiro responsável pelas atividades de projeto (autor desta pesquisa) e o analista da área de saúde. A empreiteira responsável pela execução e implementação do projeto foi representada por dois engenheiros. A unidade IE possuía um representante, engenheiro de processos, com a função de gestor do projeto e que, juntamente com os representantes da empreiteira, participava de todas as reuniões do *Design Review* ao longo da semana. No mesmo período da equipe de ergonomia estavam presentes um técnico de segurança representando a gerência de SMS (porém, deslocado temporariamente para a gerência de EM), um operador (também deslocado para a EM) e um técnico de manutenção da MI (gerência de Manutenção Industrial).

A reunião ocorreu nas instalações administrativas da IE, que possuía acesso independente da refinaria e controle próprio. A sala dedicada para os “reviews” havia sido projetada especialmente para este fim e tinha recursos de visualização estereoscópica, sendo conhecida como Sala de Realidade Virtual (SRV).

No início da reunião a empreiteira apresentou o escopo que seria tratado, retomou os pontos principais do *review* de 30%, os avanços das obras no campo (canteiro) e o cronograma geral do projeto. A partir disto teve início a revisão do projeto a partir da visualização da modelagem tridimensional em PDMS (*Plant Design Management System* – sistema integrado baseado em banco de dados com interface gráfica tridimensional desenvolvida pela empresa AVEVA e bastante utilizado por empresas do setor petroquímico e químico, energético e de mineração).

Durante a reunião não havia uma organização sobre qual disciplina (ergonomia, segurança, processos ou manutenção, por exemplo) teria preferência ou se haveria alguma sequência a ser respeitada entre as mesmas. Assim, em todos os pontos ou partes da planta que eram exibidos na projeção pela empreiteira (que portanto dominava o controle sobre a visualização) os diversos participantes poderiam apontar problemas que percebessem ou solicitar mais informações para compreensão do projeto.

Estima-se que, em quatro horas de *Design Review*, mais de 50 situações foram destacadas e/ou avaliadas pela equipe de ergonomia, sendo que cerca de 30 situações de trabalho foram alteradas com o objetivo de reduzir carga de trabalho, evitar posturas extremas, facilitar visualização do processo e reduzir risco de acidentes. As principais alterações foram das seguintes naturezas:

- Alteração de altura de controles, manejos e válvulas;
- Alteração de posição (rotação) de válvulas;
- Mudança de posição de escadas;
- Alteração de plataformas;
- Mudança de posição de painéis de controle.

Para cada uma destas situações eram discutidas, em especial com o representante da operação e da manutenção, a frequência de uso daquele espaço e instrumentos, se a operação seria de rotina ou em situações críticas (emergências,

por exemplo), riscos presentes para a produção e para o trabalhador, importância para o processo, necessidade de obter ou acompanhar informações em outras fontes (por rádio ou visualizando algum painel ou mostrador de equipamento, por exemplo) e as dimensões referentes ao espaço de trabalho (altura do volante ou largura do corredor considerando presença de equipamentos ou válvulas, por exemplo).

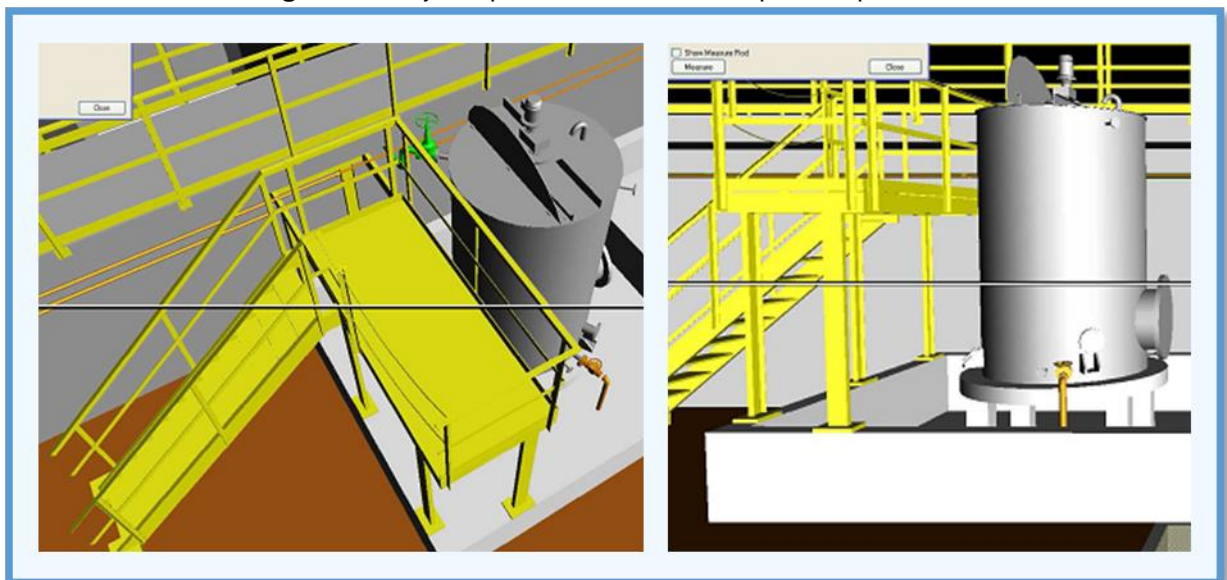
Porém, assim como em outras reuniões de *Design Review*, algumas situações não podiam ser “resolvidas” em poucos minutos e apenas com “as ferramentas em mãos”, como dados antropométricos, normas técnicas e manuais de ergonomia para projeto de instalações de processo contínuo. Até mesmo a possibilidade de criar situações de simulação em tempo real, com objetos intermediários simplificados, de forma a permitir a participação e confrontação entre os diferentes representantes das áreas envolvidas dificilmente obteria soluções satisfatórias para situações de maior complexidade ou que exigem um levantamento, compreensão e um processo de concepção mais elaborado. Assim, apesar da equipe de ergonomia possuir diversas informações e conhecimento de situações de referência (pela experiência de outras demandas realizadas na refinaria) fazia-se necessário negociar para que alguns pontos levantados fossem desenvolvidos externamente e retomados posteriormente.

É importante salientar que tais negociações nunca eram simples, devido principalmente à pressão feita pelas empreiteiras sobre o gestor do projeto pois consideravam a aceitação de deixar um ponto “em aberto” poderia impactar diretamente as questões de cronograma e orçamento. Por outro lado, os representantes das disciplinas afirmavam que as questões eram importantes e o momento de modificação era aquele, sendo que a não incorporação ou análise detalhada de um ponto identificado traria problemas e consequências maiores se fossem ignorados. Assim, sobre o gestor do projeto recaía a decisão de manter um ponto em aberto para tentar melhorar ou sanar uma inadequação ou fechar a discussão naquela reunião de *Design Review*. De qualquer forma, o comportamento das empreiteiras sempre era de aprovar o projeto com o mínimo de alterações possíveis e para isto usavam insistentemente de tais argumentos: tempo e custo para modificações.

Na revisão do projeto da ETDI uma situação chamou mais a atenção da equipe de ergonomia e, como não se tratava de uma simples modificação de altura de válvula ou posicionamento de escada ou painel, esta solicitou que tal situação fosse analisada e resolvida externamente. A negociação para tal desenvolvimento externo foi relativamente prolixa e evidenciou as divergências entre os participantes da reunião. Antes do término da reunião o gestor do projeto teve que decidir sobre qual encaminhamento seria dado para a questão e, após analisar argumentos pró e contra, optando por manter a situação aberta para desenvolvimento externo (definindo um prazo máximo duas semanas para fechamento da situação).

A situação que gerou a demanda consistia em uma plataforma para abastecimento de ácido cítrico em um tanque. O ácido em pó é recebido em sacos de 25 kg e deve ser despejado no interior do tanque por uma abertura superior (após levantamento da tampa). Os sacos de ácido cítrico estão armazenados sobre um palete que é posicionado sobre a plataforma com auxílio de uma empilhadeira. A Figura 59 ilustra o projeto em PDMS apresentado e discutido durante a reunião de *Design Review* de 60%.

**Figura 59** Projeto apresentado em PDMS pela Empreiteira



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Durante o *Design Review* os aspectos que mais chamaram atenção na situação foram:

- Dificuldade e risco de manuseio da tampa do tanque;

- Manuseio dos sacos de 25 kg, desde levantamento, abertura da embalagem, despejo no tanque e disposição da embalagem;
- Risco de acidente devido ao fechamento do vão da plataforma com corrente (acesso empilhadeira).

Após a reunião de revisão a equipe de ergonomia se concentrou em obter as modelagens em PDMS para fazer as análises sobre a situação proposta e desenvolver uma nova solução conceitual para a situação.

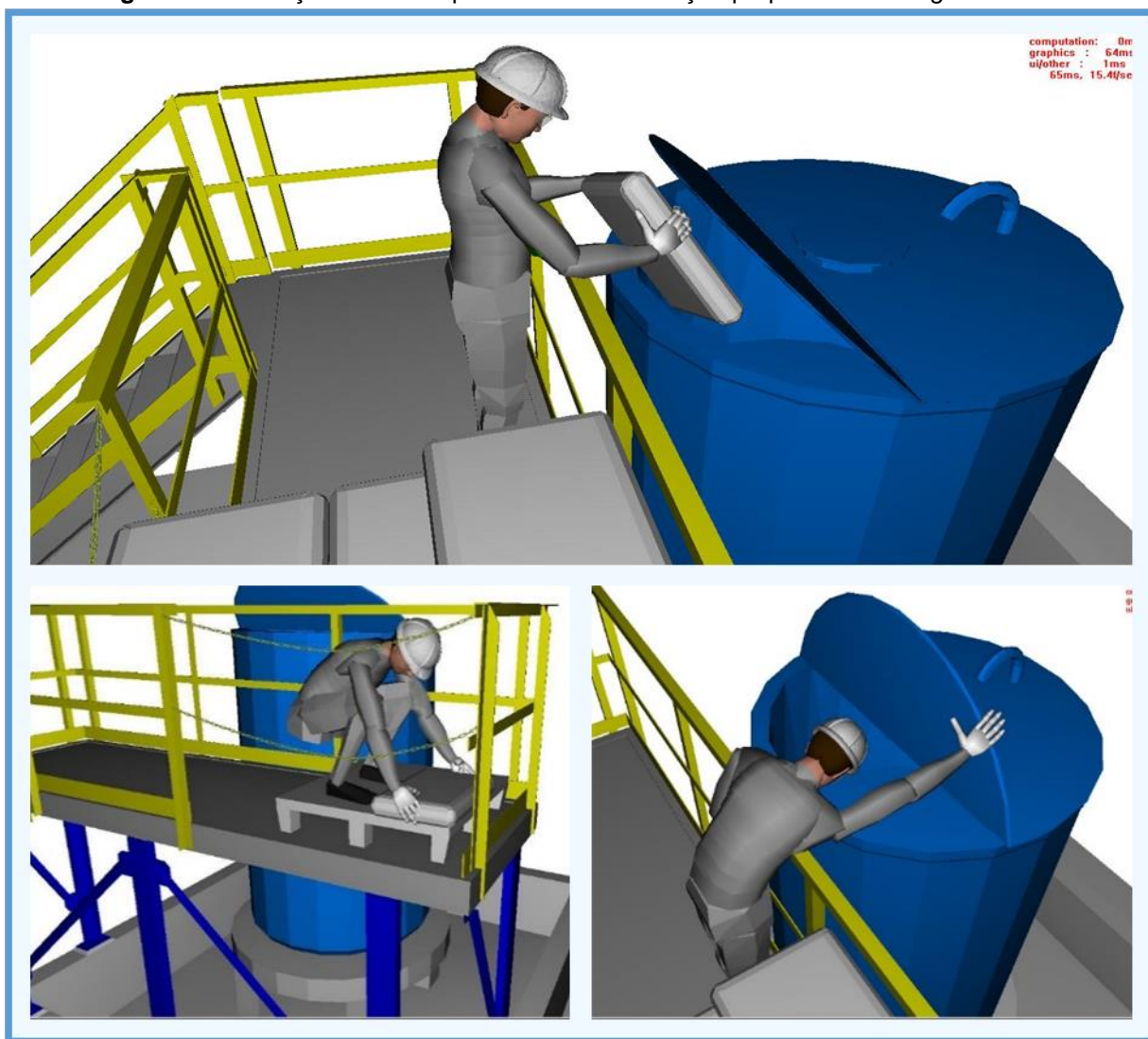
Foram levantadas informações com relação à matéria-prima a ser utilizada no local (internamente com pessoal da EN e, externamente, com possíveis fornecedores), visitas aos locais com atividades de características semelhantes (silo de cal da ETDI atual e abastecimento de polieletrólito na Estação de Tratamento de Água - ETA) e interação com operadores da ETDI atual.

Para as análises foi utilizado o software Jack e criadas simulações para manequins masculinos percentil 05 e 95. As análises a partir das simulações, ilustradas na Figura 60, evidenciaram:

- Presença de riscos posturais;
- Problemas com manuseio de sacos de matéria-prima;
- Risco de quedas do operador e de matéria-prima (inclusive risco para passantes); e,
- Insegurança na manobra de abastecimento (queda do saco de papel dentro do tanque ou perda de material durante abertura e manuseio).

O diagnóstico apontou que a plataforma projetada apresentava inadequações para a operação e segurança dos operadores, podendo resultar em queda deste em altura superior a 2 metros (principalmente devido à fragilidade do isolamento com corrente), posições extremas para abrir tanque (podendo inclusive levar o operador à subir no guarda-corpo para realizar a operação) e carregamento e manuseio de matéria-prima em posturas com alto risco de lesão (manuseio de sacos de 25 kg localizados na altura do piso).

**Figura 60** Simulações humana para análise da situação proposta em *Design Review*



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### 4.4.2. Desenvolvimento de projeto conceitual

A partir da interação com operadores das situações de referência (ETDI atual) considerou-se que a melhor alternativa para a situação referida era a adoção de matéria-prima em estado líquido, com abastecimento via caminhão-tanque e mangote conectado ao tanque.

Outras soluções que envolviam equipamentos que realizavam o transporte do material em pó do nível do solo até a parte superior do tanque também foram apontados pelos operadores e possuíam preferência em relação a situação prevista no projeto, que envolviam sacos de 25 kg elevados até a plataforma via empilhadeira e posterior manuseio por parte do operador.

Tal previsão, inclusive, era motivo de grande preocupação por parte dos operadores da ETDI existente. Segundo eles era comum na área de processo situações análogas onde estava previsto o abastecimento de matéria-prima com uso de empilhadeiras, mas por diversos motivos (incluindo restrição física para chegada e manobras deste veículos ou ainda disponibilidade) eles não eram utilizados e o transporte ocorria de forma manual.

No entanto, considerando o estado de avanço do projeto (*Design Review* de 60% concluído) as decisões de ordem tecnológica e seleção de equipamentos estavam definidas e dificilmente algo poderia ser feito no sentido das alternativas propostas pelos operadores (ou mesmo pela equipe de ergonomia).

Assim, na impossibilidade da adoção das soluções anteriores, recomendou-se a adoção de algumas alterações no projeto, e, principalmente, a garantia da existência e operação da empilhadeira no local, evitando desta forma a movimentação manual de carga em trajetos longos e incluindo escadas.

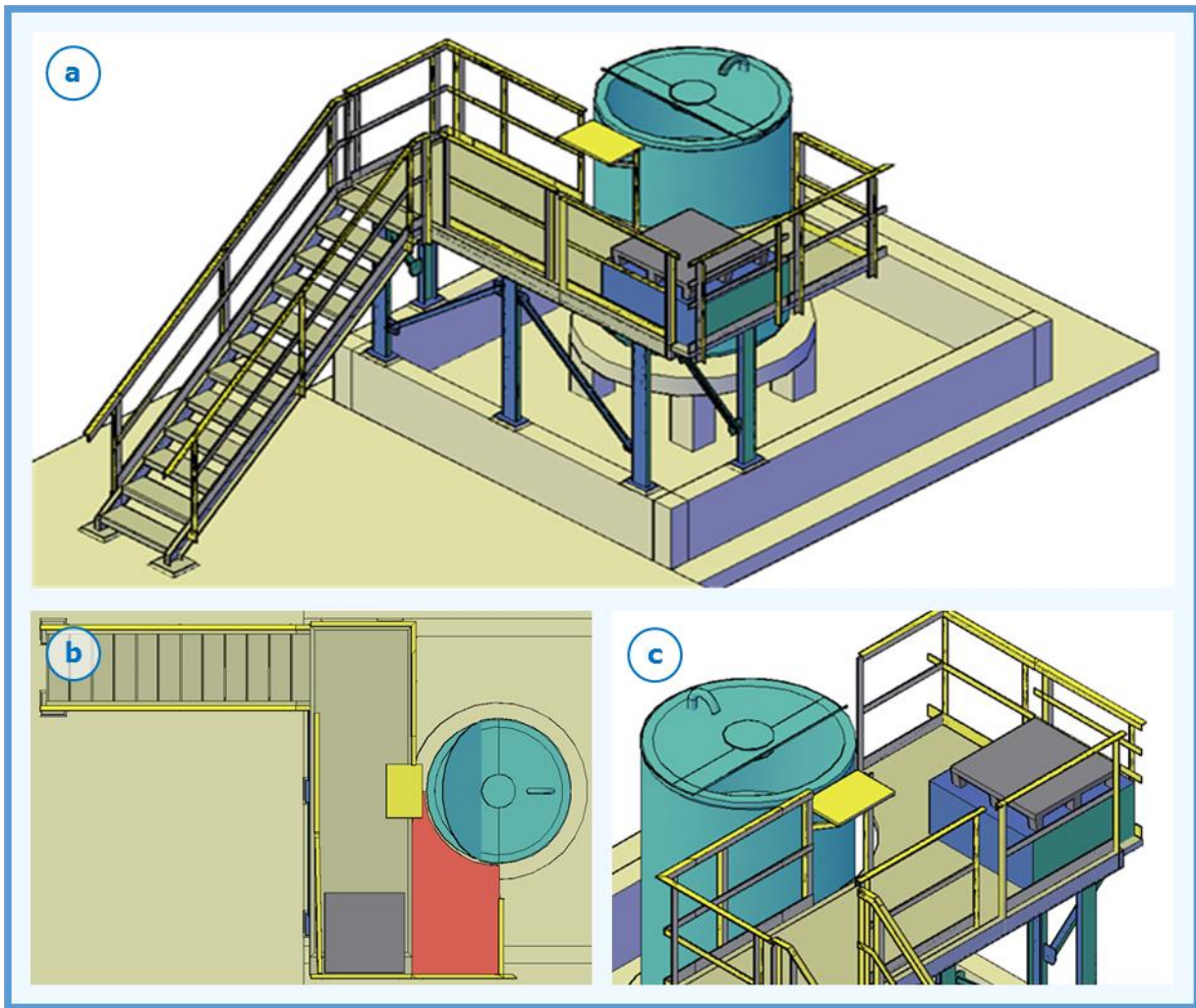
As seguintes alterações/melhorias foram sugeridas no projeto conceitual desenvolvido pela engenharia da IE e empreiteira:

- Elevação em 50 cm na base que receberá pallet com matéria-prima;
- Criação de base para manuseio de saco de ácido cítrico junto ao tanque, facilitando abertura e despejo do mesmo;
- Ampliação da plataforma para acesso a lateral do tanque, facilitando sua abertura e permitindo acesso à uma segunda lateral do pallet;
- Adoção de guarda-corpo com sistema de abertura e travamento para recebimento de matéria prima, diminuindo o risco de quedado operador e de matéria-prima;
- Negociação ou busca de fornecedores visando a diminuição do peso dos sacos de 25 kg para 15 kg ou, preferencialmente, peso inferior à este que facilitasse a operação de abastecimento (isto é, considerar a quantidade necessária ou recomendada pelo processo para definir o peso; exemplo: se o processo demandar 25kg por tempo determinado adotar embalagens de 12,5 kg).

O projeto conceitual proposto pela equipe de ergonomia pode ser visualizado na Figura 61. A partir da construção de uma nova proposta foram realizadas uma série extensa de simulações que consideraram novamente manequins com percentis 05 e 95, ambos masculinos, para as seguintes situações de ações características:

- Abertura da tampa do tanque para despejo de matéria-prima: esta operação poderá ser realizada pela lateral, possibilitando uma melhor postura por parte do operador;
- Carregamento de sacos – Pallet cheio: a altura do saco mais alto estará em torno de 1,60 metros do piso da plataforma;
- Movimentação de sacos: a distância do pallet até a base de manuseio é cerca de 70 cm, estando essa base em uma altura de 90 cm com relação ao piso. O operador pode escolher entre as duas laterais para pegar a matéria-prima;
- Abastecimento do tanque: a base próxima ao tanque permite ao operador a estabilização do saco, processo de abertura e o despejo do produto com maior segurança e conforto, minimizando risco de incidentes. A base possui todos os cantos arredondados (sem cantos-vivos) evitando acidentes com o operador e com os sacos de matéria-prima;
- Carregamento de sacos – Pallet vazio: a altura do saco mais baixo estará em torno de 0,60 metro do piso da plataforma;
- Abertura da plataforma para recebimento de matéria-prima: Nas duas situações (aberta e fechada) deverá ser possível o travamento sem necessidade de postura extrema ou indesejável.



**Figura 61** Modelagem em CAD 3D da Plataforma de Abastecimento proposta

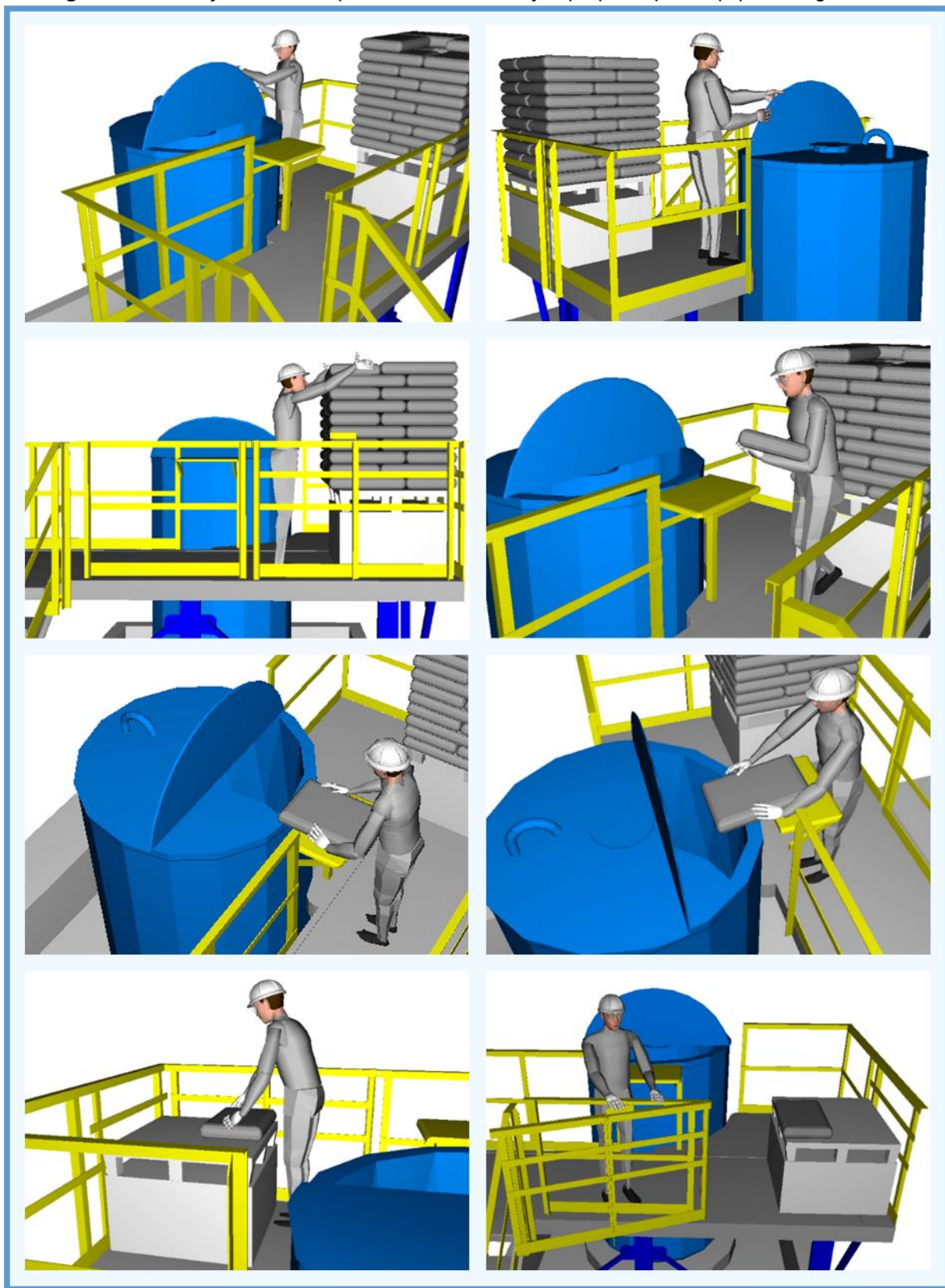
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Nota:** Em (a) vista global em perspectiva da plataforma proposta. Em (b) vista de topo com a área ampliada em vermelho. Em (c) outra vista em perspectiva das mudanças propostas.

As simulações puderam ser apresentadas aos operadores da situação de referência, ao coordenador de higiene ocupacional da refinaria e ao técnico de segurança da EM que acompanhou o *Design Review* da nova ETDI. O projeto foi validado (Figura 62) e enviado para o gestor do projeto da IE para dar prosseguimento ao detalhamento junto à empreiteira.

Durante as validações, com o apoio das simulações, o único ponto levantado com sugestão de alteração ocorreu por parte do técnico de segurança que apontou a possibilidade dos sacos de ácido cítrico caírem da plataforma, podendo atingir algum transeunte da área e/ou perda de matéria-prima.

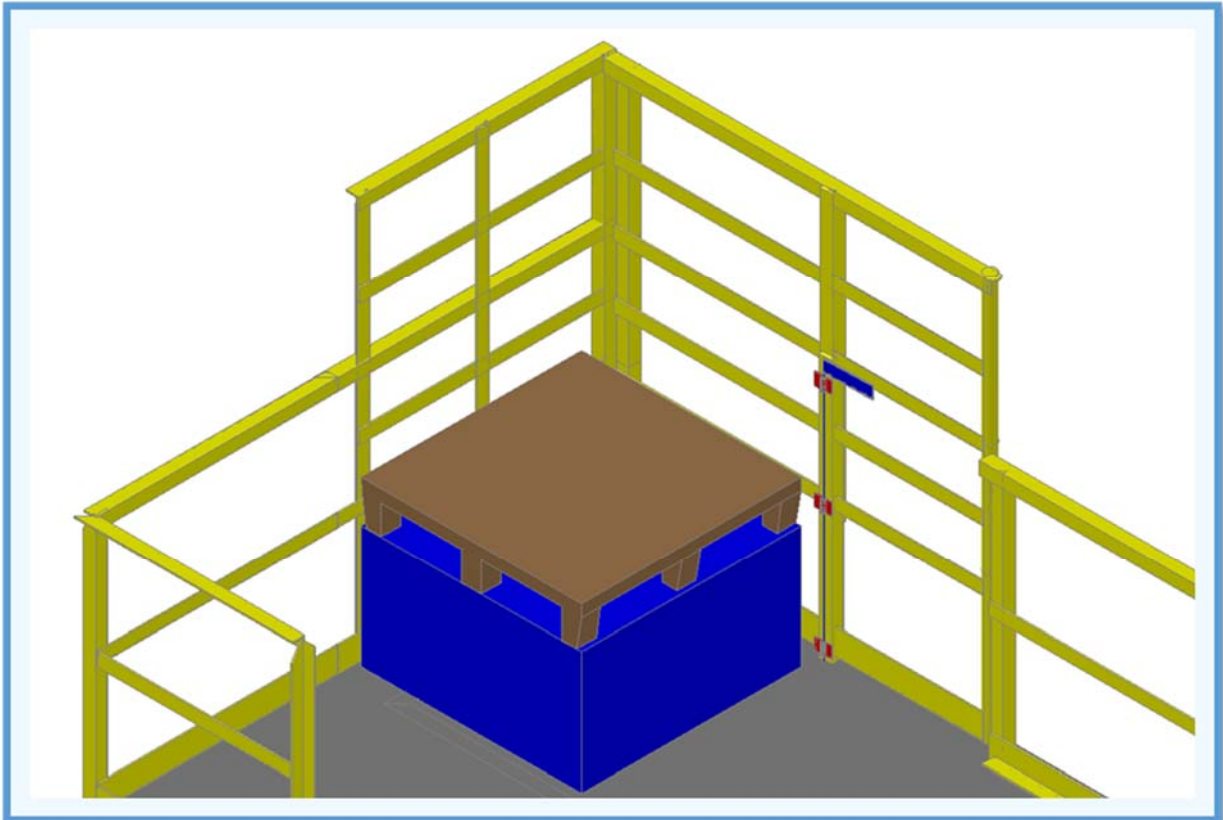
Figura 62 Simulações humanas para análise da situação proposta pela equipe de ergonomia



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para abrandar este risco foi proposta a seguinte alteração de projeto: aumento da altura do guarda-corpo visando a segurança de passantes e da matéria-prima por meio da elevação do guarda-corpo até a altura máxima do pallet com sacos de matéria-prima (cerca de 1,60 metros) somente nas laterais em contato com os mesmo – ver Figura 63.

**Figura 63** Alteração proposta com suporte das simulações realizadas

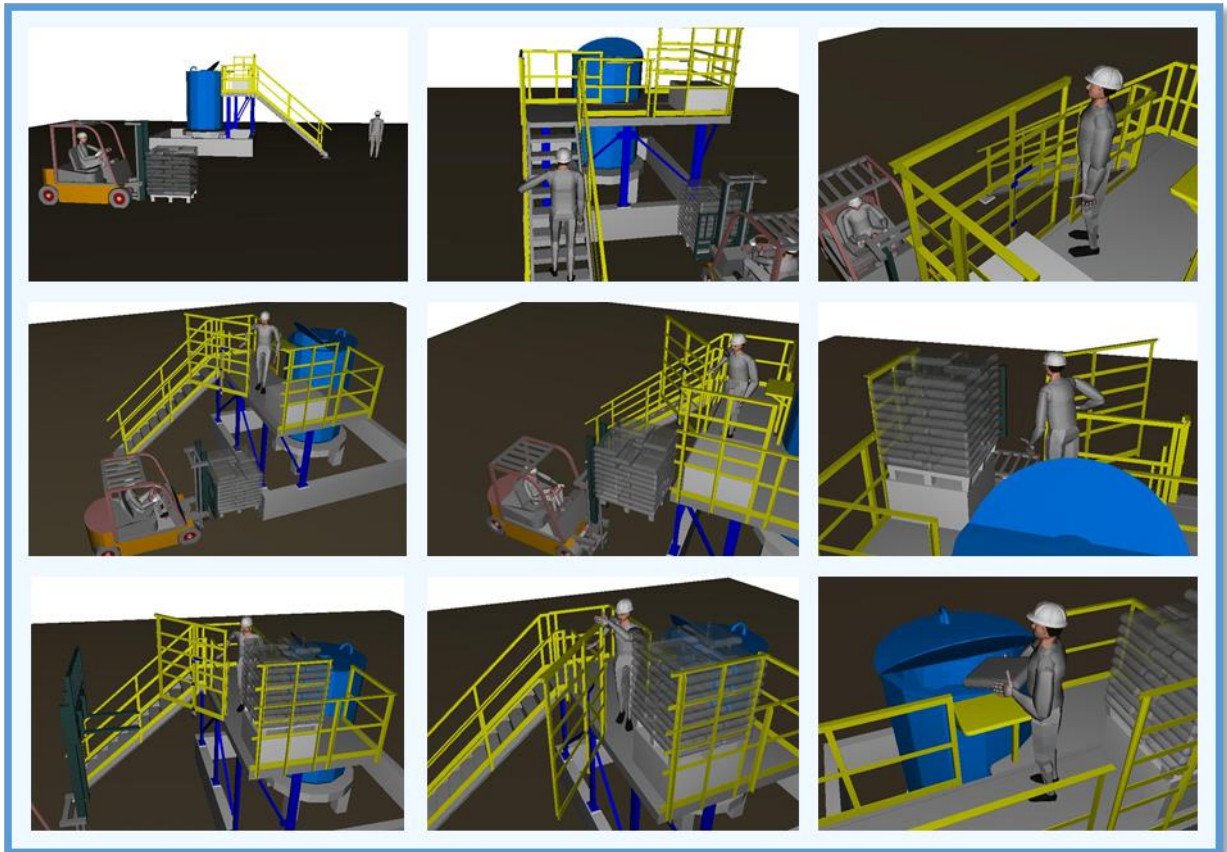


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para a conclusão do projeto foi desenvolvida ainda uma simulação dinâmica para validação do processo completo envolvendo a plataforma em projeto. A simulação foi criada com o software Jack e possuiu como elementos novos na modelagem a presença de empilhadeira com motorista e o guarda-corpo modificado. A Figura 64 apresenta um *storyboard* da animação gerada.

Após a conclusão do projeto conceitual em torno da plataforma de abastecimento de ácido cítrico do nova ETDI a equipe de ergonomia não obteve retorno ou informações detalhadas sobre a continuidade do projeto, apenas que as alterações propostas foram aceitas e encaminhadas para implantação.

**Figura 64** Storyboard de simulação dinâmica com suporte do software Jack



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4.3. Considerações acerca dos suportes de simulação utilizados

A introdução do presente caso destacou sua especificidade por se tratar de uma demanda de ergonomia de concepção. Tal característica foi determinante para a dinâmica de utilização dos suportes de simulação.

A princípio, um dos pontos que pode-se destacar é a utilização da simulação desde as etapas iniciais de análise, visto a inexistência de um ambiente ou posto de trabalho real para ser analisado.

O ambiente projetado e utilizado para as reuniões de *Design Review* também confirma tal perspectiva da importância em visualizar e antecipar as questões referentes aos projetos antes que estes sejam construídos fisicamente. Neste ambiente, conhecido como sala de Realidade Virtual, hardware e software foram pensados para permitir uma imersão dos participantes dentro do espaço em projeto.

Porém, foi possível constatar que a utilização prática destes recursos acaba por ser limitada. Um exemplo é a não utilização de projeções estereoscópicas

e do software *Walkinside*<sup>33</sup> no caso apresentado. Tais recursos estavam disponíveis e não foram empregados possivelmente pela necessidade de esforço adicional por parte da empreiteira (que prepara e controla a apresentação de documentos e maquetes eletrônicas) e pela não exigência por parte do gestor do projeto.

A principal diferença entre a visualização do *Walkinside* para a visualização direta em PDMS é a facilidade de compreensão e imersão que o primeiro fornece, principalmente para profissionais não habituados com ferramentas de projeto como CAD. Assim a opção unicamente pelo PDMS pode ser entendida como algo que não prejudica a participação do gestor do projeto (engenheiro de processos) e facilita a preparação da empreiteira para o *Design Review*. Em última instância, pode-se afirmar que assegura aos engenheiros um maior controle da atividade de projeto.

Neste sentido, outro ponto importante a ser destacado é o fato de que na modelagem desenvolvida em PDMS para a demanda analisada não estavam presentes diversos elementos como o operador, palete, sacos de ácido cítrico e as interações entre estes e outros elementos do sistema. Tal simplificação não colabora para a incorporação da perspectiva da atividade, pois demanda um esforço maior de abstração para “completar” o cenário e discutir a atividade futura possível.

No entanto, mesmo com tais limitações, uma série de alterações foi possível pela discussão e participação da equipe de ergonomia com as outras especialidades presentes nesta situação de simulação. Quando estas limitações foram consideradas críticas, seja por falta de detalhamento, busca de informações externas ou pela necessidade de um tempo maior de análise e desenvolvimento das soluções, a opção negociada foi desenvolver as análises e projeto com uso de outros suportes de simulação fora das reuniões de *Design Review*, mantendo o processo de concepção da situação em aberto.

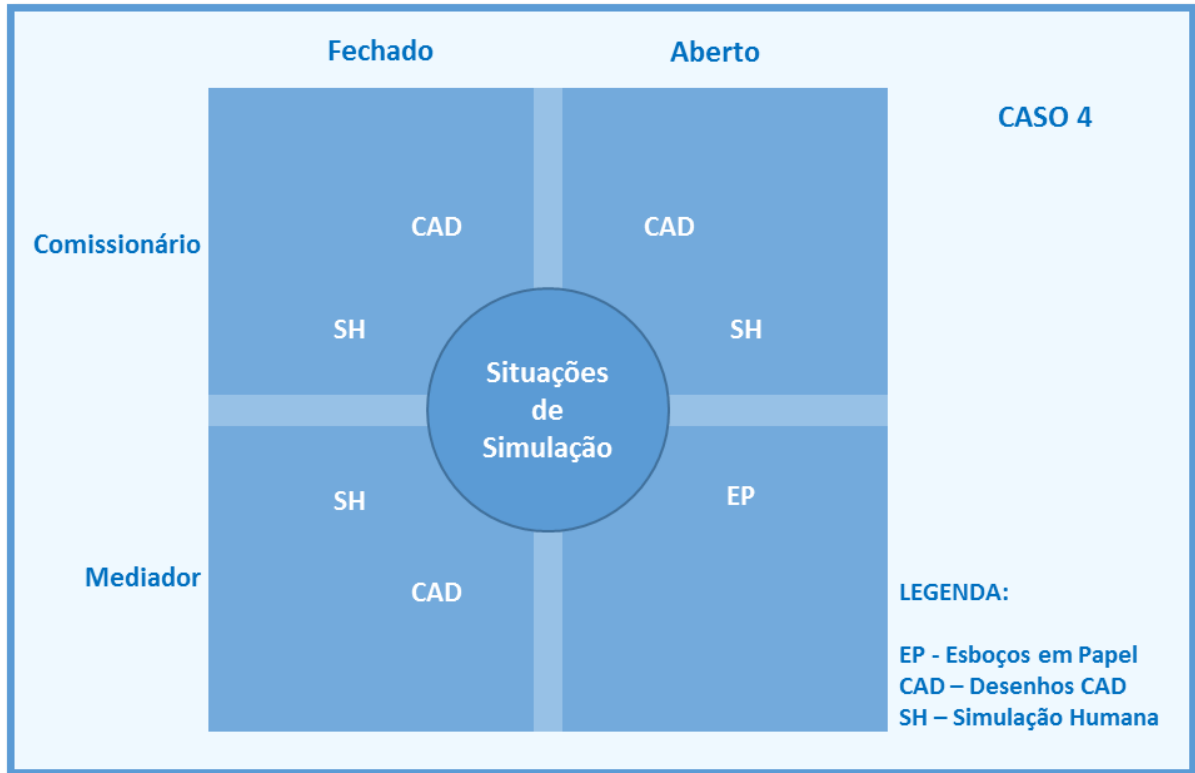
Novamente, todos os suportes utilizados no Caso 4 foram classificados conforme os eixos Comissionário-Mediador e Fechado-Aberto (JEANTET et al., 1996).

---

<sup>33</sup> Ferramenta computacional para solução de Realidade Virtual que permite a importação de Modelos 3D (Maquete Eletrônica de Engenharia), proveniente de diversas ferramentas CAD que tem por finalidade prover suporte as áreas de Engenharia, Suporte a Operação, Manutenção, Segurança, Treinamento de Operadores, entre outras.

A Figura 65 contém as classificações propostas nos quatro posicionamentos que orientam a função e o objetivo dos objetos intermediários de concepção.

**Figura 65** Análise do uso de suportes de simulação para o Caso 4



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Neste caso, o principal suporte escolhido foi a modelagem e simulação humana (SH), tendo esta propiciado objetos intermediários dos tipos: comissionário-fechado, comissionário-aberto e mediador-fechado. Tal escolha foi orientada pela necessidade de simular considerando a modelagem antropométrica dos manequins digitais e as várias SACs identificadas, observadas e analisadas nas situações de referência.

#### 4.5. Considerações acerca dos Casos apresentados

Nos casos selecionados observou-se diferentes suportes de simulação que atuaram de forma articulada ao longo dos processos de projeto e contribuíram de forma a incorporar a atividade analisada e desenvolver a atividade futura. Os suportes também foram determinantes ao considerar e permitir que as questões técnicas dos diversos contextos abordados ficassem cristalizadas nas soluções desenvolvidas. Por

fim, os suportes atuaram como objetos intermediários ao permitir uma ação projetual participativa e coordenada.

Busca-se desta forma não apenas o idealizado e desejável por cada uma das lógicas envolvidas no processo de projeto, mas também transparecer a viabilidade, as características e limitações técnicas dos elementos envolvidos na solução e do processo de projeto em si.

As dinâmicas de uso e desenvolvimento das situações de simulação também puderam ficar evidenciadas em cada demanda. Situações onde um determinado suporte fazia-se imprescindível (protótipo físico, por exemplo dos Casos 2 e 3) contrapôs-se à situações onde as opções disponíveis permitiu a equipe julgar a(s) mais adequada(s) para o contexto (escolha entre uso da simulação humana e da *Game Engine*, como ocorrido no Caso 1).

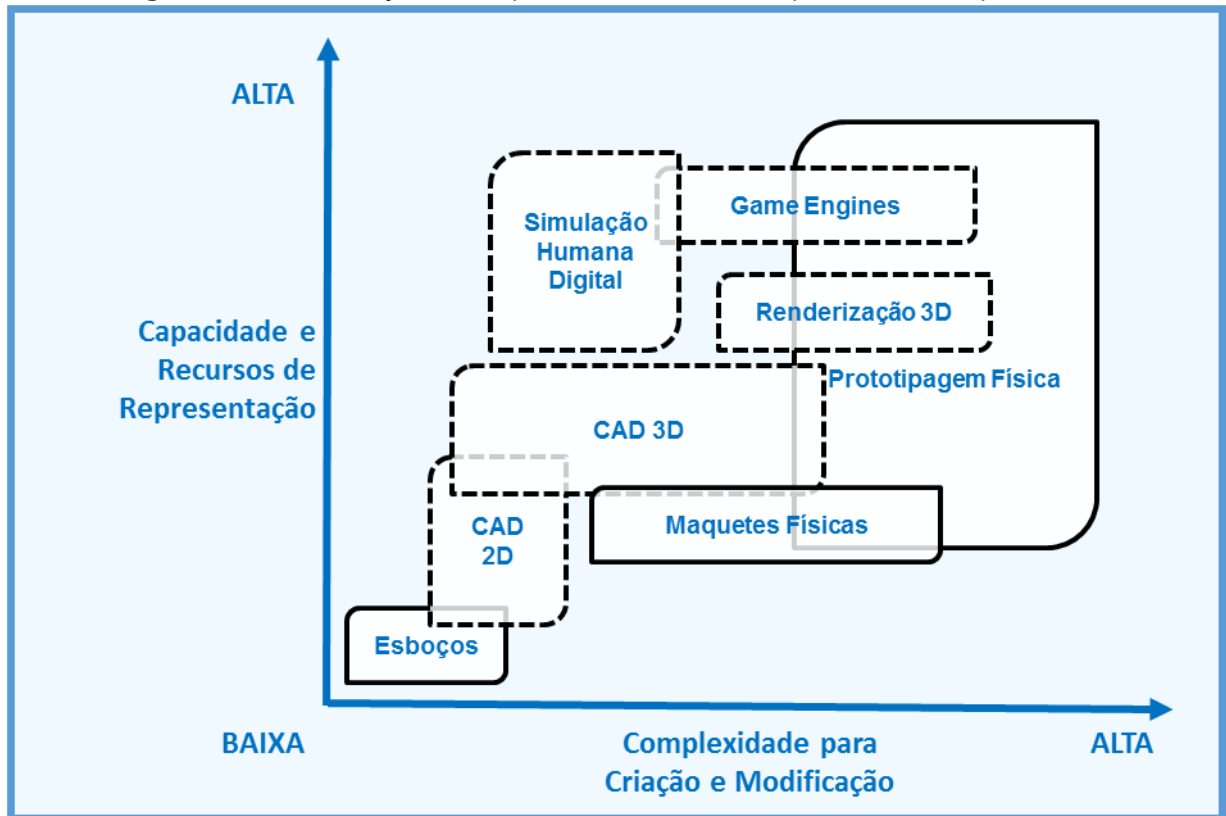
Da mesma forma, pode-se perceber que existem situações onde as constatações negativas podem ser rapidamente abordadas e re-projetadas com o auxílio dos suportes utilizados; em outros casos, existe a necessidade clara de encerrar a situação de simulação criada para que novas análises e desenvolvimentos possam culminar em novos cenários (evolutivos) e, com o uso dos suportes adequados, criar uma nova situação de simulação.

Neste sentido, é interessante que os participantes dos processos de concepção tenham à disposição não uma, mas uma série de suportes de simulação que atuem como objetos intermediários em suas diferentes posturas e formas de expressão. Assim, pode-se definir qual ou quais usar conforme o contexto, participantes, objeto a ser projetado, recursos disponíveis e complexidade em torno da situação.

Para apoiar esta decisão é necessário avaliar, além destes critérios, aspectos inerentes às ferramentas. Béguin (2007) destaca que os diferentes suportes não possuem as mesmas vantagens e nem as mesmas restrições. Em especial, destaca-se inicialmente duas variáveis: capacidade e recursos para modelar e representar o objeto a ser projetado; e, complexidade para a criação e modificação dos objetos intermediários (em termos de domínio técnico necessário, necessidade de software e hardware, tempo necessário para desenvolvimento, impacto sobre o

sistema real e custo financeiro). A Figura 66 apresenta um esquema, concebido a partir das situações vivenciadas em campo, com estas variáveis compondo os eixos e posicionando os suportes de simulação apresentados nesta pesquisa.

**Figura 66** Caracterização dos suportes em termos de capacidade e complexidade



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

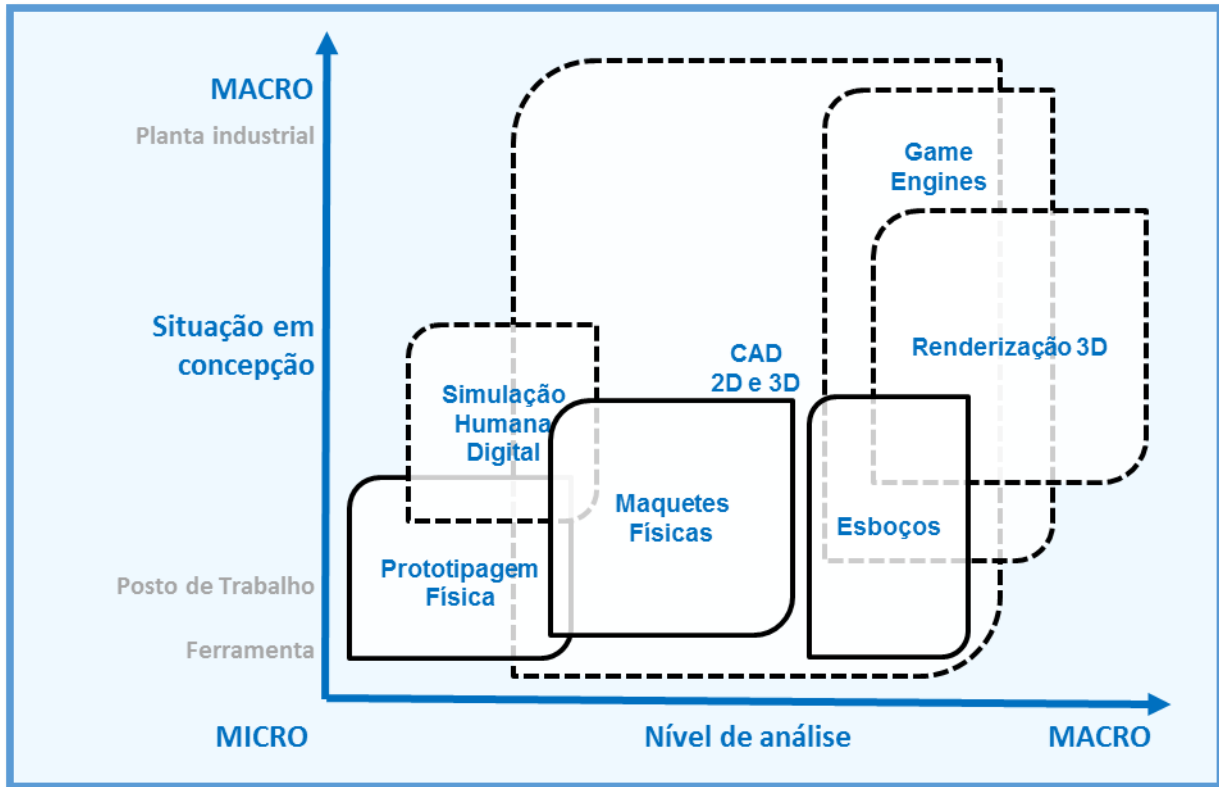
A posição de cada suporte com relação aos dois eixos reflete uma situação específica (da pesquisa de campo) e sofre variações ao longo do tempo devido à algumas razões, principalmente devido à evolução tecnológica (são exemplos o lançamento de novos software e hardware e a popularização e avanço de impressoras 3D) e à disponibilidade de profissionais competentes (com habilidades, conhecimentos e experiência no uso dos objetos).

Outra caracterização possível destes suportes se faz em relação ao objeto em concepção e o nível da análise desejada. Assim, o projeto de uma planta industrial pressupõe o uso de suportes diferentes do que a concepção de uma ferramenta de trabalho ou uma estação de trabalho. No outro eixo, as análises e reflexões também podem ser mais detalhadas, procurando-se entender campo de visão e posturas dos trabalhadores nas situações futuras, por exemplo, ou, uma compreensão macro dos usos dos espaços ou impacto sobre áreas existentes. A



Figura 67 apresenta esta caracterização com base na prática desenvolvida nesta pesquisa, sendo, portanto, uma caracterização de um momento específico.

**Figura 67** Caracterização dos suportes em termos de amplitude e nível de análise



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Tais caracterizações, apesar de serem específicas, auxiliam na compreensão dos suportes de simulação enquanto objetos intermediários em processos de concepção.

Destaca-se também que a estrutura definida para a apresentação dos casos possibilitou correlacionar a AET com a etapa de projeto e, desta forma, evidenciar forma e função dos suportes de simulação, tanto para a análise quanto ao longo da concepção.

As reflexões pontuais de cada caso orientam as discussões dos próximos capítulos e permitem uma exploração mais aprofundada para uma caracterização dos objetos intermediários de concepção dentro de uma articulação das disciplinas de ergonomia e do projeto do trabalho.

## 5 CONTRIBUIÇÕES DOS SUPORTES DE SIMULAÇÃO

O problema de pesquisa apontado na introdução deste trabalho questiona como a simulação pode ser um elemento intermediador para o desenvolvimento e incorporação da atividade nos processos de projeto de situações produtivas.

A pesquisa de campo abordada na presente tese teve como característica fundamental: (i) a **pluralidade de situações e demandas** que necessitaram de intervenção; assim, os objetos de estudos variaram desde a análise de um equipamento (ferramental) com função específica até o auxílio em reuniões de *Design Review* para implementação de novas áreas de produção na refinaria; outro aspecto fundamental foi (ii) a **multiplicidade dos atores** envolvidos em cada situação, isto é, para cada demanda formava-se um grupo de trabalho distinto e com grande possibilidade de ser alterado ao longo do processo de análise, projeto e intervenção; tais participantes, na maioria das vezes, desconheciam a atuação e papel da equipe de ergonomia na refinaria, em especial, questionando a capacidade desta em participar dos processos de concepção; por fim, pode-se citar (iii) a diversidade das **dimensões política, técnica e social** de cada situação, sendo cada uma elemento estruturante das demandas, como por exemplo, as situações nas quais as gerências se envolviam e davam apoio explícito para que os desenvolvimentos tivessem retorno muito mais claro e rápido do que situações nas quais a gerência não se aproximava ou não atuava no sentido de facilitar as análises e projetos dos grupos de trabalho.

Propõem-se desta forma a utilização dos suportes de simulação como elemento que auxilia na estruturação de tal diversidade de intervenções e, para compreender como tais articulações são possíveis, o presente capítulo apresenta uma síntese das contribuições dos suportes de simulação utilizados no presente estudo e inclui outros não abordados, mas que possuem relevância comprovada pela bibliografia consultada e pela experiência do grupo de pesquisa no qual o autor da pesquisa está inserido.

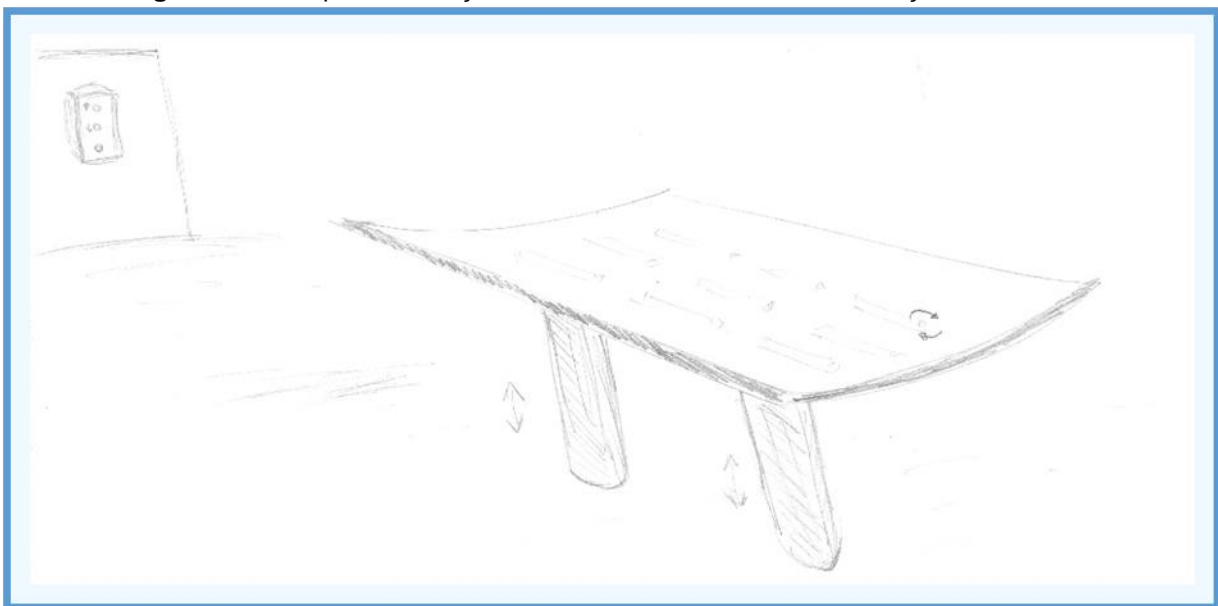
## 5.1. Esboços em papel

Considerado pelas escolas projetivas como ponto de partida da concepção ao permitir a transformação de um processo mental em uma linguagem gráfica (FONTES, 2011) os esboços (ou croquis) tem papel fundamental como suporte de troca simultânea entre participantes dos processos de projeto. Para Béguin e Weill-Fassina (2002) o espaço em papel, que permite anotações rápidas e a participação ampla dos atores, permanece sendo um suporte importante mesmo na era da informática e de dispositivos digitais.

Assim, o estímulo ao uso do papel para esboços pode tornar o processo dialógico mais democrático e responsivo, trazendo um dinamismo para as trocas, isto é, diminuindo a dependência de processos mais longos e complexos de construção da representação gráfica em formatos que demandem o domínio prévio de uma ferramenta (CAD ou simulação humana, por exemplo).

A Figura 68 ilustra um esboço realizado durante uma reunião que discutia conceitos iniciais para uma solução (a demanda em questão era um dispositivo que auxiliasse no hidro jateamento para limpeza e manutenção de permutadores de calor).

**Figura 68** Exemplo de esboço usado em discussão inicial de solução conceitual



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Tal suporte, infelizmente, muitas vezes é negligenciado e esquecido durante os processos de concepção, não ficando inclusive registrado para a memória do projeto. Porém, sua temporalidade, visto que, na maioria das vezes possui uma atuação curta, sendo os esboços substituídos rapidamente por outros esboços e por outros suportes, não pode ser confundida com sua importância para expressar e representar as construções mentais dos envolvidos.

## **5.2. Desenhos CAD 2D e 3D**

Os desenhos realizados com suporte computacional, em especial com as ferramentas CAD, possuem inúmeras contribuições para o desenvolvimento técnico das soluções de engenharia e ergonomia. A precisão obtida e a possibilidade de agregar informações, vistas e a terceira dimensão aos projetos os tornaram obrigatórios nos escritórios de engenharia e arquitetura.

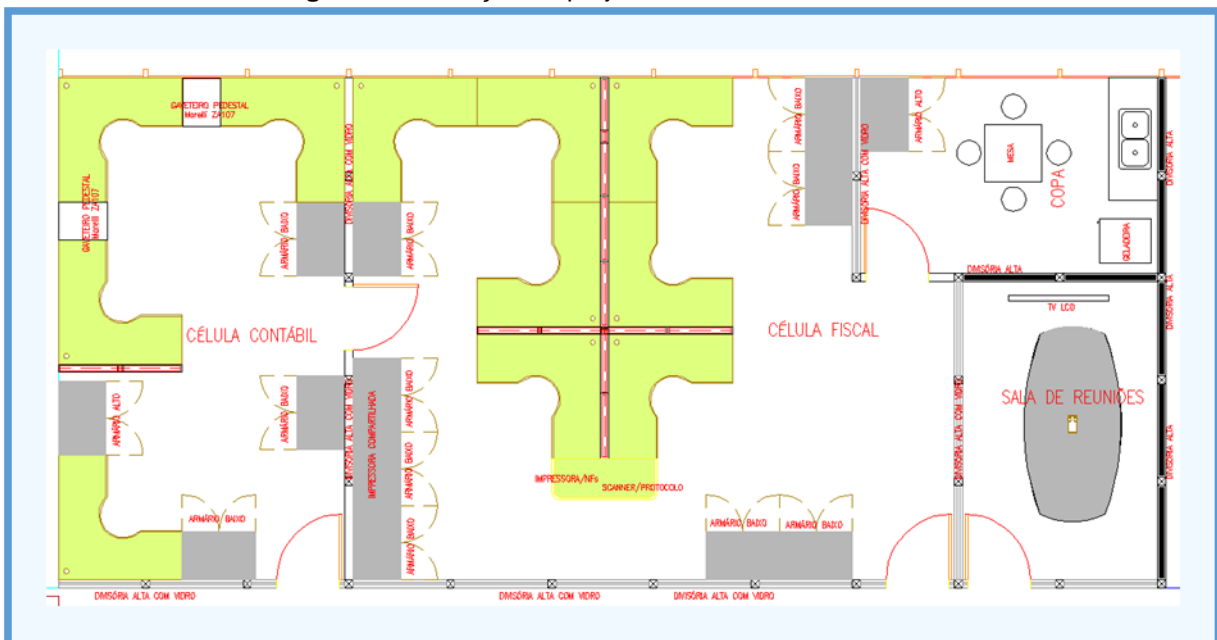
Por possuir um forte caráter técnico (altamente especializado) o uso fica restrito aos que dominam a ferramenta em uso, como engenheiros, arquitetos e projetistas. Os desenhos CAD ao mesmo tempo que podem ser considerados como fundamentais para o desenvolvimento do projeto também podem ser responsáveis pelo afastamento e não participação de outros profissionais desta etapa de concepção.

Tal afastamento pode ocorrer em duas etapas críticas: a criação e a compreensão dos desenhos. O afastamento na fase de criação decorre da necessidade de domínio de uma ferramenta que não está inclusa na formação de profissionais técnicos (com poucas exceções), da operação e do dia-a-dia da refinaria. Assim, são poucos que conseguem intervir diretamente sobre a criação de desenhos CAD. A outra limitação está no fato dos desenhos técnicos utilizarem formas, códigos, símbolos, entre outros elementos que caracterizam uma linguagem própria de domínio de poucos profissionais novamente. Assim, a compreensão das plantas fica prejudicada pela falta de conhecimento desta linguagem. Ao limitar a compreensão fica evidente que a participação de profissionais não projetistas é impactada diretamente.

Por outro lado, entre as vantagens pode-se destacar que o CAD talvez seja o suporte que melhor possibilita a construção de variadas soluções e alternativas, visto que o software permite que versões sucessivas sejam gravadas em diferentes arquivos digitais de forma a registrar a evolução do projeto.

O domínio por parte da ergonomia pode ser considerado um diferencial desejável, visto que diminui a dependência de engenheiros, projetistas ou desenhistas (conhecidos também como “cadistas”) no suporte para o desenvolvimento de soluções e concepção gráfica do projeto. Outra vantagem explícita que pode ser incorporada pelo fato dos ergonomistas dominarem tal tecnologia é a possibilidade destes tornarem os desenhos CAD “mais amigáveis”. Assim, se a limitação de criar desenhos é mantida para a maioria dos profissionais não projetistas, a segunda limitação (dificuldade de compreensão) pode ser diminuída com a intervenção dos ergonomistas. A Figura 69 ilustra um projeto em CAD realizado pela equipe de ergonomia na refinaria com objetivo de discutir com os futuros usuários do espaço em concepção, com os responsáveis pela implantação (gerência de Engenharia) e gerência responsável pelo investimento (“centro de custo”).

**Figura 69** Ilustração de projeto conceitual em CAD 2D



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Tal intervenção não é simples e demanda antecipar a capacidade de compreensão dos diversos atores do projeto e os elementos que são importantes de serem inseridos ou retirados dos desenhos. Por exemplo, uma série de códigos,

símbolos, cotas, cortes e legendas podem não ser necessárias para discutir o funcionamento de um suporte de corpos de prova em um laboratório. Assim, a retirada (ou não inserção) destes elementos contribui para a compreensão e discussão sobre tal suporte. Por outro lado, é importante que informações relevantes sejam destacadas ou inseridas no desenho, como os materiais que estão previstos para serem usados ou o tamanho que um dispositivo ocupa em relação ao ambiente.

### **5.3. Renderização e Animação 3D**

A renderização e animação tridimensional, assim como as ferramentas CAD, demandam um conhecimento prévio e especializado para que possam ser criadas e serem utilizadas como suportes de simulação. A contribuição que tais peças podem ter em um processo de concepção é permitir detalhar e inserir aspectos realistas em análises e propostas conceituais, de forma a permitir a reflexão e discussão em torno da atividade (analisada ou futura) e de questões técnicas (de operação, por exemplo).

A possibilidade de mesclar imagens reais com propostas em desenvolvimento diminui a necessidade de abstração dos participantes do projeto, visto que insere elementos conhecidos e de fácil identificação. Tal mescla pode ser observada no projeto conceitual da interface do console existente na sala de descoqueamento (caso 3 do capítulo 4). Ao projeto, além da modelagem tridimensional, foram adicionadas imagens reais (recortadas) dos mostradores de tensão do cabo, giro e profundidade da lança além da vista da janela para a área externa de processo. Na Figura 70 é possível observar estas inserções e outras, como iluminação, brilho (observar cilindro no interior do console), sombra e textura (observar piso).

De tal modo, apesar da criação de imagens e animações renderizadas necessitarem de esforço de um especialista, a compreensão do conceito em desenvolvimento pode ser sensivelmente facilitada para permitir a colaboração de todos no projeto.

**Figura 70** Renderização de ambiente virtual criada no software 3DStudioMAX (Autodesk)



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Outra possibilidade que pode contribuir para o desenvolvimento das soluções conceituais são estudos preliminares com inserção de manequins digitais. Tais modelos digitais humanos, apesar de não possuírem detalhamento antropométrico e biomecânico, são úteis para visualizar e antecipar a interação das pessoas com a situação em projeto. Tal suporte permite simulações aproximadas de campo visual, posturas e envelope de alcance. Para simulações mais precisas é necessário utilizar softwares de modelagem e simulação humana, descritos a seguir.

#### **5.4. Modelagem e Simulação Humana Digital**

A modelagem e simulação humana é uma tecnologia com mais de meio século que se desenvolveu com objetivos bastante relacionados com a ergonomia, em especial, com a corrente de fatores humanos. Tais modelos podem ser inseridos

em projetos de dispositivos, ambientes e postos de trabalho, permitindo aos projetistas simular uma grande variedade de tarefas (CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, 2001).

Ao contrário dos softwares de renderização e animação tridimensional, o objetivo não é uma representação “idealista” do ser humano (em termos de visualização, principalmente) e sim uma representação “realista” nos aspectos biomecânicos e antropométricos.

Assim, a principal contribuição desta tecnologia está na interação e compreensão dos modelos digitais humanos em ambientes tridimensionais (desenhados em CAD 3D e importados para os softwares de simulação humana).

Apesar da diversidade de protocolos e análises disponíveis neste tipo de software (NIOSH, RULA, análise de torque e força, entre outros) a principal contribuição que esta tecnologia fornece é a possibilidade de inserir manequins com antropometrias representativas da população em estudo e realizar uma série de antecipações de posturas, deslocamentos, campos visuais, alcances e avaliações de espaços e volumes.

Tal recurso foi utilizado em três dos quatro casos abordados na presente pesquisa e em todas as situações foi possível observar a facilidade de compreensão por parte dos participantes do projeto, incluindo pessoal de operação, manutenção, engenharia, entre outros. Mesmo no Caso 3 onde não foi possível para os operadores visualizarem as simulações em vídeo, apenas impressas, a comunicação foi bastante facilitada pelo suporte dado.

A Figura 71 ilustra o uso deste suporte em uma demanda diferente dos casos apresentados. Nesta situação discutiu-se o uso de um espaço projetado inicialmente para ser uma agência bancária e que foi posteriormente cedido para dois setores distintos de atendimento ao público interno (funcionários terceirizados e prepostos de empresas contratadas).



**Figura 71** Apresentação de projeto conceitual com uso de simulação humana digital

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O uso instrumentado da simulação permitiu, neste caso, incluir na discussão não apenas as questões físicas, mas também questões relacionadas à organização do trabalho. A proposta inicial previa um uso totalmente compartilhado do espaço, o que na prática, poderia gerar uma série de constrangimentos inexistentes na situação existente; tal compreensão foi facilitada e suportada pelas simulações dinâmicas e estáticas produzidas com o uso do software Jack. Uma das situações características que pode ser bem observada (e avaliada) foi a presença dos diversos funcionários dos dois setores e, paralelamente, do público que é atendido de diferentes formas (em pé no balcão, sentado junto à estação de trabalho, à mesa de reunião, para tirar fotografia, entre outros) e, em alguns momentos, gerando picos do fluxo de pessoas.

Destaca-se o papel deste suporte no Caso 4 no qual não havia uma situação física a ser analisada e a modelagem e simulação humana atuou tanto sobre a situação inicial (projeto da engenharia da IE) quanto sobre a proposta desenvolvida para incorporar a perspectiva da atividade.

## 5.5. *Game Engine*

A aplicação de *Game Engine* com objetivos que não o entretenimento tem sido pesquisada em diversas áreas, da quais pode-se destacar a arquitetura, segurança, medicina e turismo.

Responsável atualmente por um faturamento extraordinário, a indústria de jogos eletrônicos se desenvolveu rapidamente nas duas últimas décadas e obteve desempenho ímpar em termos de qualidade gráfica e performance no uso de recursos de hardware e software.

Tais resultados podem ser úteis na criação de situações de simulação com benefícios não alcançados com outras tecnologias, como a possibilidade de interação em tempo real e programação de eventos. Desta forma, é possível criar uma série de rotinas que podem ocorrer ao longo do tempo de forma independente das ações do usuário (*player*) e rotinas que são disparadas por ações indiretas ou diretas (abrir uma porta ao se aproximar ou solicitar a outro manequim que se desloque em determinada direção).

Além destas programações tais softwares se destacam pela ampla biblioteca de objetos disponíveis, extensa comunidade de usuários, integração com softwares de modelagem tridimensional (incluindo CAD) e forte cultura de software livre (ou com permissão ampla de uso para fins não comerciais).

Na presente tese a aplicação desta tecnologia teve como objetivo desenvolver uma linha de pesquisa que aponta para novas possibilidades no campo da engenharia (projeto, especialmente) e ergonomia (interação com ambientes, experiências de uso e comportamentos, entre outras). A Figura 72 apresenta um cenário virtual em *Game Engine* da proposta em CAD 2D (ilustrada anteriormente na Figura 69).

**Figura 72** Cenário virtual utilizando *Game Engine*

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 5.6. Prototipagem Física

A prototipagem física em escala real e de maneira funcional é uma importante ferramenta para discussão e avaliação de propostas conceituais, em especial por permitir análises de ordem física e cognitiva com os futuros usuários e antecipação de inadequações de uso de várias naturezas.

Em termos de acabamento, materiais, funcionalidades e outras características, os protótipos podem variar de algo muito próximo ao que se pretende disponibilizar na prática (projeto final) ou, em fases anteriores do projeto, servir para testar alguns conceitos e possibilidades ainda em aberto – e por esta razão ainda distante da futura especificação técnica a ser criada.

Em ambas as situações extremas a prototipagem é fundamental no processo de desenvolvimento e validação, pois permite um contato físico com um modelo tangível e, frequentemente, a inserção do projeto no ambiente real onde será implementado.

Sua implementação, mesmo que por períodos curtos, normalmente induz o interesse e a participação de outros atores no processo de projeto, que veem no protótipo uma maneira de participar e expor suas opiniões e considerações.

Nos resultados apresentados nesta pesquisa as principais contribuições percebidas pelo uso de protótipos foram observadas nos Casos 2 e 3 (Suporte para corpos de prova no Laboratório de Ultrassom e Console de Operação em Sala de Descoqueamento, respectivamente).

No Caso 2 os protótipos foram fundamentais ao rapidamente tornarem visíveis erros no projeto devido à não consideração de um aspecto fundamental do corpo de prova: o cordão de solda. Assim, apenas quando o projeto foi testado em um modelo físico dentro do ambiente real que pode-se perceber esta e outras questões (como espaço que o suporte ocupou na bancada, interface com carrinho existente e impacto do uso do suporte na realização dos exames de ultrassom).

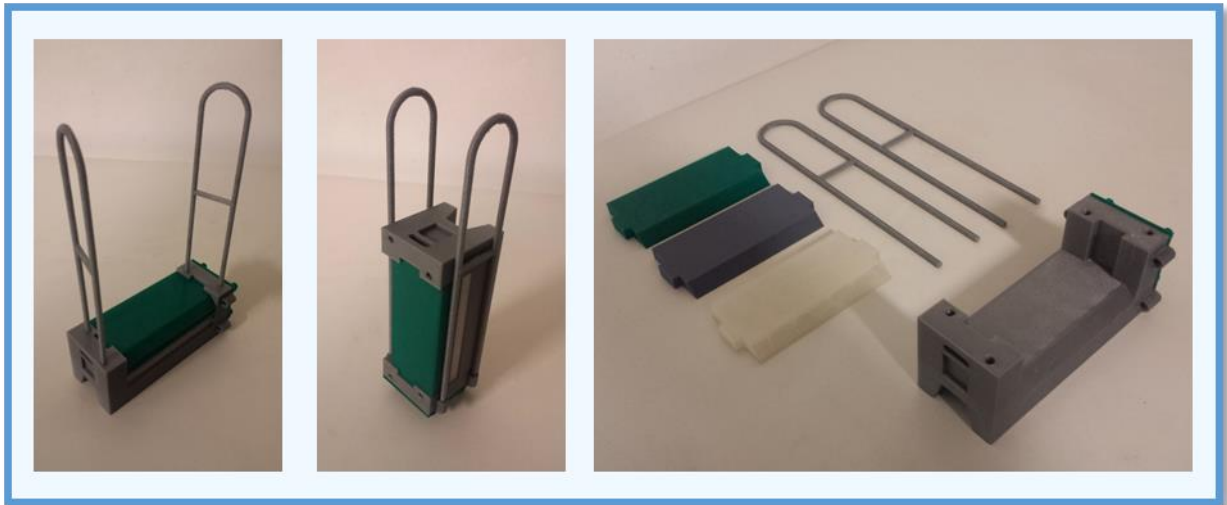
Para o Caso 3 a prototipagem ocorreu em duas frentes diferentes. A primeira foi a criação de uma máscara para o console de operação. Tal máscara foi projetada para não interferir fisicamente no equipamento e auxiliar cognitivamente o operador no acompanhamento e tomada de decisão ao longo da operação. Foram elaborados dois protótipos para tal concepção: um de papel e outro em placa de acrílico. O primeiro teve objetivo de validar as informações inseridas, faixas de atuação dos mostradores e posicionamento dos rótulos. Ao avaliarem este protótipo em papel os operadores foram incentivados a fazerem anotações e correções diretamente sobre o protótipo, o que ocorreu e possibilitou alterar uma das faixas indicadas de operação. O segundo protótipo teve como objetivo representar e testar a solução em caráter mais próximo das especificações finais, especialmente em termos do material e fixação (interface) sobre o console. Na outra frente do projeto foi possível validar a solução de substituição física da tampa do console com o objetivo de criar espaço para os membros inferiores e permitir uma melhor postura do operador tanto em pé quanto sentado. O desafio principal foi conciliar as características biomecânicas e antropométricas dos operadores com os equipamentos existentes no interior do console.

A perspectiva apontada nesta pesquisa é que mesmo com a aplicação de ferramentas computacionais avançadas, faz-se necessário o uso de modelos físicos. O que deve ser introduzido nesta discussão é a compreensão que os protótipos não podem ser entendidos como produtos que devem ser realizados apenas quando as especificações estão avançadas a ponto de permitir a contratação de profissionais para construção dos mesmos. Sugere-se fortemente a utilização de materiais e métodos alternativos para criação destes suportes de simulação, incluindo as técnicas de bricolagem e prototipagem rápida.

Louridas (1999) entende que a criação de uma representação física de um artefato em concepção pode ser suportada pela ressignificação de materiais e ferramentas, inventando maneiras de atuar com os recursos disponíveis. Esta técnica, conhecida como bricolagem, pode impactar consideravelmente nos custos dos protótipos, tempo de desenvolvimento e no próprio envolvimento dos criadores ao interagir com a criatura (aumentando seu conhecimento sobre as características do projeto e permitindo novas reflexões e discussões).

Outra técnica possível, a impressão tridimensional vem no sentido de produzir, em menor tempo, objetos sólidos tridimensionais diretamente a partir de dados gerados em sistemas CAD. Diversas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas nos últimos anos de forma a aumentar a gama de materiais utilizados, volume das peças, complexidade e acabamento (precisão dimensional) dos protótipos, tempo de impressão, entre outras características. Este recurso vem sendo cada vez mais um grande facilitador na produção de protótipos físicos com objetivo de criar situações de simulação e permitir incluir as vantagens deste suporte nas intervenções ergonômicas. A Figura 73 ilustra um protótipo (em escala 1:5) impresso com esta tecnologia.

**Figura 73** Exemplo de protótipo feito em impressora 3D



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.7. Outros suportes

Importante destacar que além dos suportes abordados nos resultados da pesquisa de campo diversos outros podem atuar de forma a incentivar situações de simulação e beneficiar os processos de projeto.

Béguin e Weill-Fassina (2002) e Fontes (2011) afirmam a utilidade de **maquetes físicas volumétricas** como suporte de trocas entre atores. Estes modelos físicos em escala são interessantes por serem tangíveis e ao mesmo tempo uma simplificação (geralmente em termos de funcionalidades, além do tamanho) que permite uma leitura tridimensional facilitada, em especial para pessoas não habituadas com a representação tridimensional digital. Os materiais e a forma de montagem das maquetes também são características fundamentais nas funções e contribuições possíveis de serem incorporadas nos processos de projeto. Uma maquete de Lego (marca de brinquedo contendo peças plásticas de montar) possui usos e funções diferentes de uma maquete de isopor ou madeira balsa. Enquanto a primeira permite a montagem e desmontagem sucessiva e diretamente por partes dos participantes do projeto, as duas últimas demandam ferramentas e operações especiais na sua confecção. Um aspecto interessante das maquetes é a portabilidade destes suportes, fazendo com que possam ser facilmente levados até pessoas chave para avaliação e onde serão implementados.

Broberg (2008) apresenta um caso no qual além de apresentar um modelo físico em escala (1:20) ofereceu um segundo suporte de simulação em paralelo: **marcações no próprio ambiente** para permitir o deslocamento dos participantes no espaço em projeto (o autor denomina este processo como *walk-through*). As marcações foram feitas com fitas adesivas representando as máquinas, corredores e novas paredes. A principal contribuição deste suporte é permitir aos participantes, em especial para aqueles que irão atuar no sistema futuro, que simulem deslocamentos e posturas, apontem espaços necessários para execução de suas atividades e mostrem “ao vivo” tais necessidades e possíveis restrições para os demais participantes.

No mesmo trabalho Broberg (2008) apresenta o uso de um terceiro artefato para criar situações de simulação: **jogos de tabuleiro**. No caso apresentado o tabuleiro do jogo foi baseado na proposta de layout desenvolvida pelos engenheiros projetistas. Diversas peças coloridas representando diferentes questões em relação ao projeto, tarefas e equipamentos, são preenchidas pelos participantes de forma a indagar aos engenheiros sobre o projeto, provocando discussões e reflexões. Segundo o autor tal procedimento gerou propostas de possíveis soluções para problemas identificados.

Em termos computacionais a **simulação de sistemas** (ou simulação de eventos discretos) pode também colaborar no projeto de situações produtivas. O estudo via este tipo de simulação tem como objetivo elaborar um modelo das operações atuais (suportado por dados históricos reais, representados por curvas de distribuições estatísticas) e simular as alternativas para cenários futuros. Sob o aspecto quantitativo, é possível identificar, por exemplo, a necessidade de equipamentos de movimentação frente a um novo layout, validar a necessidade de recursos de produção e indicar a área requerida para estoques e outras necessidades. Em complementação aos resultados quantitativos, a interface gráfica pode trazer contribuições específicas ao processo de projeto, ao criar um canal de comunicação e possibilitar a interação entre os membros da equipe de trabalho que visualizam as operações acontecendo, deslocamentos de movimentadores e pessoas, máquinas paradas por diversos motivos, estoques sendo gerados ou esvaziados, entre outros fenômenos típicos do cotidiano de um sistema produtivo.

## **5.8. Considerações sobre as Contribuições dos Suportes de Simulação**

Além destes, diversos outros suportes de simulação são utilizados em intervenções de naturezas semelhantes pelo autor desta tese, pelo grupo de pesquisa no qual está inserido e ainda por diversos outros pesquisadores e profissionais da área, e que, com certeza, poderiam ser incluídos na presente pesquisa. As contribuições possíveis são fartas e extrapolam em muito as apresentadas neste trabalho.

Porém, além das contribuições é preciso compreender que cada suporte pode atuar com diferentes funções de acordo com a etapa e a necessidade do projeto. Tais funções são apresentadas e caracterizadas no capítulo de fechamento desta pesquisa conforme o conceito de objetos intermediários de concepção estabelecido por Jeantet et al. (1996). Além desta caracterização o próximo capítulo também apresenta uma articulação, proposta nos objetivos do capítulo introdutório, que estabelece como os conceitos e técnicas das diversas especialidades envolvidas no processo de projeto podem atuar de forma que possam convergir para uma solução conceitual que seja compatível com os critérios de saúde e eficácia.





## **6 A CONCEPÇÃO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS INSTRUMENTADA PELA SIMULAÇÃO**

Segundo Jeantet et al. (1996) os objetos intermediários de concepção fazem parte de uma produção de objetos ao longo do processo de projeto de diferentes naturezas com o objetivo de serem avaliados, discutidos e modificados. Tais objetos, que podem ser desenhos, plantas, maquetes, relatórios, entre outros, também atuam no sentido de serem instrumentos de coordenação, entre as diferentes especialidades envolvidas e ao longo do desenvolvimento, por definirem marcos temporais do projeto (VINCK, 2009).

Assim, além das contribuições pontuais características dos suportes de simulação, pode-se enquadrar tais instrumentos enquanto objetos intermediários de concepção que permitem a reflexão e participação ampla dos atores. Nesta proposta tais suportes saem da margem do projeto (apoio) e passam para uma função de protagonista dos processos (estruturante): são eles que criam, contam e registram a história do projeto e que contribuem para a convergência da experiência e competência dos envolvidos em soluções sínteses, tanto nos aspectos técnicos (necessidades e restrições da engenharia, por exemplo) quanto na perspectiva da atividade (ao permitirem incorporar as estratégias desenvolvidas pelos operadores quando estes se defrontam com as variabilidades dos sistemas de produção e dos próprios indivíduos).

Para a discussão dos suportes de simulação enquanto objetos intermediários de concepção são utilizados os eixos “comissionário-mediador” e “fechado-aberto” que combinados compõem um espaço teórico, conforme proposto por Jeantet et al. (1996), já apresentado no quadro teórico desta tese.

### **6.1. Suportes de simulação como objetos do tipo comissionário fechado**

O quadrante A da Figura 6 categoriza o objeto intermediário de concepção como sendo do tipo comissionário fechado. Nesta classificação tem-se

que o objeto intermediário atua para passar uma informação, ideia, especificação, entre outros de uma maneira bem definida com um objetivo de ação bastante específico e limitado. Nos moldes clássicos da engenharia do trabalho pode-se exemplificar um objeto deste como o desenho técnico em CAD que contém as informações exatas e necessárias para a construção de uma espaço de trabalho (por exemplo, uma plataforma de abastecimento de produtos químicos em uma ETDI – como no início do caso 4). Assim, tem-se uma situação bastante típica onde um profissional ou departamento específico cria um objeto para ser compreendido como tal (prescrição), sem abertura para novas interpretações ou ações: trata-se de uma especificação da engenharia (emissário) para o setor de construção e montagem (destinatário) implementar o projeto (ação específica).

Em processos de concepção que envolvem a ergonomia tais objetos podem estar presentes em cadernos de encargo, listas de recomendações ou relatórios com análise ergonômica do trabalho acompanhados de propostas de soluções conceituais. Assim, o objetivo é formalizar e/ou informar (ação) a atuação/prescrição da ergonomia ou do grupo de trabalho (emissário) para a engenharia, gerência, sindicato, órgão fiscalizador, entre outros (destinatários).

No entanto, a presente pesquisa pretende ser mais específica e propõe que tais objetos possam ser suportes de simulação e que assumam um papel proativo na coordenação e ação dos processos de concepção considerando as perspectivas da técnica e da atividade. Neste sentido, tais suportes podem ser aplicados de forma a permitir criar situações de simulação com o objetivo de transmitir uma representação com uma única ação esperada (validação ou difusão, por exemplo). O uso destes suportes como objetos comissionários fechados pode ser considerado como a atuação mais restritiva e prescritiva prevista na abordagem proposta. Assim, apenas em momentos bastante específicos pode-se esperar tal situação de uso e postura dos participantes do processo de concepção. Como exemplo, pode-se ter apresentação dos estudos e projeto concluído para que, níveis gerenciais que não participaram do processo o conheçam e determinem a entrada dele no orçamento do ano posterior. Tal apresentação deve ser baseada sobre um ou mais suportes específicos, como desenhos CAD (2D ou 3D), maquetes, simulações humana ou cenários em *Game Engine*, de forma que represente(m) o resultado do projeto (coordenação) e evidenciem a incorporação das questões técnicas e da perspectiva da atividade.

No entanto, acredita-se que, apesar das restrições impostas por este tipo de objeto, sempre deve haver flexibilidade e margem de manobra para novas interpretações e encaminhamentos, de forma a permitir a incorporação da experiência e competência daqueles que interagem com os suportes de simulação. Neste sentido pode-se caminhar para o próximo uso.

## **6.2. Suportes de simulação como objetos do tipo comissionário aberto**

O encontro dos eixos em comissionário aberto é ilustrado no quadrante B da Figura 6. Assim como no quadrante anterior o objeto intermediário de concepção atua com a função de transmitir uma representação prescrita (fechada); porém, desta vez, para que diferentes ações possam ser tomadas. Tais ações podem ser previstas ou encaminhadas pelos objetos, mas também podem ser fruto da iniciativa própria daqueles que interagem com os mesmos.

De maneira geral os objetos do tipo comissionário aberto podem ser entendidos como objetos que carregam em si um conteúdo específico para ações múltiplas.

Esta segunda modalidade de objeto não se faz muito distante da primeira ao fixar uma prescrição, porém, ao abrir o campo de ações pode trazer uma plasticidade ao projeto, isto é, prevê que mesmo a ação esperada necessita de margem de regulação para a tomada de decisão, graus de liberdade para a interação com o objeto e autonomia na sua exploração.

Para quem pratica a Ergonomia da Atividade a ação da prescrição deve ser vista como um convite à um processo de troca e de co-concepção (LAMONDE, 2007). A autora aponta ainda que na elaboração das prescrições o ergonomista deve permitir e apoiar as estratégias (incluindo modos operatórios) eficazes e de segurança dos usuários; sobre as estratégias ineficazes ou de risco, as prescrições devem visar a eliminação das mesmas, ou apoiar o raciocínio de “risco”, ou ainda excluir a possibilidade de erro. Tal perspectiva pode ser incorporada na utilização dos objetos prescritores (comissionários).

No processo de concepção de situações de trabalho dentro da abordagem proposta nesta pesquisa, os objetos comissionários abertos podem atuar de forma a deixar evidente uma proposta (um cenário evolutivo) que pode ser avaliado e testado de diversas formas e com diferentes objetivos, mesmo aqueles não previstos até o momento no processo.

Assim, ao construir um protótipo físico, por exemplo, o grupo de trabalho pode definir uma interação específica transformando-o num objeto comissionário fechado: protótipo com objetivo de testar variável ou situação característica. Mas, se a postura do grupo de trabalho for outra e, ao permitir que os testes e avaliações ocorram em diversos sentidos (previstos ou não) o mesmo suporte de simulação atuará como um objeto comissionário aberto. Assim como na vida real e cotidiana dos espaços de trabalho, os reveses podem surgir e devem ser incorporados nestes processos, seja em termos de estratégias adotadas ou modificação/adaptação do suporte.

É importante destacar que alguns objetos estão mais aptos para assumir essa função. Ao construir um ambiente virtual em *Game Engine*, um protótipo físico ou maquete de forma rígida, tornando-os objetos comissionários, o passo seguinte pode ser a disponibilização destes para uma ampla interação e exploração (objetos abertos). Isto é, as características do projeto são restritas para novas interpretações (em termos de especificações), porém estão abertas para diferentes tipos de engajamentos.

Um exemplo extraído do Caso 4 apresentado na parte de resultados da pesquisa de campo desta tese é a aplicação do modelagem e simulação humana para (re)projetar a situação desenvolvida pelos projetistas. Neste caso, o projeto estava em um nível avançado e não poderia ser transformado ou interpretado de outras formas. Partiu-se de uma especificação (prescrição) onde a partir de simulações diversos constrangimentos foram observados e, juntamente com a análise e operadores em situações de referência, uma nova prescrição foi proposta em um novo objeto comissionário aberto à discussão e validações. A situação de simulação gerada por este objeto levou à novas modificações, até que resultou na prescrição da equipe de ergonomia e enviada para o gestor do projeto.

O uso dos objetos comissionários pode ser fundamental para demarcar etapas do projeto, visto que formalizam um desenvolvimento realizado de forma coletiva e cooperativa na validação de conceitos na perspectiva da atividade e para questões técnicas de processo, manutenção, qualidade, entre outras. Tal demarcação auxilia também na coordenação do processo ao registrar a evolução histórica do mesmo. No entanto, para que haja uma ação projetual sobre o desenvolvimento dos conceitos, é importante que os objetos sejam mediadores, como discute-se a seguir.

### **6.3. Suportes de simulação como objetos do tipo mediador fechado**

Os objetos mediadores são importantes porque induzem processos de concepção participativa, atuando diretamente na incorporação mais efetiva de diferentes lógicas junto ao projeto. Neste sentido, auxiliam na resolução de uma questão importante colocada por Darses e Reuzeau (2007): o fato de haver participantes que não são projetistas profissionais e que não dominam as ferramentas clássicas de concepção se configurar em um obstáculo para a concepção participativa.

Na perspectiva clássica da engenharia e do projeto do trabalho, como visto no capítulo teórico desta pesquisa, a racionalidade técnica domina o processo de concepção e pouco espaço é aberto para outros profissionais que não sejam “especialistas em projeto”. Assim, o uso de objetos mediadores nesta perspectiva é raro e, quando ocorre, a tendência que seja do tipo fechado, isto é, que responda à questionamentos pré-determinados ou seja feita uma escolha entre opções pré-definidas.

Portanto é comum vermos processos ditos participativos que “escutam” os operadores ou usuários através de consultas simples ou opções controladas com questões como: “*quais destes painéis é melhor?*”, “*prefere fazer essa operação em pé ou sentado?*” ou ainda “*quais ferramentas precisam ser usadas nessa situação ou posto de trabalho?*”. Evidente que existem ganhos ao incorporar na concepção objetos que permitam essa transformação do conceito, porém são limitados, visto que na maioria das vezes ficam restritos à uma visão de operações e tarefas, não atingindo à atividade desenvolvida e variabilidades presentes.

O quadrante C exibido na Figura 6 ilustra como um conceito é transformado ao ser suportado por um objeto intermediário de concepção. Desta forma, os objetos mediadores fechados atuam com a intenção explícita de servir como ponto de partida para interpretações objetivando se transformar em uma nova proposta.

Assim, uma característica fundamental que diferencia esse tipo de objeto é a explicitação de que o conceito original apresentado não precisa ser “defendido” ou “protegido” e sim que sirva como base das interações. Por ser do tipo fechado, espera-se que se chegue em um novo conceito evoluído ou que atenda à um objetivo específico pré-determinado.

Dentro da proposta em desenvolvimento por esta pesquisa esses objetos teriam nos suportes de simulação e, conseqüentemente pelo fato destes propiciarem as situações de simulação, a função de colocar em pauta a transformação e a necessidade de se obter um novo conceito, desenho, especificação, enfim, um direcionador para a solução síntese em desenvolvimento.

Dentre os suportes de simulação propostos é importante destacar que os mesmos se comportam de forma muito distinta no aspecto de incorporar as reflexões à medida que são criadas e apresentadas. Assim, qualquer um dos suportes pode ser utilizado como objeto intermediário por permitir a representação de ideias, conceitos, desenhos, mecanismos, entre outros, porém cada um reagirá de forma diferente às propostas de modificações. Enquanto um esboço em papel pode ser facilmente substituído por outro esboço em papel com novas configurações o mesmo não pode ser afirmado de desenhos CAD ou simulações computacionais.

No entanto, esta inflexibilidade não pode ser causa (consciente ou não) para que mudanças não sejam propostas (ou mesmo evitadas/minimizadas). É fundamental que a situação de simulação proporcionada pelo uso destes suportes tenha a capacidade de registrar verbalizações, anotações, planilhas, documentos de texto ou apresentações, esquemas e esboços feitos à mão, etc., para que, se for o caso, seja incorporado no suporte utilizado de maneira que um novo objeto intermediário surja (em momento posterior) e possa atuar no processo de concepção.

Como exemplo de aplicação de um suporte de simulação como objeto mediador fechado pode-se citar a primeira prototipagem física (em papel) da interface do painel do console na sala de descoqueamento. O objetivo da impressão em uma material pouco durável foi levantar em um período de tempo curto se as informações definidas anteriormente pelos participantes do projeto estavam coerentes com as representações dos operadores da área. Assim, a impressão foi instalada sobre o painel existente e as orientações dadas foram para que todos os operadores do painel interagissem com o objeto e apontassem erros ou oportunidades de melhorias.

Passadas algumas horas um operador sugeriu substituir um dos valores impressos referente à faixa de operação da tensão do cabo. O valor original havia sido informado por operadores mas as novas recomendações eram para que a faixa atual de operação desejável fosse outra, menos ampla, porém fazendo com que o operador diminuísse o risco de incidentes.

Assim, o suporte de simulação serviu como meio para que uma nova representação fosse criada para a solução síntese. A partir desta experiência foi possível criar um segundo protótipo físico, porém desta vez mais durável (impresso em acrílico) e com a função de ser um objeto do tipo mediador aberto, como descrito a seguir.

#### **6.4. Suportes de simulação como objetos do tipo mediador aberto**

Por fim, a última situação proposta por Jeantet et al (1996) para enquadramento dos objetos intermediários é ilustrada no quarto quadrante D da Figura 6. Esta caracterização pode ser considerada a mais participativa e flexível de todas.

O perfil esperado para este tipo de objeto é o mediador que permite e explora um maior número de interações e desdobramentos. No extremo, não há nada prescrito, nenhuma estrutura rígida e tampouco inviável de ser incorporada. Na prática, pretende-se que os participantes assumam o papel de co-concepção e proponham reflexões, modificações, alternativas, novos cenários para serem simulados, novos roteiros a serem seguidos, enfim um modelo onde a cooperação é



o paradigma da condução do processo de projeto, na perspectiva apontada por Darses, Détienne e Visser (2007). Neste modelo os objetos mediadores abertos podem atuar como um referencial operativo comum pelo qual os participantes constroem uma intercompreensão da situação, estabilizando os objetivos compartilhados (DARSES; DÉTIENNE; VISSER, 2007).

Dentro da perspectiva proposta nesta tese, os suportes de simulação podem atuar como objetos intermediários de concepção e, mais especificamente, objetos comissionários abertos. Tais suportes permitem a flexibilidade interpretativa necessária e podem atuar no sentido de apoiar uma diversidade de ações, pré-definidas ou não.

As situações de simulação devem ser preparadas para, além da utilização de um suporte propício, facilitar a livre expressão dos conhecimentos sobre a atividade dos trabalhadores, experiências e competências de forma a ser compatível e compreensível com todos os participantes. Darses e Reuzeau (2007) colocam tais princípios dentro de uma integração sociocognitiva dos diferentes pontos de vista presentes no processo de concepção.

Ao inserir diferentes atores no processo de concepção, em especial com o uso de suportes de simulação atuando de forma a permitir uma flexibilidade interpretativa, criar um espaço de confrontação e validação e garantir que a evolução do projeto passa por esta situação de simulação, garante-se um grau de participação efetiva e real.

Um exemplo de objeto mediador aberto que pode ser destacado dos casos apresentados foi a primeira simulação humana (dinâmica) desenvolvida para discutir o conceito de suporte, carrinho e bancada para o laboratório de ultrassom (Caso 2). A animação gerada a partir do software Jack permitiu “colocar na mesa” de discussão um conceito inicial que tinha como objetivo disparar o processo de concepção com a participação dos atores envolvidos. A construção do conceito partiu por parte da equipe de ergonomia, mas teve como base o diagnóstico gerado (incluindo a reformulação da demanda) e primeiras interações com os operadores.

Na situação de simulação com o uso deste objeto intermediário pode-se destacar diversas reflexões com base em restrições técnicas e políticas,

características da atividade e preocupações dos operadores, da supervisão e da segurança do trabalho. Assim, com um conjunto de interpretações e discussões, o resultado das negociações apontou para um novo conceito que gerou outro objeto intermediário, desta vez, uma modelagem e simulação humana estática, também utilizando o software Jack.

Fica evidente que o uso dado para o suporte de simulação não foi informar ou apenas validar a solução dada pela equipe de ergonomia para a demanda solicitada. Ao contrário, criou uma situação onde houve o espaço, métodos e as ferramentas para incorporar a perspectiva da atividade, além das necessidades e restrições das áreas técnicas, conforme articulação proposta por esta tese e sintetizada a seguir.

## **6.5. Reflexões e Recomendações para a Instrumentação pela Simulação**

Darses, Détienne e Visser (2007) apresentam um quadro muito realista e compatível com os resultados da pesquisa de campo deste trabalho. Para estes autores, independente da forma de organização (engenharia concorrente, engenharia simultânea ou engenharia integrada), constata-se o aumento considerável dos componentes coletivos do trabalho, sendo um dos efeitos a “extensão do estatuto de projetista a atores tradicionalmente afastados da concepção” (DARSES; DÉTIENNE; VISSER, 2007, p. 470). Constatam também que tais atores, que são pluriofícios e pluriestatutos, nem sempre se localizam reunidos e disponíveis para encontros síncronos, sendo portanto notável o crescimento de interações assíncronas e mediadas por tecnologias de informação.

No entanto, apenas a participação de atores múltiplos no projeto, mesmo que sejam incorporados formalmente e recebam o status de projetista, não garante que a lógica descendente (*top-down*) seja confrontada. Visto que a separação entre concepção e execução ainda é um paradigma predominante, o projeto de fato continua centrado nas componentes técnicas, políticas e financeiras. Desta forma o trabalho é considerado variável de ajuste e não variável de ação (MALINE, 1997), sendo “incorporado” apenas nas etapas finais de concepção (DUARTE, 2002). O resultado pode ser decepcionante e gerador de grandes dificuldades, tanto para quem

interage com a situação projetada quanto para a empresa, com problemas de saúde, segurança, qualidade, confiabilidade e eficiência.

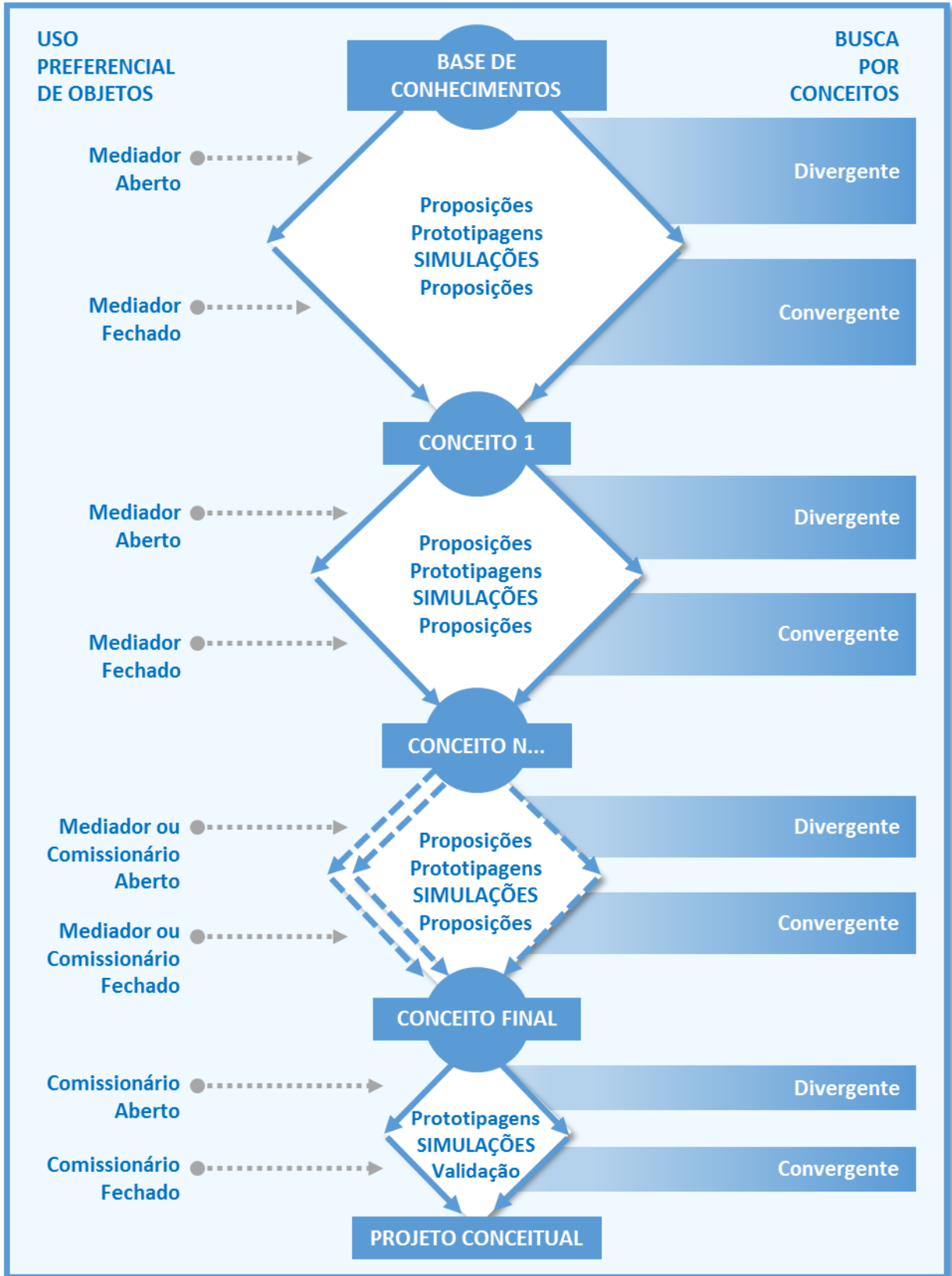
Nesse contexto novos desafios são postos para a atividade de concepção que objetive incorporar critérios de saúde, bem-estar, conforto e produtividade. Surge a necessidade de instrumentos que atuem auxiliando a coordenação das atividades de concepção, a participação e cooperação síncronas ou assíncronas, processo de tomada de decisão, a expressão e evolução das competências dos diversos atores envolvidos e, por fim, a capitalização do conhecimento e experiência gerada ao longo do processo (DARSES; DÉTIENNE; VISSER, 2007).

O objetivo é propor suportes e situações que favoreçam a integração dos pontos de vista e contribua para a convergência em direção à solução. A diversidade de suportes de simulação pode ser compreendida dentro de uma matriz que caracterize a função e o uso esperados de cada um. No caso desta pesquisa optou-se pelo enquadramento proposto com os eixos comissionário-mediador e fechado-aberto.

A categorização não tem o intuito de apontar qual a melhor forma de aplicar os suportes e sim evidenciar que as diversas posturas de expressão e uso dos objetos intermediários de concepção podem se aplicar à simulação da maneira como está sendo proposta.

Tais posturas são importantes pois permitem inserir os objetos intermediários ao longo da condução do projeto, de montante à jusante. À montante, faz-se necessário que os objetos permitam a integração dos saberes e competências para explorar o problema e possíveis soluções com base no que é desejável (destacando-se a **ação projetual sobre o objeto**). À jusante os desafios são outros, visto que os objetos são mais aplicados no sentido de controlar os encaminhamentos e implantação do que é possível (prevalece a função de **coordenação do processo de projeto**). A Figura 74 articula a aplicação destes objetos ao longo do desenvolvimento do projeto.

**Figura 74** Articulação dos tipos de objetos intermediários no processo de concepção



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta articulação, o uso recomendado para cada postura dos objetos intermediários tem caráter preferencial, isto é, não se deve limitar o uso de apenas um tipo de objeto por etapa. Por vezes, mesmo à montante, a aplicação de um objeto comissionário fechado pode ser útil para definir conceitos e orientar a continuidade do desenvolvimento.

Para cada etapa são propostas uma sequência de passos que podem orientar o desenvolvimento da concepção de situações produtivas. As proposições apontadas, segundo conceito definido por Hubka e Eder (1995), podem ser de natureza prescritivas (com base na prática) ou descritivas (com base na teoria) e terem relação direta com o sistema técnico em concepção (ação projetual do objeto) ou com o processo de projeto (coordenação).

As prototipagens têm como objetivo sintetizar as proposições desenvolvidas. Para tal, propõe-se a aplicação de diferentes suportes (de simulação). O objetivo de criar protótipos, virtuais ou físicos, é confrontá-los em situações de simulação a partir das diferentes lógicas, saberes e competências envolvidas no processo. A partir das simulações busca-se novas proposições que gerem conceitos que atendam melhor as necessidades, expectativas e restrições das áreas envolvidas, mas, em especial, que atendam critérios de saúde e produtividade.

A busca por conceitos melhores, em uma perspectiva macro, converge para uma solução que será especificada em um projeto conceitual. No entanto, dentro do processo essa busca também se dá de maneira divergente, ao permitir que os conceitos inovadores sejam propostos, prototipados e simulados. Como pôde ser observado nos casos abordados nesta pesquisa, o número de conceitos e a maneira como estes irão divergir ou convergir para o projeto conceitual final não podem ser previstos devido à natureza de incerteza dos processos de concepção.

O conceito final obtido também deverá ser prototipado e simulado, não com o objetivo de gerar novas proposições (o que também pode ocorrer), mas como validação final entre os participantes do processo de concepção e demais atores envolvidos ou impactados pelo projeto. Após a validação, com o conceito final definido, o projeto conceitual poderá ser especificado para implementação.

Assim, a aplicação destes objetos atua no sentido de dar suporte para as atividades de projeto propriamente ditas (ação projetual) e na gestão do processo de concepção (coordenação).

Esta pesquisa defende a premissa de que qualquer pessoa (independente da especialidade) tem capacidade de pensar e desenvolver soluções conceituais. Por exemplo, ao questionar um operador sobre como deveria ser um painel de controle ou uma plataforma, ele provavelmente mostrará que tem um repertório próprio, saberes e competências que o capacita a propor algo. Evidentemente, não se pode esperar que ele saiba em detalhes questões técnicas de funcionamento dos equipamentos ou da fundação necessária para a construção da plataforma, menos ainda que domine as ferramentas e métodos projetuais.

Desta forma, para um dado problema, cada especialidade (ou entidade dentro da organização) tem a capacidade de propor soluções. Para isto, os atores têm acesso à uma base de conhecimentos que incluem informações das várias áreas do conhecimento. Porém, dentro desta ampla base, cada ator já domina um campo que se refere à sua própria formação e atuação, que compõe sua comunidade de prática e define o mundo objeto de cada profissional. A partir desta racionalidade própria que cada especialidade desenvolve o seu conceito, em um processo de concepção que inclui ferramentas e métodos. Em uma situação onde não há trocas, apenas uma das soluções (e conseqüentemente, apenas uma das racionalidades) poderá ser implementada.

Nesse modelo, as profissões ligadas às atividades projetuais se destacam das demais; na maioria das situações, apenas elas conseguem, de forma isolada, fazer os conceitos evoluírem para soluções aptas a serem implementadas, reforçando o paradigma dominante *top-down*.

Outros modelos de concepção foram propostos e tem sido aplicados. Um deles coloca a Ergonomia como entidade organizacional que assume o centro do processo e articula o desenvolvimento (coordenação) com as demais áreas (técnica), em especial, fazendo uma ponte da operação (atividade) para a engenharia (única responsável pela ação projetual propriamente dita).

Alguns problemas desta abordagem podem ser destacados:

- Ao assumir um papel central na coordenação do projeto a ergonomia pode se afastar de suas funções básicas: compreender e reformular a demanda, analisar a tarefa e atividade nas situações existentes e nas situações de referência, entre outras;
- A própria capacidade de propor e desenvolver soluções com base em seu repertório e competência pode ser questionada, visto que, ao coordenar, não pode favorecer sua lógica em detrimento das demais;
- Outro problema, apontado por Béguin (2007), é a necessidade de uma sólida competência técnica para não se deixar “enrolar” pelos representantes de áreas técnicas. O autor inclui ainda que o ergonomista pode não ficar à vontade com critérios típicos e difíceis de serem devidamente equilibrados na atividade de coordenação: qualidade, custo e prazo.

Com base nisto, a articulação proposta nessa pesquisa é que os processos de concepção sejam centrados em um modelo cooperativo de competências e saberes suportado por objetos intermediários e situações de simulação.

Nesta perspectiva os objetos intermediários de concepção permitem que as diversas especialidades e respectivas lógicas se encontrem, interajam e se confrontem nas situações de simulação. São nestes espaços construídos para incorporar os saberes e competências que surgem novas ideias, conceitos, soluções e, portanto, novos cenários. Este processo se repete de modo à convergir em uma solução síntese, que deverá ser encaminhada para implantação.

Com base em desenvolvimentos teóricos e práticos de diversos autores anteriormente citados (JEANTET et al., 1996; MENEGON, 1999; BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002; DEJOURS, 2004; FALZON, 2004; LAMONDE, 2007; DANIELLOU, 2007b; BÉGUIN, 2007; DARSESE; REUZEAU, 2007; FOLCHER; RABARDEL, 2007; BRAATZ, 2009; BRAATZ, 2010; BROBERG; ANDERSEN; SEIM, 2011; HALL-ANDERSEN; BROBERG, 2014; LIMA; DUARTE; 2014) e a partir das análises dos resultados obtidos com a pesquisa de campo, elencam-se recomendações que devem ser incorporadas à articulação proposta em três momentos distintos do processo de concepção: o antes, o durante e o após.

### 6.5.1. Recomendações para o momento anterior ao processo de concepção

Antes do início do processo uma série de cuidados e ações podem ser consideradas com o objetivo de facilitar ou mesmo viabilizar o desenvolvimento de soluções mais efetivas em termos de saúde e produção. São elas:

- Negociar junto aos projetistas, demandantes e gerência a maior margem possível de desenvolvimento de soluções;
- Antecipar a necessidade de utilização de algum suporte específico e planejar os recursos para tal;
- Discutir a viabilidade de analisar situações de referência, antes e durante o desenvolvimento; o objetivo neste caso deve ser antecipar ao máximo o levantamento das situações de ação características;
- Levantamento dos padrões, normas e regras que se apliquem ao objeto a ser projetado;
- Da mesma forma, deverá ser consultada a base de conhecimentos e configurações de uso existentes que possam orientar os desenvolvimentos e decisões iniciais do processo de concepção;
- Em situações críticas pode ser interessante um processo de nivelamento de conhecimentos sobre a situação em projeto ou sobre o sistema sobre a qual está veiculada; em outras situações um nivelamento teórico pode auxiliar o desenvolvimento futuro, como por exemplo sobre Confiabilidade Humana ou mesmo Ergonomia de Concepção;
- Recomendar o envolvimento de atores ou especialidades em parte ou no projeto como um todo;
- Explicitar a todos os participantes a dinâmica do processo dialógico e a necessidade do engajamento objetivando a construção coletiva e cooperativa de conceitos e soluções.

### 6.5.2. Recomendações para os momentos durante o processo de concepção

É durante o processo de concepção que a tensão entre o desejável e o possível revela-se, assim como a confrontação das diferentes lógicas (e interesses) presentes no processo. As recomendações listadas buscam a convergência para



soluções negociadas e que atendam satisfatoriamente os requisitos técnicos e a perspectiva da atividade que será desenvolvida. Recomenda-se, portanto, que:

- A coordenação do processo deve prever que os suportes de simulação sejam usados para confrontações síncronas e assíncronas;
- As reuniões que tratem do projeto do trabalho e das condições de trabalho (ou de forma mais ampla, ergonomia) devem preferencialmente ocorrer com este objetivo único, evitando o clima de disputa por tempo ou uso dos recursos (tal recomendação aplica-se especialmente para as reuniões de *Design Review*, como visto no Caso 4 da pesquisa de campo);
- Tais reuniões devem, inclusive, ocorrer o mais próximo geograficamente possível da situação em projeto (seja uma situação existente, em construção ou ainda em planejamento);
- Deve-se utilizar, sempre que possível, mais de que um objeto intermediário de concepção em cada reunião, encontro ou sessão de simulação. Assim, busca-se atender às especificidades dos participantes e explorar diferentes funções (e respectivas vantagens de cada objeto). Por exemplo, a Figura 75 ilustra o uso de duas projeções diferentes (uma com o projeto em CAD 2D e outra com o cenário virtual em *Game Engine*) em uma reunião de validação além de relatórios e plantas físicas distribuídas entre os participantes;
- Ao se depararem com artefatos frutos de gêneses instrumentais o grupo de trabalho deve incorporá-los, na medida do possível, como objeto intermediário e inspirar-se nos mesmos para o desenvolvimento da solução – incluindo-se aqui o princípio de que os artefatos projetados também serão modificados no uso e sofrerão, portanto, novas gêneses;
- Os objetos intermediários que ficarem à disposição nos ambientes de trabalho, por exemplo um protótipo físico instalado, devem ser identificados e terem explícitos o seu objetivo, sua temporalidade e contato dos responsáveis. Isto é importante para evitar danos às pessoas e aos processos por uso indevido destes suportes e ainda por permitir retornos de experiências, sugestões e reclamações a partir de interações sem acompanhamento de um dos envolvidos no processo de projeto (grupo de trabalho);

- Tanto na produção dos objetos intermediários, quanto durante as situações de simulação (incluindo expressões verbais) deve-se evitar o uso de símbolos, expressões e jargões típicos de um mundo-objeto específico; tal uso legitima uma lógica presente mas pode criar barreiras e até mesmo excluir a participação das demais;
- Os resultados e encaminhamentos das situações de simulação devem ser enviados para todos os participantes e estar disponível para outros trabalhadores e departamentos da empresa;
- Todos os objetos intermediários de concepção criados (em suas diferentes versões e com histórico de modificações; inclusive os mais simples, como esboços e esquemas à mão) devem ser registrados e, se possível no caso dos suportes físicos, armazenados – são elementos importantes para contar a história do projeto (coordenação) e servir como biblioteca/repertório para projetos futuros (ação projetual).

**Figura 75** Exemplo de aplicação de diversos objetos intermediários de forma simultânea



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 6.5.3. Recomendações para o momento posterior ao processo de concepção

Após a conclusão do processo uma série de ações podem atuar para garantir uma maior efetividade do projeto conceitual elaborado, além de criar uma retroalimentação que vise desenvolvimentos futuros. As recomendações são:

- Acompanhar o detalhamento e a implementação são fundamentais para garantir a obtenção dos resultados esperados (ou o mais próximo disso) e ainda, se for necessário, auxiliar no processo de tomada de decisão frente à novos condicionantes que inviabilizem a solução como foi especificada; tal fase, inclusive, deve ser incorporada pelo processo de concepção, caso seja possível;
- Um material síntese deve ser criado com o objetivo explícito de orientar o detalhamento e implementação da solução (em especial se não forem acompanhados), com o objetivo de evitar desvios da solução construída coletivamente; neste sentido deve-se incluir os objetos intermediários comissionários fechados, em especial se houverem, os desenhos CAD 2D e 3D, por serem estes objetos mais familiares para os profissionais e empresas que irão dar continuidade ao processo;
- Criar em formato de relatório simplificado ou vídeo, por exemplo, um material que auxilie a compreensão e/ou formação dos trabalhadores que irão interagir com a situação projetada; esta ação é interessante para evidenciar e esclarecer as decisões tomadas; dependendo da situação pode-se usar este material para um “caderno de boas práticas” ou manual de uso;
- A sistematização dos suportes e das situações de simulação em bibliotecas de ações, informações, configurações de uso e soluções características é uma fonte importante para futuros projetos e retroalimenta a base de conhecimentos consultada no início do processo; pode-se incluir diversas outras informações como contato de fornecedores, orçamentos, especificações técnicas de materiais, ferramentas, etc.;
- A validação pós implantação deve ocorrer em dois momentos: imediatamente após a implantação e passado um tempo de aprendizado, estabilização e modificação (visto que a concepção continua no uso); no primeiro instante, deve-se atentar à desvios da implantação ou descoberta

de novos constrangimentos, buscando apontar soluções ainda na fase de partida (entrega do projeto), que normalmente possui alguma margem de adequação; no segundo instante o foco deve servir como aprendizado teórico e prático para novos projetos e, em situações extremas, recomendar novas modificações ou sugerir uma análise mais detalhada dos possíveis constrangimentos.

Tais recomendações se baseiam em uma situação genérica e idealizada. Assim, o momento e a viabilidade de aplicação de cada uma delas deverão ser avaliados conforme o contexto. Espera-se que estas possam contribuir com a prática dos processos de concepção.

## 6.6. Considerações Finais

Para concluir, explicita-se a possibilidade de posicionar a simulação dentro de um quadro teórico que parte da compreensão do projeto do trabalho e tem a perspectiva da atividade como elemento central. Assim, o Projeto do Trabalho (incluindo o conceito de Projeto de Situações Produtivas) não deve ser compreendido e orientado (centrado) apenas pelos critérios técnicos de eficiência produtiva e econômica, mas também pela necessidade de considerar a perspectiva da atividade, segundo o campo de conhecimento da Ergonomia Situada. Este processo inclui um contexto de interação e participação coordenada entre as várias especialidades envolvidas e seus atores representativos. A articulação se dá, nesta proposta, pela **Simulação** que, com os diferentes usos dos objetos intermediários possibilitam as situações de simulação e conduzem a ação projetual de forma coordenada, incorporando as questões técnicas citadas (e de fundamental importância) e da perspectiva da atividade, até a obtenção de uma convergência na solução conceitual para a situação em concepção.

Em síntese, a articulação responde o problema de pesquisa apresentado na introdução deste texto ao incorporar as abordagens apresentadas por Béguin (2007): antecipação (das questões técnicas e da atividade), concepção continuada (visando a ampliação das margens de regulação) e a concepção distribuída (permitindo o desenvolvimento dos artefatos e da atividade em um processo

dialógico). No que se refere aos objetivos, em especial ao papel instrumental (FOLCHER; RABARDEL, 2007), a abordagem desenvolvida nesta pesquisa coloca a simulação como instrumento de mediação orientado ao objeto (visto que permite conhecer melhor e agir sobre a concepção do objeto), orientado ao outro (ao permitir conhecer e compreender melhor as lógicas e proposições dos diferentes atores e mundos-objetos presentes e ao suportar a ação coordenada junto aos mesmos) e, por fim, orientada ao próprio sujeito (ao comportar a mediação reflexiva, na qual o sujeito gera novos conhecimentos sobre si mesmo, se gere e ele mesmo se transforma).

Tal perspectiva suplanta a atuação da ergonomia e pretende dar suporte à uma discussão necessária que vise novas proposições metodológicas para o projeto do trabalho e de situações produtivas, função esta pertinente ao engenheiro de produção. A formação deste profissional está ligada diretamente à vida acadêmica e exercício profissional do autor desta pesquisa e do programa de pós-graduação no qual está vinculado.

Acredita-se que o resultado desta pesquisa possa colaborar com um debate necessário nas escolas de engenharia de produção, em nível de graduação e pós, a respeito do projeto do trabalho e das situações produtivas. Os modelos vigentes não se sustentam e dão mostras de que a sociedade busca por condições de trabalho cada vez mais dignas, sustentáveis, confortáveis, seguras e produtivas.

Buscou-se desde o princípio que as contribuições geradas tivessem implicações na prática dos projetos de situações produtivas e na produção de conhecimento em simulação, ergonomia, projeto e engenharia.

Para a produção de conhecimentos elaborou-se a pesquisa de forma a refletir em um campo bastante aberto: aplicação de suportes de simulação em processos de concepção (BÉGUIN, 2007; DANIELLOU, 2007a) na perspectiva das diferentes posturas teóricas dos objetos intermediários de concepção (JEANTET et al., 1996) de forma a instrumentalizar as atividades projetuais (DARSES; DÉTIENNE; VISSER, 2007). A reflexão culminou em uma articulação entre a ação projetual, a coordenação do processo de concepção e a incorporação da perspectiva da atividade e das questões técnicas.

A contribuição prática do trabalho acredita-se que esteja principalmente em dois pontos. O primeiro, ao apresentar e categorizar suportes de simulação que propiciem processos de concepção inovadores e efetivos (ao divergir e convergir na busca por conceitos e soluções), o que acredita-se ser uma necessidade no que tange à prática da ergonomia de concepção e projeto de situações produtivas, devido ao dinamismo e expectativas crescentes. O segundo ponto está na série de recomendações que sustentam a aplicação da articulação proposta e sintetizada a partir de autores relevantes da Ergonomia da Atividade e da experiência prática do autor desta pesquisa.



## 7 BIBLIOGRAFIA

AHONEN, M.; LAUNIS, M.; KUORINKA, T. **Ergonomic Workplace Analysis**. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 1989. 33 p.

BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e de Tempos: projeto e medida do trabalho**. 6. ed. São Paulo: Blücher, 1977. 635 p.

BÉGUIN, P. O Ergonomista, Ator da Concepção. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 317–323 p.

\_\_\_\_\_. Argumentos para uma Abordagem Dialógica da Inovação. **Laboreal**, v. 4, n. 2, p. 72–82, 2008.

BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. Das Simulações das Situações de Trabalho à Situação de Simulação. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 34–63 p.

BORGES, F. M. **Confiabilidade Humana e o Funcionamento Normal de uma Refinaria de Petróleo**. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

BRAATZ, D. **Análise da Aplicação de Ferramenta Computacional de Modelagem e Simulação Humana no Projeto de Situações Produtivas**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

\_\_\_\_\_. Uma Abordagem Conceitual Baseada na Dualidade da Ergonomia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 16., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABERGO, 2010.

BROBERG, O. Quando o Projeto Participativo de Espaços de Trabalho se Encontra com o Projeto de Engenharia em Eventos de Colaboração Mútua. **Laboreal**, v. 4, n. 2, p. 47–58, 2008.

BROBERG, O.; ANDERSEN, V.; SEIM, R. Participatory Ergonomics in Design Processes: the role of boundary objects. **Applied Ergonomics**, v. 42, n. 3, p. 464–472, mar. 2011.

BUCCIARELLI, L. L. Reflective Practice in Engineering Design. **Design Studies**, v. 5, n. 3, p. 185–190, 1984.

\_\_\_\_\_. An Ethnographic Perspective on Engineering Design. **Design Studies**, v. 9, n. 3, p. 159–168, 1988.

\_\_\_\_\_. Between Thought and Object in Engineering Design. **Design Studies**, v. 23, n. 3, p. 219–231, 2002.

\_\_\_\_\_. Designing and Learning: a disjunction in contexts. **Design Studies**, v. 24, n. 3, p. 295–311, 2003.



CAMAROTTO, J. A. **Estudo das Relações entre o Projeto de Edifícios Industriais e a Gestão da Produção**. 264 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CARBALLEDA, G. Uma Contribuição Possível dos Ergonomistas para a Análise e Transformação da Organização do Trabalho. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 281–297 p.

CARLILE, P. R. A Pragmatic View of Knowledge and Boundaries. **Organization Science**, v. 13, n. 4, p. 442–455, 2002.

CHAFFIN, F. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica Ocupacional**. Belo Horizonte: Ergo, 2001. 579 p.

CONCEIÇÃO, C. S. DA. **Do Uso para o Projeto: a transferência de experiência operacional para a concepção de espaços de trabalho em plataformas offshore**. 212 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CORIAT, B. **Pensar pelo Averso**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ: Revan, 1994. 212 p.

COSTA, M. A. B. DA; MENEGON, N. L.; CAMAROTTO, J. A. SIMUCAD: Simulação & CAD - Um Sistema de Apoio à Decisão no Planejamento e Implantação de Sistemas de Produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 1996, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: ABEPRO, 1996.

\_\_\_\_\_. Aplicações da Metodologia SIMUCAD em Empresas de Grande Porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21., 2001, Salvador, **Anais...** Salvador: ABEPRO, 2001.

DANIELLOU, F. A Análise da Atividade Futura e a Concepção de Instalações Externas. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002a. 75–83 p.

\_\_\_\_\_. Métodos em Ergonomia de Concepção: a análise de situações de referência e a simulação do trabalho. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002b. 29–33 p.

\_\_\_\_\_. A Análise do Trabalho: critérios de saúde, critérios de eficácia econômica. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (Ed.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. 233–245 p.

\_\_\_\_\_. A Ergonomia na Condução de Projetos de Concepção de Sistemas de Trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007a. 303–315 p.

\_\_\_\_\_. Simulating Future Work Activity is not Only a Way of Improving Workstation Design. **@ctivités**, v. 4, n. 2, p. 84–90, 2007b.

DANIELLOU, F.; BÉGUIN, P. Metodologia da Ação Ergonômica: abordagens do trabalho real. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 281–301 p.

DARSES, F.; DÉTIENNE, F.; VISSER, W. As Atividades de Concepção e sua Assistência. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 469–484 p.

DARSES, F.; REUZEAU, F. Participação dos Usuários na Concepção dos Sistemas e Dispositivos de Trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 343–356 p.

DECCA, E. **O Nascimento das Fábricas**. São Paulo: Brasiliense, 1982. 77 p.

DEJOURS, C. Epistemologia Concreta e Ergonomia. In: DANIELLOU, F. (Ed.). **A Ergonomia em Busca de seus Princípios: debates epistemológicos**. São Paulo: Blücher, 2004. 199–216 p.

DUARTE, F. Complementaridade entre Ergonomia e Engenharia em Projetos Industriais. In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 11–21 p.

EDER, W. E. Engineering Design Science and Theory of Technical Systems: Legacy of Vladimir Hubka. In: DESIGN 2008 - INTERNACIONAL DESIGN CONFERENCE, 10., 2008, Dubrovnik, **Anais...** Dubrovnik: DESIGN SOCIETY, 2008. p. 19–30.

FALZON, P. Os Objetivos da Ergonomia. In: DANIELLOU, F. **A Ergonomia em Busca de seus Princípios: debates epistemológicos**. São Paulo: Blücher, 2004. 229–240 p.

\_\_\_\_\_. Natureza, Objetivos e Conhecimentos da Ergonomia. . In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 03–19 p.

FLEURY, A. C. C.; VARGAS, N. Aspectos Conceituais. In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Organização do Trabalho**. São Paulo: Atlas, 1983. 17–37 p.

FOLCHER, V. Appropriating Artifacts as Instruments: when design-for-use meets design-in-use. **Interacting with Computers**, v. 15, n. 5, p. 647–663, 2003.

FOLCHER, V.; RABARDEL, P. Homens, Artefatos, Atividades: perspectiva instrumental. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 207–222 p.

FONTES, A. R. M. **Ergonomia e Design no Projeto de Espaços de Trabalho: o balcão de atendimentos dos correios**. 255 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

FREITAS, E. G. **O Trabalho em Laboratório na Indústria do Petróleo: do procedimento à competência**. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

GARRIGOU, A. et al. Activity Analysis in Participatory Design and Analysis of Participatory Design Activity. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 15, n. 5, p. 311–327, 1995.

GARRIGOU, A. et al. Contributions et Démarche de L'ergonomie dans les Processus de Conception. **PISTES**, v. 3, n. 2, p. 1–18, 2001.

GHINATO, P. Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. **Produção**, v. 5, n. 2, p. 169–189, 1995.

GOUNET, T. **Fordismo e Toyotismo: na civilização do automóvel**. São Paulo: Boitempo, 1999. 120 p.

GRANATH, J. Å.; LINDAHL, G. A.; REHAL, S. From Empowerment to Enablement - an evolution of new dimensions in participatory design. **Logistik und Arbeit**, v. 8, n. 2, p. 16–20, 1996.

GUÉRIN, F. et al. **Comprender o Trabalho para Transformá-lo**: a prática da ergonomia. São Paulo: Blücher, 2001. 224 p.

HALL-ANDERSEN, L. B.; BROBERG, O. Integrating Ergonomics into Engineering Design: the role of objects. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 3, p. 647–654, 2014.

HUBKA, V. Design Tactics = Methods + Working Principles for Design Engineers. **Design Studies**, v. 4, n. 3, p. 188–195, 1983.

HUBKA, V.; EDER, W. E. A Scientific Approach to Engineering Design. **Design Studies**, v. 8, n. 3, p. 123–137, 1987.

\_\_\_\_\_. **Design Science**: introduction to the needs, scope and organization of engineering design knowledge. Londres: Springer, 1995. 251 p.

INGELGÅRD, A. **On Macroergonomics and Learning Strategies in Improving Working Conditions**. Gothenburg: Dept of Psychology Goteborg University, 1998. 119 p.

JACKSON, M. A Participação dos Ergonomistas nos Projetos Organizacionais. **Produção**, v. 9, n. Especial, p. 61–70, 2000.

JEANTET, A. et al. La Coordination par les Objets dans les Équipes Intégrées de Conception Product. In: TERSSAC, G. DE; FRIEDBERG, E. (Ed.). **Coopération et Conception**. Toulouse: Octares Editions, 1996. 87–100 p.

KANG, M.; CHOO, P.; WATTERS, C. E. Design for Experiencing: participatory design approach with multidisciplinary perspectives. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 174, p. 830–833, 2015.

KOGI, K. Participatory Methods Effective for Ergonomic Workplace Improvement. **Applied Ergonomics**, v. 37, n. 4 Special, p. 547–554, 2006.

KUORINKA, I. Tools and Means of Implementing Participatory Ergonomics. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 19, n. 4, p. 267–270, 1997.

LAMONDE, F. As Prescrições dos Ergonomistas. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Blücher, 2007. 331–342 p.

LEPLAT, J. Aspectos da Complexidade em Ergonomia. In: DANIELLOU, F. **A Ergonomia em Busca de seus Princípios**: debates epistemológicos. São Paulo: Blücher, 2004. 57–78 p.

LIMA, F.; DUARTE, F. Integrando a Ergonomia ao Projeto de Engenharia: especificações ergonômicas e configurações de uso. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 679–690, 2014.

LOURIDAS, P. Design as Bricolage: anthropology meets design thinking. **Design Studies**, v. 20, n. 6, p. 517–535, 1999.

LUCK, R. Learning to Talk to Users in Participatory Design Situations. **Design Studies**, v. 28, n. 3, p. 217–242, 2007.

MALINE, J. **Simuler le Travail**: une aide à la conduite de project. Montrouge: Edições ANACT, 1994. 156 p.

\_\_\_\_\_. Simuler pour Approcher la Réalité des Conditions de Realization du Travail: la Gestion d'un Paradoxe. In: BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. (Ed.). **Colletion Colloques, La Simulation en Ergonomie**: connaître, agir et interagir. Toulouse: Octares Editions, 1997. 136 p.

MENEGON, N. L. Projeto do Trabalho e Projeto de Engenharia: uma aproximação entre teoria do design e ergonomia. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19., 1999, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 1999.

\_\_\_\_\_. **Projeto de Processos de Trabalho**: o caso da atividade do carteiro. 259 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **Termo de Cooperação para Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Área de Ergonomia Aplicada à Indústria de Refino de Petróleo**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2008.

\_\_\_\_\_. Ergonomia em Projetos de Engenharia. In: JORNADA DE ERGONOMIA POLI-USP, 10., 2014, São Paulo, **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2014.

MENEGON, N. L. et al. Pesquisa Antropométrica Embraer. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ERGONOMIA, 7., 2002, Recife, **Anais...** Recife: ABERGO, 2002.

MENEGON, N. L.; CAMAROTTO, J. A.; MATUSITA, S. M. LERs : Diagnóstico, Projeto e Implantação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 1997, Gramado, **Anais...** Gramado: ABEPRO, 1997.

MENEGON, N. L.; COSTA, M. A. B. DA; CAMAROTTO, J. A. A Abordagem Utilizada pelo Grupo SimuCAD: simulação & CAD, no desenvolvimento de Instalações Industriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1997, 18., Gramado, **Anais...** Gramado: ABEPRO, 1997.

MIDLER, C. Modèles Gestionnaires et Régulations Économiques de la Conception. In: TERSSAC, G. DE; FRIEDBERG, E. (Ed.). **Coopération et Conception**. Toulouse: Octares Editions, 1996. 63 – 86 p.

NAGAMACHI, M. Requisites and Practices of Participatory Ergonomics. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 15, n. 5, p. 371–377, 1995.

OLIVÉRIO, J. L. **Projeto de Fábrica**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Livro Científico, 1985. 489 p.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia**. 6. ed. São Paulo: Blücher, 2005. 413 p.

PUGH, S. **Total Design**: integrated methods for successful product engineering. Harlow: Addison-Wesley Publish, 1990. 296 p.

REICH, Y. et al. Varieties and Issues of Participation and Design. **Design Studies**, v. 17, p. 165–180, 1996.

RODRIGUES, D. S. **Interação entre Ergonomia e Projeto**: o trabalho do operador de descoqueamento em uma refinaria de petróleo. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

SALERNO, M. S. **Projeto de Organizações Integradas e Flexíveis: processos, grupos e gestão democrática via espaços de comunicação-negociação**. São Paulo: Atlas, 1999. 216 p.

\_\_\_\_\_. Da Rotinização à Flexibilização: ensaio sobre o pensamento crítico brasileiro de organização do trabalho. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 21–32, 2004.

SANOFF, H. The Application of Participatory Methods in Design and Evaluation. **Design Studies**, v. 6, n. 4, p. 178–180, 1985.

SCHÖN, D. A. **The Reflective Practitioner: how professionals think in action**. Basic Books, 1983. 384 p.

SEIM, R.; BROBERG, O. Participatory Workspace Design: a new approach for ergonomists? **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 40, n. 1, p. 25–33, 2010.

SILVA, J. A. P. **Confiabilidade Humana: uma abordagem baseada na análise ergonômica do trabalho na operação de um painel de equipamento**. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SILVERIO, M. **O Uso da Simulação em Ergonomia de Concepção: uma reflexão a partir do projeto de uma cabine de ponte rolante em uma refinaria de petróleo**. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SMITH, M. J.; SAINFORT, P. C. A Balance Theory of Job Design for Stress Reduction. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 4, n. 1, p. 67–79, 1989.

STAR, S. L.; GRIESEMER, J. R. Institutional Ecology, “Translations” and Boundary Objects: amateurs and professionals in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39. **Social Studies of Science**, v. 19, n. 3, p. 387–420, 1989.

SUNDIN, A.; CHRISTMANSSON, M.; LARSSON, M. A Different Perspective in Participatory Ergonomics in Product Development Improves Assembly Work in the Automotive Industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 33, n. 1, p. 1–14, 2004.

TAYLOR, F. W. **Princípios de Administração Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1980. 134 p.

THEUREAU, J.; JEFFROY, F. **Ergonomie des Situations Informatisées: la conception centrée sur le cours d’action**. Toulouse: Octares Editions, 1994. 336 p.

VINCK, D. De L’objet Intermédiaire à L’objet-frontière. **Cairn**, v. 3, n. 1, p. 51–72, 2009.

VINCK, D.; JEANTET, A. Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design: a conceptual approach. In: MACLEAN, D.; SAVIOTTI, P.; VINCK, D. (Ed.). **Management and New Technology: design, networks and strategy**. Bruxelles: COST Social Science Series, 1995. 111–129 p.

WENGER, E. Communities of Practice and Social Learning Systems. **Organization**, v. 7, n. 2, p. 225–246, 2000.

WISNER, A. A Metodologia em Ergonomia: de ontem a hoje. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (Ed.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. 367–386 p.

WULFF, I. A.; WESTGAARD, R. H.; RASMUSSEN, B. Ergonomic Criteria in Large-scale Engineering Design - II: evaluating and applying requirements in the real world of design. **Applied Ergonomics**, v. 30, n. 3, p. 207–221, 1999.