

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE NO PROCESSO
PRODUTIVO DE CERÂMICAS REFRAATÓRIAS**

Mariana Zarberian Correa

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientadora: Prof^a Dr^a Vádila Giovana Guerra Bettega

São Carlos – SP

2020

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 14 de dezembro de 2020 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof^a Dr^a Vádila Giovana Guerra Bettega, DEQ/UFSCar

Convidado: Ana Paula Ciscato Camillo, Saint Gobain

Professor da Disciplina: Prof. Dr. Gustavo Maia, DEQ/UFSCar

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço,

À toda a minha família, principalmente minha mãe, Eliana Zarberian, a quem devo muito por ter tornado possível meu caminho trilhado até aqui.

Ao meu companheiro André Luis por todo amor e incentivo.

Às minhas amigas Giancolli Cordoni, Monize Machado e Gabriela Paes por estarem sempre presentes.

À minha gestora Ana Paula Camillo pela oportunidade, suporte e confiança.

RESUMO

O termo Indústria 4.0 vem sendo utilizado desde 2011 para descrever de forma generalizada a integração das tecnologias de sistemas de informação e comunicação na manufatura industrial. A troca de informação entre as etapas de um processo proporciona um sistema de produção mais inteligente, capaz de prover soluções de problemas sem a intervenção humana e resultando em aumento de produtividade, qualidade, redução de custos e descentralização na tomada de decisão. Os sistemas de rastreabilidade permitem a análise da cadeia produtiva em tempo real e, juntamente com o MES (Sistema de Execução de Fabricação), documentam o processo de um suprimento desde o momento em que ele é uma matéria-prima até o produto final, com o objetivo de manter a visualização de grande parte das variáveis do processo. A digitalização permite que a indústria mantenha um controle mais efetivo da sua cadeia produtiva, possibilitando a rastreabilidade de uma maneira mais ágil - quando comparada a busca manual de dados, atendendo as necessidades do processo e minimizando a possibilidade de erro, tudo isso com um menor tempo de resposta. Além disso, os dados gerados nesse processo de digitalização auxiliam na identificação de ineficiências no processo, melhorias e também nas tomadas de decisão. A implementação da rastreabilidade exige um mapeamento detalhado de todas as etapas do processo, assim como muitas vezes exige redefinições de forma a minimizar a interação humana e aumentar a eficiência do processo. Na Saint Gobain Performance Ceramics & Refractories são fabricados materiais cerâmicos refratários, que possuem aplicação como revestimento no processo de produção do aço. Dessa forma, este trabalho visa acompanhar, em termos de processo, a implementação de um sistema de rastreabilidade como uma ferramenta que permite a visualização de vários aspectos do histórico de produção dos refratários, com o objetivo de aumentar a competitividade e suprir exigências quanto à qualidade e confiabilidade dos produtos e a transparência dos serviços oferecidos.

ABSTRACT

The term Industry 4.0 has been used since 2011 to describe in a general way the integration of information and communication systems technologies in industrial manufacturing. The exchange of information between the stages of a process provides a smarter production system, capable of providing problem solutions without human intervention and resulting in increased productivity, quality, cost reduction and decentralization in decision making. The traceability systems allow the analysis of the production chain in real time and, together with MES (Manufacturing Execution System), they document the supply process from the moment it is a raw material to the final product, with the objective of maintaining the visualization of a large part of the process variables. Digitization allows the industry to maintain a more effective control of its production chain, enabling traceability in a more agile way - when compared to manual data search, meeting the needs of the process and minimizing the possibility of error, all with less response time. In addition, the data generated in this digitalization process helps to identify inefficiencies in the process, improvements and also in decision making. The implementation of traceability requires a detailed mapping of all stages of the process, just as it often requires redefinitions in order to minimize human interaction and increase the efficiency of the process. At Saint Gobain Performance Ceramics & Refractories, refractory ceramic materials are manufactured, which have application as a coating in the steel production process. Thus, this work aims to accompany, in terms of process, the implementation of a traceability system as a tool that allows the visualization of various aspects of the refractory production history, with the objective of increasing competitiveness and meeting quality requirements and product reliability and the transparency of the services offered.

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA	I
DEDICATÓRIA.....	II
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
SUMÁRIO.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Contextualização do trabalho	1
1.2 - Motivação e expectativas do projeto	1
1.3 - Motivações pessoais	2
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Indústria 4.0	3
2.1.1 - História e conceito	3
2.1.2 - Estágios de maturidade.....	4
2.1.3 - Conceitos e tecnologias	6
2.1.4 - Rastreabilidade	10
2.2 - Siderurgia e refratários.....	11
2.2.1 - Refratários MgO-C.....	13
2.2.2 - Processo de produção.....	14
3- MÉTODO.....	18
3.1 - Modelo cascata de desenvolvimento de projetos de sistemas	18
3.2 - Ignition	19
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 - Importação da Ordem de Produção	20
4.2 - Verificação da Ordem de Produção.....	20
4.3 - Operação	20

4.3.1 - Gestão de versões	22
4.3.2 - Abastecimento de silos	24
4.3.3 - Dosagem de matéria-prima e mistura	25
4.3.4 - Criação de batida, gestão de <i>Aging</i> e da qualidade	27
5- CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 -Revoluções industriais ao longo do tempo.....	4
Figura 2-2 - Estágios de maturidade	5
Figura 2-3 - Pirâmide de nível hierárquico	8
Figura 2-4 - Interação entre sensores, atuadores e CLP	10
Figura 2-5 - Fluxo simplificado de produção do aço	12
Figura 2-6 - Refratários MgO-C aplicado em fornos básicos de oxigênio.....	14
Figura 2-7 - Fluxo simplificado de produção de refratários.....	15
Figura 2-8 - Fluxo simplificado do processo de produção de refratário MgO-C	17
Figura 3-1 - Modelo cascata.....	19
Figura 4-1 - Esquema simplificado da linha de produção.....	21
Figura 4-2 - Classificação de matéria-prima	23
Figura 4-3 - Criação do ciclo de dosagem por família	23
Figura 4-4 - Cartão fórmula	24
Figura 4-5 - Gestão de silos.....	25
Figura 4-6 - Tela de operação	26
Figura 4-7 - Saldo de material na estação de aditivos	27
Figura 4-8 - Tela de pesagem de aditivos.....	27
Figura 4-9 - Tela da prensa	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - Elementos do processo	22
--	----

1- INTRODUÇÃO

1.1 - Contextualização do trabalho

A indústria, ao longo da história, passou por três grandes revoluções marcadas pela elevação o nível tecnológico dos processos, produtos e serviços oferecidos. Num primeiro momento marcado pela mecanização dos processos e uso da força à vapor passando então pela produção em escala, linha de montagem, uso da eletricidade e motores à combustão até a elevação do nível de automação, com uso de computadores, robótica, internet e meios eletrônicos.

O que chamamos de quarta revolução industrial, assim como as outras três anteriores, é um fenômeno de ocorrência mundial, que está não apenas transformando as tecnologias de manufatura mas a forma da gestão empresarial, fazendo uso de novas ferramentas para a gestão da produção e tomada de decisão afim de manter um controle mais efetivo da sua cadeia produtiva.

Desse modo, para que se tenha uma maior visualização e controle da cadeia produtiva em tempo real existem os sistemas de rastreabilidade, que possibilitam não só a compreensão do caminho de uma matéria prima desde o momento em que ela é recebida até o produto final mas também a visualização e controle de outros elementos do processo. Tudo isso se deve à alta competitividade e exigências quanto à qualidade do produto final.

1.2 - Motivação e expectativas do projeto

A Saint-Gobain Cerâmicas fornece refratários para indústria, sendo que uma parte considerável dos contratos de venda é feito em uma modalidade onde o faturamento é vinculado a duração do produto aplicado ao cliente. Sendo assim, a Saint Gobain procura de uma maneira ainda mais incisiva uma forma de melhoria continua de seus produtos.

O sistema de Rastreabilidade implantado nesse estudo é uma ferramenta para poder acompanhar vários aspectos do histórico de produção a partir de um determinado produto final. De forma resumida, a Saint-Gobain passa a obter, a partir de um código de barras de um produto final, informações como: quais lotes de matéria prima compõem o produto final,

intervalo de datas e horário de fabricação, linha de fabricação, operadores, resultado de qualidade e local de aplicação.

1.3 - Motivações pessoais

Fruto de um dos projetos realizados durante um ano de estágio na Saint-Gobain Cerâmicas, este trabalho tem como objetivo apresentar o papel do engenheiro químico no gerenciamento de projetos relacionados à manufatura 4.0.

Há também grande interesse no aprendizado dos campos de conhecimentos aqui apresentados como metodologia e estratégia de gestão de projetos, os pilares e tecnologias habilitadoras da manufatura 4.0, assim como próprio processo de produção e produto em questão.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

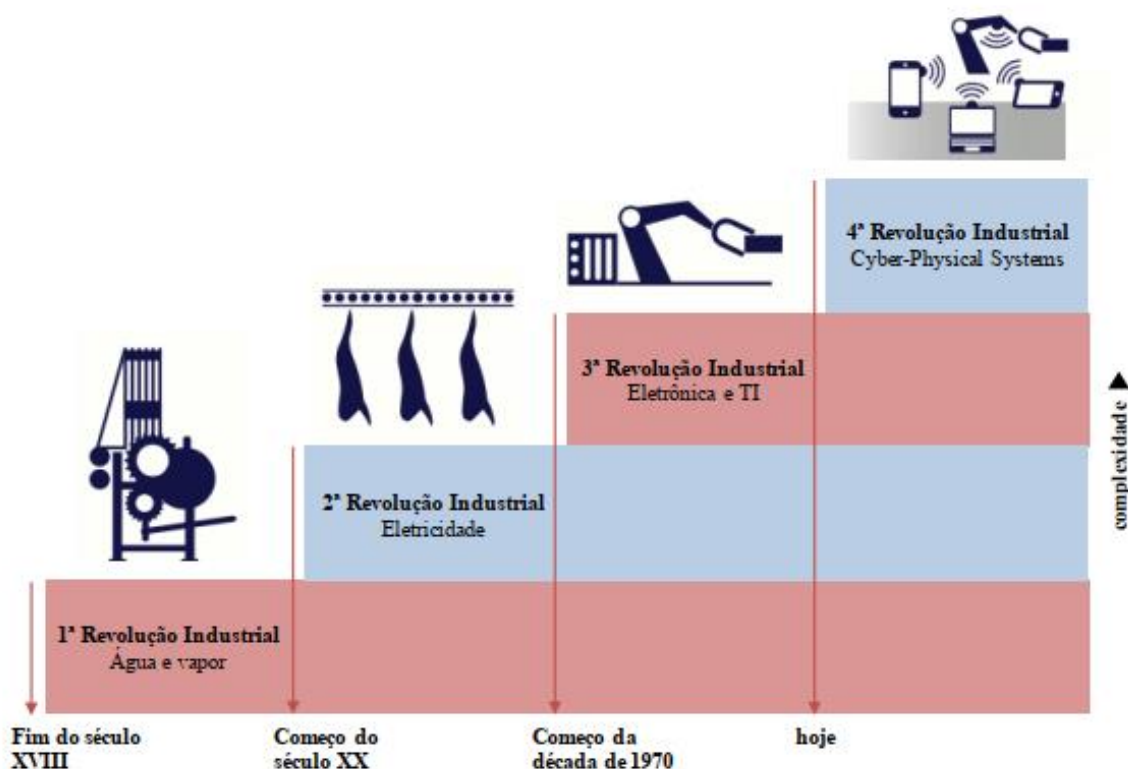
2.1 - Indústria 4.0

2.1.1 - História e conceito

As últimas três revoluções ao longo da história foram marcadas por uma série de inovações tecnológicas, como mecanização, eletricidade e TI (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). No século XVIII, a introdução da manufatura mecânica movida a água e a vapor, especialmente na indústria têxtil, resultou em um aumento significativo de produtividade e marcou o início de um novo momento na manufatura, chamado de Primeira Revolução Industrial. A Segunda revolução Industrial, no começo do século XX, elevou o nível de industrialização através da organização e divisão do trabalho. Já na década de 1970, os controladores lógicos programáveis permitiram a elevação da automação nas indústrias de um modo geral, esse período foi denominado de Terceira Revolução Industrial (SAKURAI; ZUCHI, 2018). Atualmente, o uso de tecnologias como a Big Data e de servidores têm sido responsáveis pelo desdobramento de uma Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Figura 2.1 representa a evolução da indústria ao longo do tempo.

As empresas estabelecerão redes globais que incorporarão suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção sob a forma de Sistemas Ciber-Físicos (CPS). No ambiente de produção, os CPS incluem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de realizar a trocar informações, suscitando ações e controlando umas às outras independentemente (HERMANN; PENTTEK; OTTO, 2015). Toda essa abordagem facilita melhorias fundamentais para os processos industriais que envolvem tanto a manufatura como a própria engenharia, o uso de materiais, sistemas de estoque e gestão da cadeia de suprimentos. As fábricas inteligentes já são realidade e empregam uma abordagem completamente nova para a produção, operação e gestão dos negócios (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Figura 2.1 - Revoluções industriais ao longo do tempo



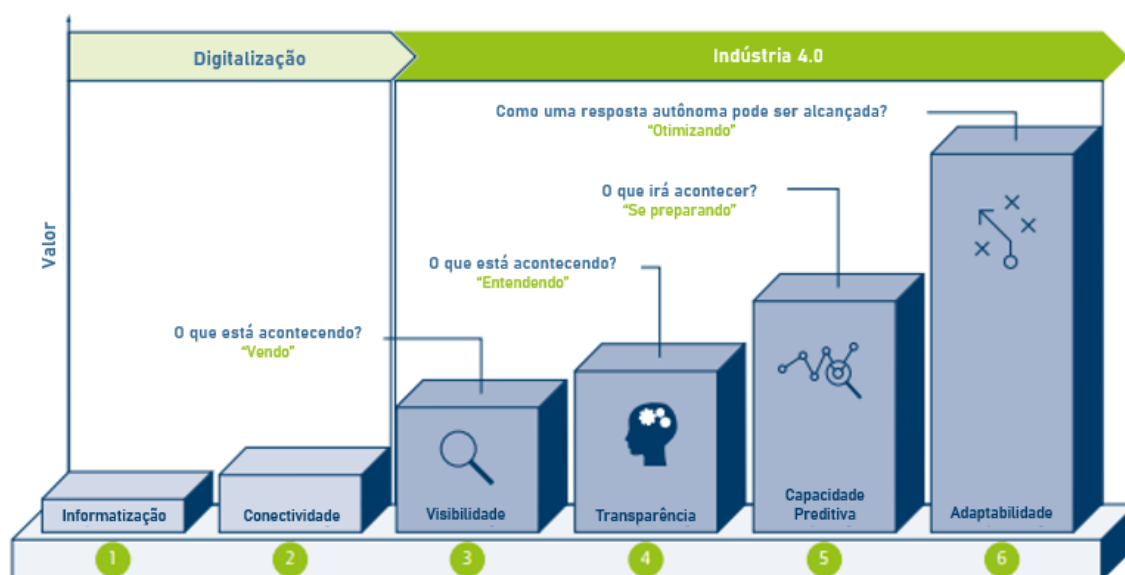
Fonte: Arquivo pessoal. Adaptado de Kagermann, Lukas, e Wahlster, 2013.

2.1.2 - Estágios de maturidade

Há níveis de desenvolvimento que ajudam as empresas a navegar em todos os estágios da transformação, desde os requisitos básicos para a Indústria 4.0 até a implementação completa. Uma vez que o estágio desejado depende da estratégia de negócios, cabe a cada empresa decidir qual estágio de maturidade representa o melhor equilíbrio entre custos, capacidades e benefícios para sua realidade, levando em consideração como esses requisitos mudam de acordo com as mudanças no ambiente de negócios e a estratégia da empresa ao longo do tempo (GÄRTNER, 2018). A Figura 2-2 apresenta de forma resumida os níveis de maturidade.

A informatização é a primeira etapa do desenvolvimento e serve de base para a digitalização. Nesta fase, diferentes tecnologias de informação são utilizadas, mas isoladas uma das outras (GÄRTNER, 2018).

Figura 2-2 - Estágios de maturidade



Fonte: Arquivo pessoal. Adaptado de GÄRTNER, 2018

No estágio da conectividade, a implantação isolada de sistemas de informação é substituída por componentes conectados com o intuito de cruzar informações de toda a indústria, desde a produção até o sistema de vendas. O acesso aos dados a partir do sistema ERP e MES garante, além da conectividade, a interoperabilidade e a transparência dos processos de negócios através da integração entre a tecnologia operacional e a da informação (NAKAYAMA, 2017).

No etapa da visibilidade, sensores permitem que dados de diferentes pontos da cadeia produtiva sejam gerados, tornando possível um mapeamento da produção e obtenção de informações em tempo real, integrando essas informações para toda a empresa e não apenas para células isoladas de fabricação (CARON; LIMA, 2018).

A etapa seguinte no processo de desenvolvimento é a transparência, outra grande vantagem da Indústria 4.0, que proporciona maior controle das informações geradas não só pela produção, mas como de todas as áreas que envolvem o processo produtivo. Além de tornar a empresa mais transparente nos negócios, com dados precisos sobre matéria-prima e outros recursos, aumenta o nível de utilização da capacidade instalada, trazendo mais flexibilidade e eficiência (GOMES; SANTOS; CAMPOS, 2018).

Em um nível de maturidade mais avançado, a capacidade preditiva permite um sistema, baseando-se em dados gerados em tempo real e algoritmos avançados de compreensão de máquinas e padrão de produção, realizar previsões de comportamento, ou funcionalidade, para um determinado horizonte de tempo futuro (SANTOS et al., 2018).

Por fim, a adaptabilidade é alcançada ao utilizar os dados gerados nos estágios anteriores para tomar as melhores decisões no menor tempo possível, para aplicar as medidas com ações autônomas, ou seja, sem intervenção humana (GÄRTNER, 2018).

2.1.3 - Conceitos e tecnologias

O caminho para o processo industrial alcançar a flexibilidade e eficiência desejada necessita de uma estrutura integrada que permita o acesso às informações da produção em tempo real. De forma a acelerar a transição entre os níveis de maturidade, um conjunto de tecnologias e conceitos chave são responsáveis por essa transição do ambiente de produção tradicional para o ambiente descentralizado exigido pela Indústria 4.0 (SANTOS et al., 2018). Esses novos conceitos e tecnologias serão abordados a seguir.

2.1.3.1 - Sistemas ciber-físicos

Os sistemas ciber-físicos (CyberPhysical Systems - CPS) são, de forma resumida, a interface entre os sistemas físicos e os sistemas virtuais (PIRES, 2016). Esses Sistemas são compostos por máquinas inteligentes, sistemas de estoque e chão de fábrica capazes de trocar informações de forma autônoma, disparar ações e controlar uns aos outros de forma independente. Com isso, melhorias fundamentais para os processos industriais envolvidos na fabricação, engenharia, uso de materiais e gestão da cadeia de suprimentos e do ciclo de vida são identificadas mais facilmente (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

2.1.3.2 - Big data

O Big Data refere-se não só a tendência das tecnologias de informação e comunicação de processar e armazenar um grande volume de dado, mas também é entendido como um conjunto de técnicas e ferramentas computacionais utilizadas na extração de valor desses dados (COELHO, 2016). A tecnologia tem como objetivo fornecer dados de forma a obter informação suficiente para analisar e facilitar uma rápida tomada de decisão (MARTINS, 2018). Além do volume de dados, outros aspectos também são importantes para a funcionalidade da tecnologia, como a utilização de diferentes fontes e tipos de dados, chamado de variedade e a produção em tempo real destas informações, denominada

velocidade. É de suma importância também a veracidade desses dados, que diz respeito à reputação de origem e confiabilidade, assim como o potencial de valor desses dados, gerando significado para os negócios (SILVEIRA; MARCOLIN; RODRIGUES FREITAS, 2015).

2.1.3.3 - Segurança cibernética

Toda a informação gerada tem importância estratégica e é fomentada com a utilização das ferramentas da tecnologia da informação nos processos organizacionais e exige proteção apropriada. Brechas na segurança podem arriscar informações importantes como segredos industriais à ataques cibernéticos que podem representar tanto prejuízos financeiros como danos à imagem da organização. A segurança da informação pode ser definida como um conjunto de ações e boas práticas de proteção de dados, garantindo sua confidencialidade, integridade, disponibilidade e autenticidade (PEDRIALI; ARIMA; PIACENTE, 2019). Neste sentido, paralelamente aos desenvolvimentos tecnológicos e ao número de usuários, cresce também a preocupação tanto com os conteúdos quanto com o tipo de uso, e a respectiva segurança da rede (CANONGIA; JUNIOR, 2009).

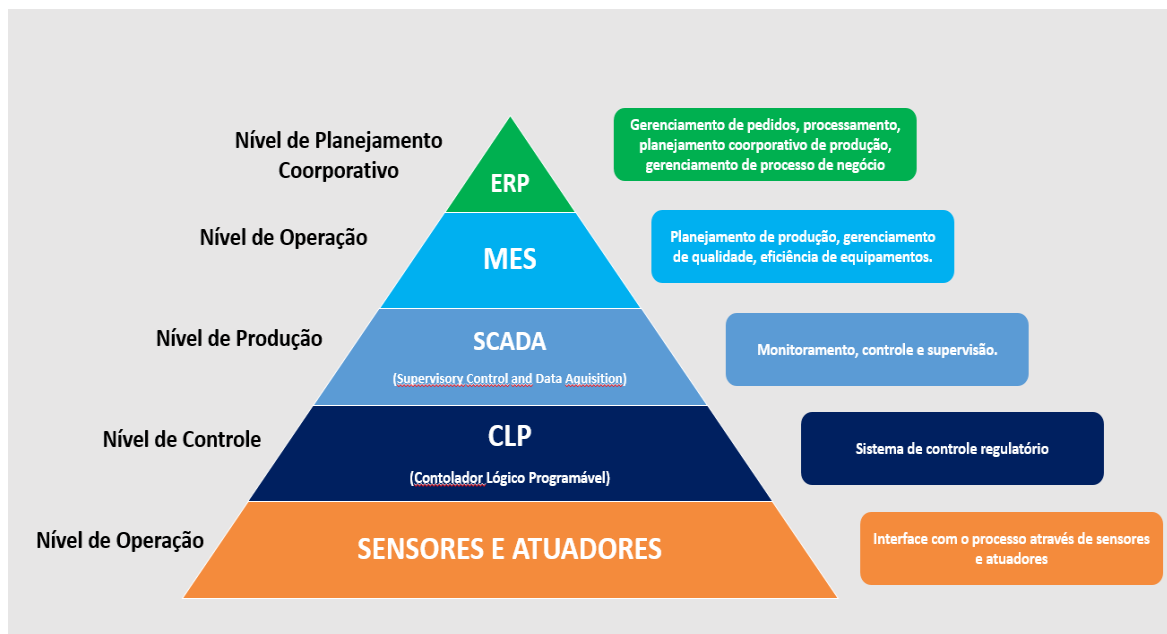
2.1.3.4 - Verticalização

A integração vertical diz respeito à integração de sistemas através de níveis hierárquicos relacionados à fábrica. Explanando a integração na indústria 4.0, a integração horizontal diz respeito a conexão entre a fábrica e toda cadeia de valor externa à planta. Já a integração vertical permite a conexão entre todos os níveis da fábrica, do chão de fábrica até os executivos. São considerados os seguintes níveis: o nível de campo (chão de fábrica); nível de controle (regularização); nível de produção (o que precisa ser monitorado e controlado); nível de operações (planejamento da produção) e, por fim, o nível de planejamento empresarial (gerenciamento e processamento de pedidos) (GONÇALVES et al., 2019). Os níveis citados acima estão relacionados na Figura 2-3.

Os sistemas de planejamento dos recursos da empresa (*Enterprise Resource Planning* – ERP) são responsáveis pelo rastreamento e visibilidade da informação de qualquer parte da empresa e de sua cadeia de suprimento que, fornecida em tempo real, é responsável pela melhora da qualidade das decisões operacionais. O ERP registra a informação enquanto que

a Internet permite a visibilidade. SAP, Peoplesoft, Oracle e Baan são exemplos de softwares de planejamento de recursos (CHOPRA; MEINDL, 2002).

Figura 2-3 - Pirâmide de nível hierárquico



Fonte: Arquivo pessoal.

Estes Sistemas, também chamados no Brasil de Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, controlam e fornecem suporte a todos os processos operacionais, produtivos, administrativos e comerciais da empresa. Todas as transações realizadas pela empresa devem ser registradas para que as consultas extraídas do sistema possam refletir o máximo possível a realidade (PADILHA; MARINS, 2005).

O ERP é um instrumento para a melhoria de processos de negócios, como a produção, compras ou distribuição. Em suma, o sistema permite visualizar por completo as transações efetuadas pela empresa, desenhando um amplo cenário de seus negócios (CHOPRA; MEINDL, 2002).

Os sistemas ERP não são apropriados para o controle do dia a dia de um chão-de-fábrica, e por esse motivo surgiu na década de 1990 um novo tipo de software para a indústria denominado MES (CHOI; KIM, 2002).

O Manufacturing Execution System ou Sistema de Execução de Manufatura é um sistema que reúne métodos e instrumentos para realização e controle da produção. O MES permite que os sistemas de planejamento de manufatura, como o ERP, e os sistemas de controle e equipamentos de chão-de-fábrica sejam integrados, registrando os dados tanto das

informações de produção em tempo real, como das informações das máquinas, robôs e empregados do chão de fábrica (BERTI, 2010).

Previamente ao MES, os dados de gerenciamento de produção eram administrados por folhas impressas, ou por meio de planilhas eletrônicas com dados coletados e imputados manualmente no chão-de-fábrica. Esse tipo de informação não tinha muita confiabilidade, por diversas vezes esses dados poderiam se encontrar desatualizados, volumosos e difíceis de compreender (BERTI, 2010).

Há um sistema específico para cada tipo de processo de produção de manufatura, correspondendo ao limite entre os planos provisórios e a ação. O MES armazena e gerencia a programação de atividades em um sistema de produção de forma detalhada, incluindo o lançamento das ordens de produção, a resposta a eventos aleatórios, as adaptações dos planos e o acompanhamento das atividades (PASCAL et al., 2007).

Controle de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) é uma tecnologia que permite ao usuário coletar dados de uma ou mais instalações distantes e enviar ações de controle ou instruções para essas instalações (LAVIE, 1983). Tradicionalmente, a maioria dos sistemas SCADA são projetados para sistemas mais fechados e ambientes industriais controlados. Tradicionalmente, os sistemas SCADA têm sido amplamente utilizados em automação e produção industrial administrando uma infinidade de sensores e controladores, sendo que maioria desses sensores estão conectados a uma máquina ou rede de chão de fábrica; enquanto alguns deles já possuem conexão sem fio (NECHIBVUTE; MUDZINGWA, 2013).

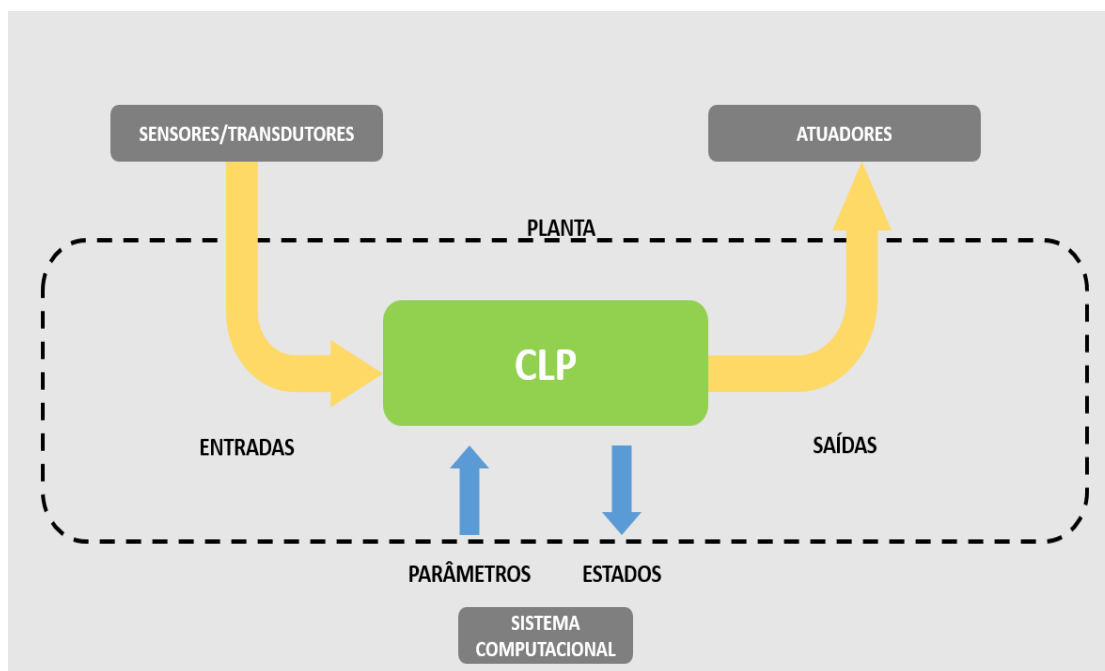
Os controladores lógicos programáveis são dispositivos que possuem uma memória programável pelo usuário e realiza funções de controle, comando e supervisão de processos industriais. Toda planta industrial necessita de algum tipo de controlador para garantir uma operação segura e economicamente viável. Embora existam tamanhos e complexidades diferentes, todos os sistemas de controle podem ser divididos em três partes: os sensores ou transdutores, os controladores e os atuadores (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

Sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia, seja ela elétrica, eletrônica, mecânica ou biológica, capazes de responder a estímulos de natureza física como temperatura, pressão, velocidade, aceleração, luminosidade entre outros. Converte um sinal físico em elétrico para ser utilizado pelo CLP (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2018).

Atuadores são dispositivos que tem a função de aplicar ou fazer atuar energia mecânica sobre um sistema, levando-a a realizar um determinado trabalho. São capazes de modificar a variável controlada a partir de um estímulo do controlador (THOMAZINI;

ALBUQUERQUE, 2018). O atuador converte o sinal elétrico oriundo do CLP em uma condição física, normalmente ligando ou desligando algum elemento. Os atuadores são conectados às saídas do CLP (FRANCHI; CAMARGO, 2008), conforme mostra a Figura 2-4.

Figura 2-4 -Interação entre sensores, atuadores e CLP



Fonte: Arquivo pessoal.

2.1.4 - Rastreabilidade

A rastreabilidade permite identificar dados e fatos, referentes a um produto, durante o ciclo de sua cadeia produtiva, baseando-se no registro histórico dos acontecimentos do processo (LIRANI, 2005).

Recomenda-se que o registro das informações essenciais para a rastreabilidade seja feito por meio de forma digital, por meio da captura automática de dados. Além de mais ágil, evita erros provenientes da digitação no registro dos dados. É necessário que as informações dos produtos, da matéria-prima utilizada para produção e o processo de fabricação no qual foi utilizada estejam vinculadas. O sistema deve disponibilizar informações claras e rapidamente, afim de facilitar a tomada de decisão e evitar problemas e riscos (OLIVEIRA; SOUSA; SANTIAGO, 2011).

Um sistema de rastreabilidade tem como objetivo a garantia de um produto conforme para o consumidor final, através do controle e monitoramento de todas as etapas envolvidas: fabricação, logística e comercialização, que forneça os dados da produção entre o produto final e a matéria-prima utilizada (SILVA; GASPAROTTO, 2020).

Os princípios que orientaram a criação do modelo foi um sistema de registros de fácil entendimento e manuseio, com informações facilmente interpretadas pelos operadores e demais usuários, se apoiando em tecnologias de fácil compreensão a todos (OLIVEIRA; SOUSA; SANTIAGO, 2011).

Afim de garantir o funcionamento correto de um sistema de rastreabilidade, sem lacunas de informação, e que possibilite gerenciar o processo permitindo melhorias, é necessário seguir três princípios básicos (DICKINSON; BAILEY, 2002):

- **Identificação:** identificação de matérias-primas e etapas do processo assim como a identificação por lotes únicos e exclusivos de produto, em produção ou produzido, é a base de um sistema preciso. A partir desses dados, é possível criar um histórico para essa unidade de produto, com informações das matérias-primas utilizadas em sua composição, resultados de análises, fornecedores, composição, tempo de processamento e operador responsável;

- **Análise:** Identificadas as variáveis de forma correta, é possível analisar detalhadamente através de recursos como dados e variáveis de processo para tomada de decisão, assim como identificar falhas no processo;

- **Correção:** feita a análise das informações de forma confiável é possível corrigir falhas identificadas no processo e monitorar os resultados afim de se certificar de que as ações tomadas são eficientes.

Dessa forma, os sistemas de rastreabilidade funcionam como uma ferramenta de melhoria contínua ao longo do tempo, além de aumentar a competitividade, diferenciando o produto da concorrência, e fortalecendo a relação de confiança com o cliente final.

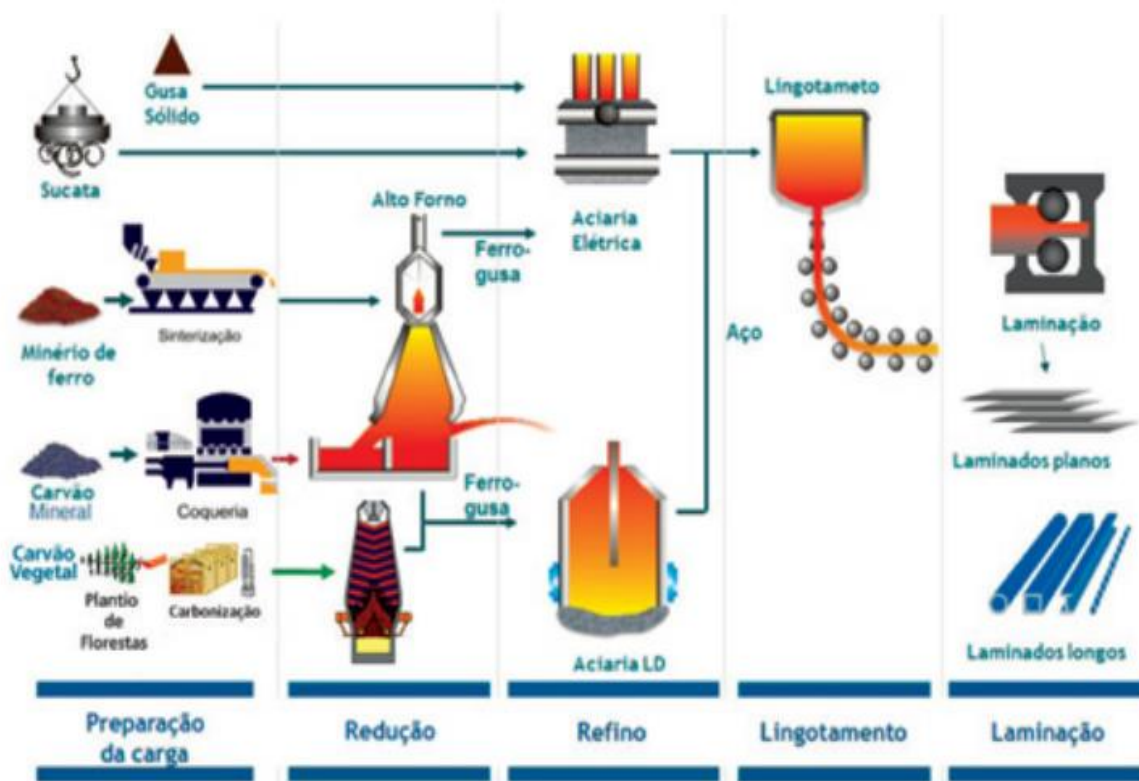
2.2 - Siderurgia e refratários

Podemos definir o processo metalúrgico como a sucessão de tratamentos físicos e químicos a que os minerais são submetidos para a extração de metais. O minério de ferro, após descoberto, passou a ser a principal matéria-prima e responsável pela expansão da siderurgia no mundo. O processo siderúrgico evoluiu ao longo de 3.000 anos com a humanidade mas sua essência ainda é a mesma: uma fonte de carbono e uma fonte de ar com

o intuito de beneficiar o minério que, através de processos térmico e mecânicos, transforma-se em aço (MOURÃO, 2007).

As usinas siderúrgicas modernas são divididas em dois grupos: as usinas integradas e as semi-integradas. Nas usinas integradas a matéria-prima é o minério de ferro, que é transformado em ferro nos altos-fornos da própria usina. Já nas usinas semi-integradas, o aço é produzido a partir de ferro secundário, não havendo redução do minério na própria usina. Nas usinas siderúrgicas integradas atuais, o processo de transformação das matérias-primas em produto final é composto pelas seguintes etapas: extração do ferro de seu minério nos altos-fornos; a conversão do ferro gusa, produto intermediário, em aço; o lingotamento do aço líquido de forma a solidificar em forma conveniente para as operações seguintes; e, finalmente, a conformação do metal na forma de produto (MOURÃO, 2007). A Figura 2-5 representa a produção de aço em usinas integradas e semi-integradas.

Figura 2-5 -Fluxo simplificado de produção do aço



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2012.

Afim de possibilitar a realização das operações de uma indústria siderúrgica mantendo o desempenho, preservando a estrutura dos equipamentos e a segurança operacional é de suma importância o revestimento dos equipamentos com materiais refratários, visto que as

temperaturas de atuação são muito elevadas. Os revestimentos refratários são usados nas usinas siderúrgicas visando a contenção do metal líquido e isolamento térmico, contribuindo assim para a melhoria da limpidez do aço. Os refratários possuem uma gama de aplicações industriais, podendo ser utilizados em indústrias siderúrgicas, de cimento, cerâmica, fundição, vidro, alumínio, química e petroquímica (COTTA; RODRIGUES, 2014).

Há uma grande diversidade no fornecimento de materiais refratários e muitos desses materiais são desenvolvidos para aplicações e condições de processo específicas. A escolha do refratário adequado para cada aplicação depende do mecanismo físico-químico que é predominante no processo (IBAR, 2012).

Seis óxidos formam a base dos produtos refratários: alumina (Al_2O_3), magnésia (MgO), sílica (SiO_2), zircônia (ZrO_2), cal (CaO) e óxido crômico (Cr_2O_3) (WALKER, 2005).

De acordo com o processo de fabricação, os refratários são classificados em dois grupos: materiais conformados e materiais não conformados. Os materiais conformados, ou moldados, são aqueles materiais moldados antes de sua utilização, como: tijolos, blocos, placas, etc. Os materiais não conformados, ou monolíticos, são aqueles moldados no momento de sua aplicação, como os concretos e argamassas refratárias, entre outros (SOBROSA, 2014).

2.2.1 - Refratários MgO-C

Os tijolos refratários de magnésia-carbono ($MgO-C$) são amplamente utilizados na indústria do aço, aplicado principalmente em fornos básicos de oxigênio, fornos elétricos e panela. O processo siderúrgico apresentam condições químicas, térmicas e mecânicas extremas que demandam um alto desempenho dos materiais de revestimento, afim de suportar a ação do banho de aço fundido e da escória (LASQUIBAR; RIBERA, 1989). As principais matérias-primas dos refratários $MgO-C$ são: magnésia, sinterizada ou eletrofundida; grafita lamelar, ligante orgânico (alcatrão, piche ou resina fenólica) e aditivos anti-oxidantes na forma de pós metálicos, tais como silício, alumínio ou misturas de ambos (NEDOCHETKO; TOFFOLI, 2019). A Figura 2-6 mostra os refratários de magnésia carbono aplicado na siderúrgica.

Figura 2-6 - Refratários MgO-C aplicado em fornos básicos de oxigênio

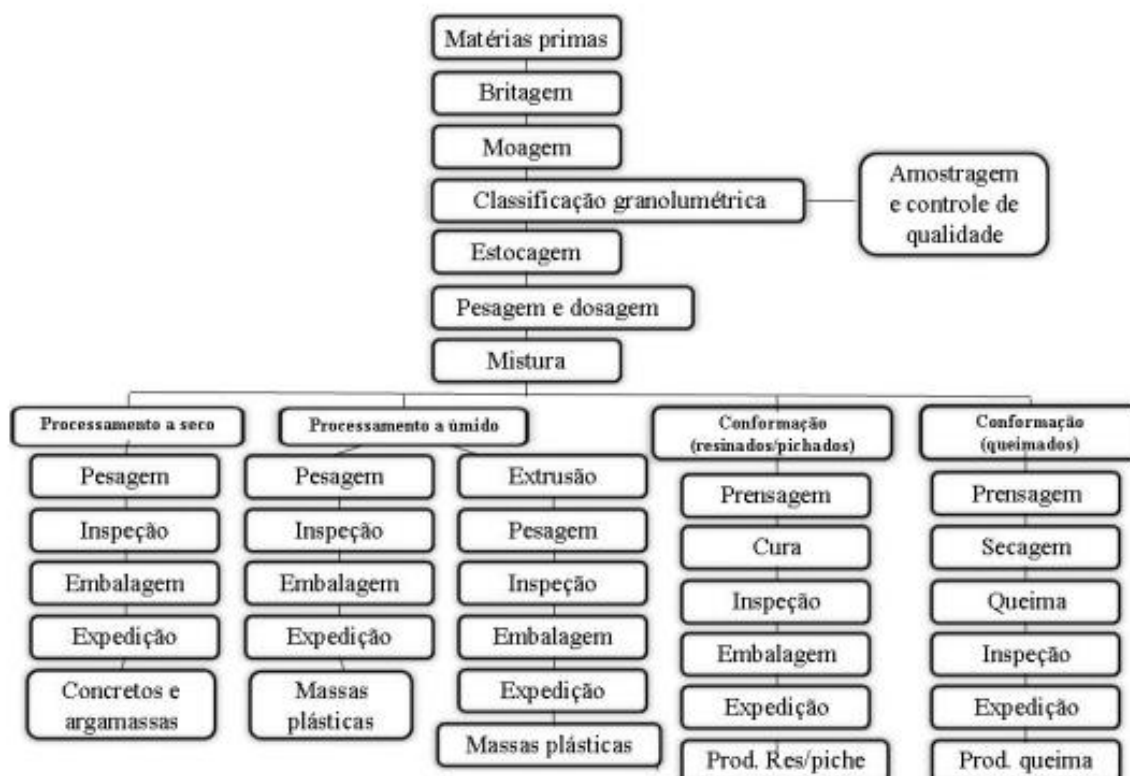


Fonte: Arquivo Pessoal.

2.2.2 - Processo de produção

O processo de fabricação de refratários é muito diverso, variando de acordo com as propriedades e o local de aplicação. A grande quantidade de tipos de refratários gera uma série de classificações. Quanto à forma, os refratários podem ser classificados em moldados (conformados) e monolíticos (não conformados), como citado anteriormente. São classificados também quanto à composição química: refratários básicos, não básicos e especiais; e de acordo com o tratamento térmico em queimados, eletrofundidos, quimicamente ligados e pré-moldados; e quanto ao poder de isolamento em densos e isolantes. No entanto, de forma geral, o processo segue o seguinte fluxo apresentado abaixo na Figura 2-7:

Figura 2-7 -Fluxo simplificado de produção de refratários



Fonte: Arquivo Pessoal. Adaptada de Silva, 2011.

A produção de um material refratário envolve, inicialmente, a preparação das matérias-primas que serão utilizadas, através de britagem, moagem e classificação granulométrica. Após esta etapa, podem ser estocadas, para uma posterior pesagem e dosagem nas quantidades especificadas para cada produto. Em sequência as matérias-primas são misturadas, em um programa específico para o refratário desejado. A etapa seguinte dependerá da classe de refratário a ser produzida: aqueles que necessitam de conformação (moldados) são então prensados, curados ou queimados, para serem embalados; já os outros (monolíticos) são apenas misturados e embalados (COTTA; RODRIGUES, 2014).

Para se alcançar o tamanho ideal de partícula, a matéria passa por um processo de fragmentação até chegar no tamanho especificado. Para isso são realizados esforços combinados de impacto, compressão, atrito e abrasão. Na moagem, o objetivo é homogeneizar as matérias-primas afim de garantir um bom desempenho do processo. Nesse processo podem ser utilizados moinhos vibratórios e moinhos de bolas (RING, 1996)

Os grãos com diferentes classificações granulométricas são utilizados em proporções diferentes determinadas por especificação na etapa da mistura afim de garantir a qualidade do produto. Na etapa da dosagem de matéria-prima, o principal objetivo é garantir que os

materiais sejam dosados de acordo com a formulação ou carta de dosagem e, em seguida, homogeneizados física e quimicamente (RING, 1996).

O processo de mistura dos sistemas particulados envolve o transporte de matéria afim de homogeneizar as matérias-primas. O mecanismo básico associado ao processo mecânico de mistura é por transporte de massa. Este mecanismo tem como controle de processo o tempo de mistura, a sequência de adição das matérias-primas, a curva granulométrica e a plasticidade da massa. Misturar é uma arte pontuada por uma atenção meticulosa aos detalhes (CARNIGLIA; BARNA, 1992).

O processo de mistura de materiais particulados envolve um misturador adequado para cada tipo de material. A aderência de mistura residual na parede deve ser evitada e levada em conta no projeto do misturador. Ultrapassar a capacidade também pode prejudicar a qualidade da mistura. (CARNIGLIA; BARNA, 1992).

A etapa de conformação pode ser via prensagem, moldagem e vibração, sendo a prensagem o mais utilizado. Esse processo varia de acordo com as características físicas do produto desejada (RING, 1996).

Após a conformação temos o que chamamos de cerâmica a verde que, durante a sinterização, é aquecido a temperaturas muito altas, próximas ao ponto de fusão da cerâmica. Durante esse processo de queima, ocorrem mudanças no tamanho e forma do grão e também mudanças no tamanho e forma dos poros. No tratamento térmico as peças de refratários obtêm suas propriedades finais. Em um forno, as peças podem passar por três etapas: pré-aquecimento, zona de queima e resfriamento. Alguns tipos de refratários podem passar apenas por um processo de cura a temperaturas relativamente mais baixas que seu ponto de fusão (RING, 1996).

Os refratários de MgO-C são preparados usando fontes de alta qualidade de magnésia e carbono e ligadas com aglutinante orgânico com alto teor de carbono com algum pó metálico como antioxidantes para proteger o carbono. Esses refratários de MgO-C são moldados em alta pressão e curados. Como o refratário contém carbono (grafite como fonte), eles não são queimados, pois o carbono se oxida nas condições ambientais de queima. Além disso, o grafite, sendo um material hidrofóbico, não se dispersa no sistema contendo água, portanto, para se obter uma distribuição adequada e uniforme do carbono com magnésia, são usados ligantes orgânicos como breu, alcatrão, resina etc. Esses ligantes polimerizam sob determinadas condições, retendo a forma e fornecendo resistência (SARKAR, 2016).

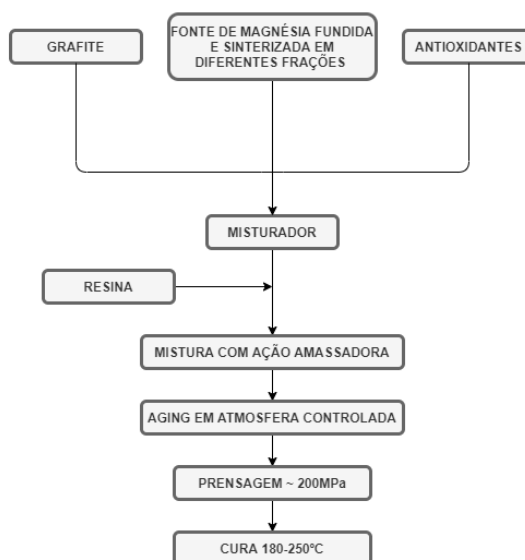
No processo de fabricação, primeiro as matérias-primas magnésia sinterizada e fundida com diferentes faixas granulométricas, grafite e aditivos (principalmente

antioxidantes) são misturados e, durante a mistura, a resina é adicionada. Em seguida, a mistura continua batendo por cerca de 30 min. A viscosidade especificada da resina é mantida em um tanque aquecido na faixa de 6000-8000 cps para a distribuição adequada de grafite e outros materiais mais finos. Um misturador adequado também é necessário para um melhor desempenho, melhorando a homogeneidade e qualidade da mistura. Para isso, são utilizados misturadores de baixa capacidade mas muito potentes (SARKAR, 2016).

Depois de deixar o misturador, a mistura passa por um processo de envelhecimento ou *Aging*, o que auxilia na polimerização do carbono pelo mecanismo de intertravamento carbono-carbono. Após o *Aging*, a mistura é então moldada, geralmente por prensagem uniaxial em uma prensa hidráulica ou de fricção. A durabilidade e o desempenho dos refratários de MgO-C dependem da compactação, densidade e porosidade do corpo, portanto, uma pressão muito alta, de até cerca de 200 MPa, é usada para compactação (SARKAR, 2016).

Após a prensagem, temos a cura, um processo de tratamento térmico entre 180°C e 250°C dependendo do tipo e das propriedades da resina para remover as matérias voláteis dos ligantes orgânicos e formar uma rede de cadeia de carbono que confere resistência (SARKAR, 2016). Na Figura 2-8 temos o fluxo simplificado do processo de produção.

Figura 2-8 - Fluxo simplificado do processo de produção de refratário MgO-C



Fonte: Arquivo pessoal. Adaptado de Sarkar, 2016.

3– MÉTODO

O objetivo central deste trabalho é apresentar um projeto de implementação de um sistema de rastreabilidade de produto na fábrica de refratários Magnésia-Carbono na Saint Gobain Performance & Refractories, conforme apresentado anteriormente.

Para atingir este objetivo, foi proposta uma abordagem sustentada na divisão do processo em diferentes etapas, afim de facilitar o mapeamento e desenvolvimento do projeto em questão. As etapas são:

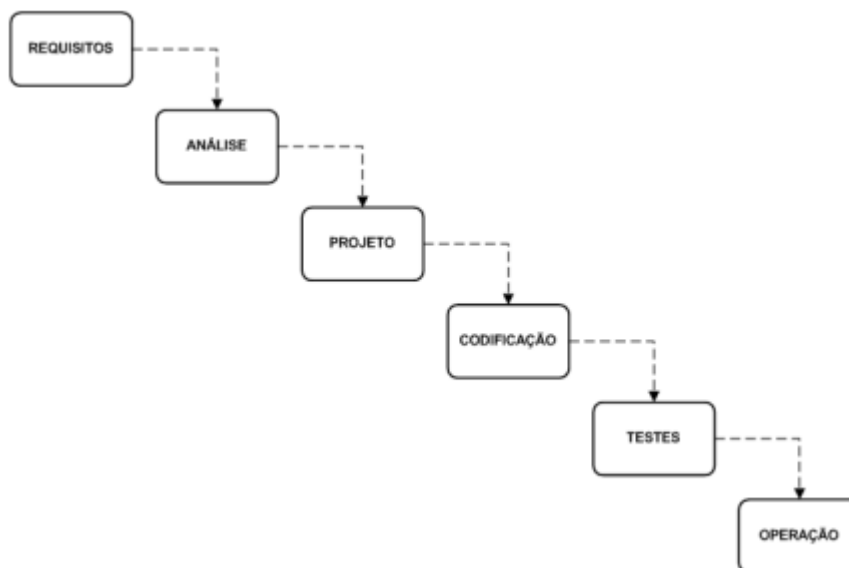
- Importação da Ordem de produção;
- Verificação da Ordem de produção;
- Operação: gestão de versões de produtos, armazenagem de matéria-prima, dosagem de matéria-prima, ordem de mistura, criação de batida e gestão de *Aging*;
- Qualidade;
- Prensagem.

Para cada etapa apresentada acima, foi utilizado um modelo cascata aproximado ao modelo de Royce, descrito no tópico abaixo.

3.1 - Modelo cascata de desenvolvimento de projetos de sistemas

O modelo cascata, proposto por Royce (1970), auxilia a gestão e implementação de grandes projetos de desenvolvimento de softwares. A Figura 3-1 apresenta o modelo simplificado, de forma a apresentar as etapas que o compõem: requisitos, análise, projeto, codificação, testes e operação (ROYCE, 1970).

A primeira etapa do desenvolvimento é o levantamento de requisitos, tanto de software quanto do processo. Na etapa de análise, os requisitos são formalizados e especificados e diagramas de fluxo de dados são criados. A terceira etapa, de projeto, traduz todos os requisitos levantados em representações de software, para que então a codificação se inicie. Em seguida, são feitos testes para validação e, tendo o projeto validado, ele entra em operação.

Figura 3-1 -Modelo cascata

Fonte: Arquivo pessoal. Adaptado de Royce, 1970.

3.2 - Ignition

A plataforma que possibilitou a construção das interfaces de gestão da produção, operação e da rastreabilidade nos tópicos descritos acima chama-se *Ignition*.

O *Ignition* é uma plataforma para MES (sistema de execução de manufatura) permitindo a conexão, monitoramento e controle dos dados de manufatura para criar sistemas que garantam a execução eficaz das operações e melhor saída de produção. Além disso, as ferramentas disponíveis na plataforma fornecem controle, rastreabilidade e documentação da transformação de matérias-primas em produtos acabados em tempo real.

4– RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico do trabalho serão apresentados os desenvolvimentos e resultados da implementação do sistema. Também serão apresentados protótipos das telas criadas para a gestão de todos os processos que envolvem a cadeia produtiva, uma vez que as telas originais configuram segredo industrial. Para melhor apresentar o processo, os desenvolvimentos em etapas serão divididos como mostrado no item 3, que apresenta a descrição do método.

4.1 - Importação da Ordem de Produção

A primeira etapa diz respeito à importação das informações do material a ser produzido do sistema ERP da empresa (SAP) para o sistema de rastreabilidade. Essa etapa envolve o Planejamento e Controle da Produção, área que define os materiais disponíveis em estoque para a produção de acordo com a versão da receita do produto estabelecida pelo Departamento Técnico, assim como a quantidade de material de acordo com o pedido e em qual linha será produzido. Essas informações estão contidas na Ordem de Produção (OP) e, feita a importação para o sistema, essa ordem de produção tem o status de importada (I).

4.2 - Verificação da Ordem de Produção

Uma vez que a OP é importada para o sistema, cabe à liderança da linha conferir as informações como o cartão fórmula, disponibilidade de matéria-prima, operadores e máquinas, definir qual o tipo de material, a ordem de prioridade e enviar para a produção. Feita a verificação, a OP passa para o status de verificada (V).

4.3 - Operação

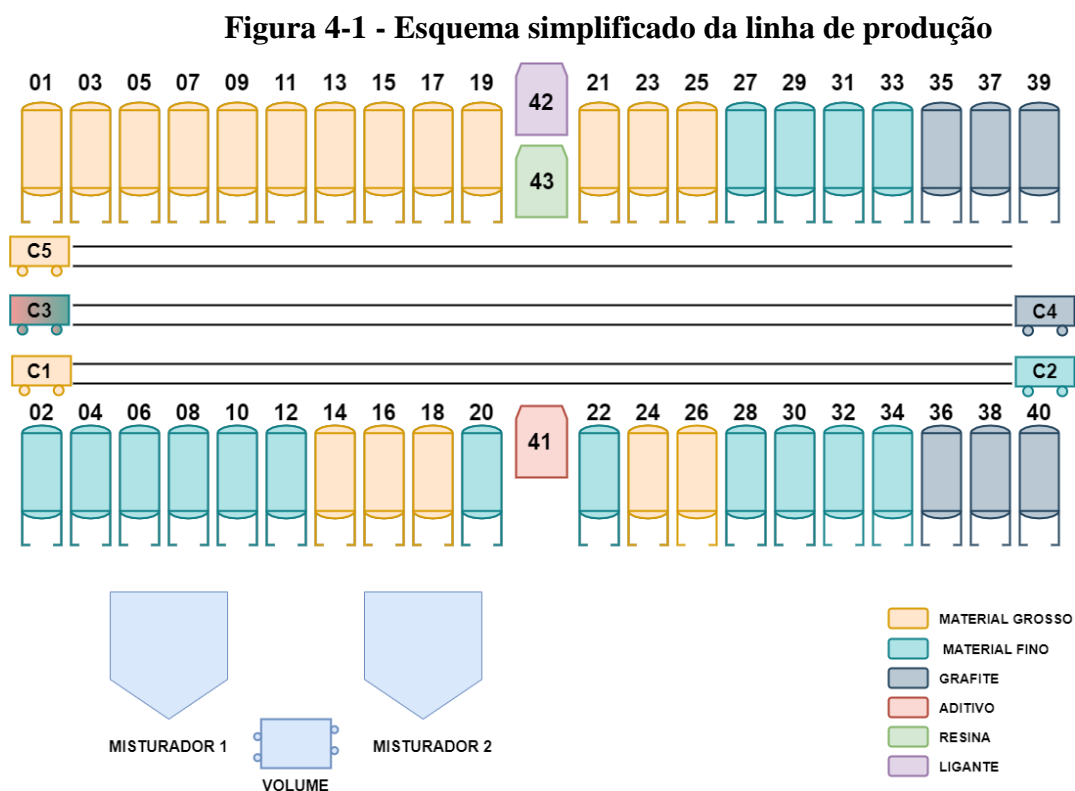
Após a verificação, a ordem de produção está disponível para entrar em operação de fato. A linha de produção é composta por quarenta silos, cinco carros dosadores, um tanque de resina, um tanque de ligante, uma estação de pesagem manual de aditivos e dois misturadores, conforme indicado na Figura 4-1.

Cada silo possui um material de referência, onde são armazenados materiais equivalentes. O tipo de acesso do silo ao carro varia de acordo com a granulometria do

material afim de facilitar a dosagem: para materiais muito finos, a dosagem é feita por uma rosca dosadora e, para grãos e materiais mais grossos, a dosagem é feita por uma calha vibratória.

Cada carro é responsável por dosar o material contido em determinados silos, levando em conta o acesso físico e evitar possíveis contaminações de linha.

Após a dosagem, os materiais são depositados nos misturadores. Existe uma ordem especificada em que os materiais devem ser misturados, com intervalos de batida diferentes entre cada novo material que é depositado no misturador. Essa ordem e intervalos de batida a cada material que é adicionado à mistura é chamado de ciclo. Ao fim do ciclo temos uma unidade de mistura (batida) com identificação única, chamada de volume. A Figura 4-1 mostra de forma simplificada os elementos da linha de produção.



Fonte: Arquivo pessoal

A Tabela 4-1 traduz os elementos indicados na Figura 4-1.

Tabela 4-1 - Elementos do processo

-	Elemento
1 a 40	Silos de dosagem automática
41	Estação de pesagem manual de aditivos
42	Tanque de ligante
43	Tanque de resina
C1	Carro 1
C2	Carro 2
C3	Carro 3
C4	Carro 4
C5	Carro 5

Fonte: Arquivo pessoal.

4.3.1 - Gestão de versões

Apesar de todos os produtos dessa linha serem parte da categoria de refratários MgOC, abaixo desta existem diferentes famílias de refratários e cada família contém diferentes versões de produtos que variam em composição e local de aplicação. Diante disso, se fez necessário uma tela que identificasse corretamente cada versão de produto, afim de facilitar a operação, aumentar a automação e a confiabilidade do processo.

Num primeiro momento, foram identificadas duas famílias de produtos: MgO e Al₂O₃. Na tela de gestão de versões, é possível classificar cada matéria-prima utilizada de acordo com a granulometria e natureza, entre fino MgO, fino Al₂O₃, grosso MgO, grosso Al₂O₃, aditivo, grafite, ligante, resina, conforme mostra a Figura 4-2. Essa classificação das matérias-primas é responsável por informar ao sistema qual a ordem de dosagem dos materiais do cartão fórmula de acordo com um ciclo pré-estabelecido para o material. Nesta tela, também é cadastrado o tempo de *Aging* de acordo com a família de produto.

Para cada produto da linha existe uma ordem certa em que a matéria-prima deve ser dosada e misturada. Esse processo de dosagem é denominado ciclo de mistura. Por exemplo: para um determinado produto deve ser dosado primeiro os materiais classificados como grosso e então misturados por um tempo, em seguida é acrescentado os materiais finos e misturado por mais um tempo, os aditivos são adicionados à mistura e depois a resina ou

ligante e o grafite. Por fim, todos os materiais são misturados por um tempo especificado por produto.

Figura 4-2 - Classificação de matéria-prima

COD_SAP	DESCRICAÇÃO	TIPO
10000001	MATERIAL 1	Resina
10000002	MATERIAL 2	Fino MgOC
10000003	MATERIAL 3	Aditivo
10000004	MATERIAL 4	Fino MgOC
10000005	MATERIAL 5	Grosso MgOC
10000006	MATERIAL 6	Grosso MgOC
10000007	MATERIAL 7	Fino MgOC
10000008	MATERIAL 8	Grosso MgOC
10000009	MATERIAL 9	Grafite
10000010	MATERIAL 10	Fino MgOC
10000011	MATERIAL 11	Grosso MgOC
10000012	MATERIAL 12	Grafite
10000013	MATERIAL 13	Aditivo
10000014	MATERIAL 14	Aditivo

Fonte: Arquivo pessoal.

Tanto o tipo de matéria-prima quanto a ordem de dosagem são classificadas na tela de gestão de versões, conforme mostra a Figura 4-3.

Figura 4-3 - Criação do ciclo de dosagem por família

POS	CARRO	TIPO	TEMPO_MIN	ROLO
1	CAR01	Grosso	1	<input type="checkbox"/>
2	CAR02	Fino	1	<input type="checkbox"/>
3	CAR03	Resina	1	<input type="checkbox"/>
4	CAR04	Grafite	6	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Arquivo pessoal.

4.3.2 - Abastecimento de silos

No abastecimento dos silos é onde começa o processo de fato. Na tela indicada na Figura 4-4 é possível ver qual a OP irá ser produzida e consultar seu cartão fórmula para a requisição de materiais no almoxarifado.

Cada unidade de matéria-prima que chega à linha vem identificada com o código do material e um número chamado de UD (unidade de depósito) onde são feitos testes de qualidade para determinar se a matéria-prima se encontra dentro das especificações de consumo. Várias UDs de uma mesma matéria-prima podem ser consumidas durante o processo. Dessa forma, o objetivo da rastreabilidade é registrar todas as UDs utilizadas em um volume de mistura produzido.

Figura 4-4 - Cartão fórmula

OPERAÇÃO: 529108_001 **Cliente:** _____

Data Início: 2020-10-28 12:00:00 **Data Fim:** 2020-11-03 13:24:57

Cod. Produto: 300000001 **Produto:** PRODUTO 1

Quantidade: 10.800,00 **Status:** V

Batidas: 9 **Volumes:** 9 **Testes:** 5 **Produzido:** 11093.54 **Observações:** 2

Receita: Histórico

COD_SAP	DESCRICOAO	QUANTIDADE	UM
100000001	MATERIAL 01	PESO 1	KG
100000002	MATERIAL 02	PESO 2	KG
100000003	MATERIAL 03	PESO 3	KG
100000004	MATERIAL 04	PESO 4	KG
100000005	MATERIAL 05	PESO 5	KG
100000006	MATERIAL 06	PESO 6	KG
100000007	MATERIAL 07	PESO 7	KG
100000008	MATERIAL 08	PESO 8	KG
100000009	MATERIAL 09	PESO 9	KG
100000010	MATERIAL 10	PESO 10	KG
100000011	MATERIAL 11	PESO 11	KG
100000012	MATERIAL 12	PESO 12	KG
100000013	MATERIAL 13	PESO 13	KG
100000014	MATERIAL 14	PESO 14	KG

Fechar

Fonte: Arquivo pessoal.

A referência de cada silo informa ao sistema e ao operador se o material será abastecido corretamente. Dessa forma, ao iniciar o processo de abastecimento, o operador deve, por

meio de um leitor de código de barras, primeiramente identificar o silo e, em seguida, a UD do material. O mesmo processo é feito para o tanque de ligante e de resina. A conferência será feita no momento, dizendo se o material deve ou não ser abastecido naquele silo. O peso, o código e a descrição do material serão registrados no sistema apenas com a leitura do código de barras da UD. Ao abastecer mais de uma UD, o consumo do material respeita o FIFO (First In First Out), ou seja, a primeira UD abastecida será a primeira a ser consumida pelo sistema. Na Figura 4-5 podemos ver como o sistema de abastecimento funciona.

Figura 4-5 - Gestão de silos

SILO	COD	MATERIAL	PESO
CT05S0001	MATERIAL 01	MATERIAL 01	279,07
CT05S0002	MATERIAL 02	MATERIAL 02	601,25
CT05S0003	MATERIAL 03	MATERIAL 03	3,400
CT05S0004	MATERIAL 04	MATERIAL 04	397,64
CT05S0005	MATERIAL 05	MATERIAL 05	3.509,5
CT05S0006	MATERIAI 06	MATERIAI 06	632,97
CT05S0007	MATERIAL 07	MATERIAL 07	3.059,09
CT05S0008	MATERIAL 08	MATERIAL 08	500
CT05S0009	MATERIAL 09	MATERIAL 09	1.819,79
CT05S0010	MATERIAL 10	MATERIAL 10	0
CT05S0011	MATERIAL 11	MATERIAL 11	2.063,79
CT05S0012	MATERIAL 12	MATERIAL 12	1.271,34
CT05S0013	MATERIAI 13	MATERIAI 13	303,45
CT05S0014	MATERIAI 14	MATERIAI 14	4.612,02
CT05S0015	MATERIAL 15	MATERIAL 15	500
CT05S0016	MATERIAL 16	MATERIAL 16	4.101,98
CT05S0017	MATERIAL 18	MATERIAL 18	2.000
CT05S0018	MATERIAL 19	MATERIAL 19	2.606,46
CT05S0019	MATERIAL 20	MATERIAL 20	0
CT05S0020	MATERIAL 21	MATERIAL 21	646,16
CT05S0021	MATERIAL 22	MATERIAL 22	0
CT05S0022	MATERIAI 23	MATERIAI 23	1.000
CT05S0023	MATERIAL 24	MATERIAL 24	1.000
CT05S0024	MATERIAL 25	MATERIAL 25	0
CT05S0025	MATERIAL 26	MATERIAL 26	1.600
CT05S0026	MATERIAL 27	MATERIAL 27	0
CT05S0028	MATERIAL 28	MATERIAL 28	0
CT05S0027	MATERIAL 29	MATERIAL 29	0
CT05S0028	MATERIAI 30	MATERIAI 30	0
CT05S0029	MATERIAL 31	MATERIAL 31	0
CT05S0030	MATERIAL 32	MATERIAL 32	3.277,02
CT05S0031	MATERIAL 33	MATERIAL 33	0
CT05S0032	MATERIAL 34	MATERIAL 34	0
CT05S0033	MATERIAL 35	MATERIAL 35	800
CT05S0034	MATERIAL 36	MATERIAL 36	0
CT05S0035	MATERIAL 37	MATERIAL 37	1.162,46
CT05S0036	MATERIAL 38	MATERIAL 38	650
CT05S0037	MATERIAI 39	MATERIAI 39	0
CT05S0038	MATERIAI 35	MATERIAI 35	189,5
CT05S0039	MATERIAL 36	MATERIAL 36	1.200
CT05S0040	MATERIAL 37	MATERIAL 37	690,54
CT05S0043	MATERIAL 38	MATERIAL 38	0
CT05S0044	MATERIAL 39	MATERIAL 39	280,93

Fonte: Arquivo pessoal

4.3.3 - Dosagem de matéria-prima e mistura

Uma OP é composta por várias unidades de mistura produzidas em batelada, o peso de uma unidade de mistura quem determina é a capacidade do misturador. Na tela de operação, indicada na Figura 4-6, existem cinco blocos, cada bloco é responsável pela produção de um mistura e funcionam como uma lista de espera.

Uma vez que todos os silos necessários estão abastecidos com os materiais corretos, é possível iniciar a dosagem. Ao iniciar uma OP, deve-se escolher o bloco, o peso da mistura, em qual misturador ela será produzida e a iniciar a produção, nesse momento a OP passa para o status Executando (E). O bloco irá dosar os materiais conforme a quantidade prevista

no cartão fórmula e a ordem cadastrada. Essa divisão em blocos permite que o operador enquanto encerra o ciclo de uma mistura comece a produzir a próxima, conforme os carros de dosagem são liberados.

Nessa mesma tela é possível acompanhar em tempo real a dosagem de cada material, informando por carro e por misturador quais materiais já foram dosados e em qual etapa do ciclo cada mistura se encontra.

Figura 4-6 - Tela de operação

The screenshot shows a control interface with the following elements:

- Header:** BLOCO: [input], OP: [input], PESO SUGERIDO: [input], MISTURADOR: [input], and an ADICIONAR button.
- BLOCO 1:** BATIDA 1, ETAPA DO CICLO: TIPO: CARRO: PESO: M1, PESAR button, HISTÓRICO CARRO 1 table.
- BLOCO 2:** BATIDA 2, ETAPA DO CICLO: TIPO DE MATERIAL: CARRO: PESO: M2, PESAR button, HISTÓRICO CARRO 2 table.
- BLOCO 3:** LIBERADO, ETAPA DO CICLO: TIPO DE MATERIAL: CARRO: PESO: PESAR button, HISTÓRICO CARRO 3 table.
- BLOCO 4:** LIBERADO, ETAPA DO CICLO: TIPO DE MATERIAL: CARRO: PESO: PESAR button, HISTÓRICO CARRO 4 table.
- BLOCO 5:** LIBERADO, ETAPA DO CICLO: TIPO DE MATERIAL: CARRO: PESO: PESAR button, HISTÓRICO CARRO 5 table.
- Bottom Section:**
 - Two tables:

CICLO	CARRO	TIPO	TEMPO	PESADO	MISTURA
1	CAR 01	GROSSO MGOC	1	X	X
2	CAR 05	FINO MGOC	1	X	X
3	CAR 02	RESINA	1	X	
4	CAR 04	GRAFITE	20	X	

CICLO	CARRO	TIPO	TEMPO	PESADO	MISTURA
1	CAR 01	GROSSO MGOC	1	X	
2	CAR 05	FINO MGOC	1	X	
3	CAR 02	RESINA	1		
4	CAR 04	GRAFITE	20		
 - Two mixer icons: MISTURADOR 1 and MISTURADOR 2.
 - A VOLUME DE MISTURA indicator.

Fonte: Arquivo pessoal.

Na estação de pesagem manual de aditivos são dosados os materiais usados em menor quantidade. Eles são pesados manualmente em uma balança que é tarada a cada material novo inserido, afim de atingir com maior precisão a quantidade determinada no cartão fórmula. Todos esses materiais são armazenados temporariamente e liberados para dosagem na etapa do ciclo correspondente.

A estação de aditivos, fisicamente, é composta por diversos recipientes onde os materiais são armazenados separadamente e uma balança para pesagem que possui acesso aos carros de dosagem. Virtualmente, funciona como um silo onde é gerado saldo no sistema para cada UD de material consumido na mistura, como mostra a Figura 4-7. O abastecimento é feito da mesma forma que o abastecimento dos silos automáticos.

Figura 4-7 - Saldo de material na estação de aditivos

Carregamento:

Silo 41 M1 M2

UDVOLUME	MATERIAL	PESO
1.000.000.001	ADITIVO 1	159,99
1.000.000.002	ADITIVO 2	70,63
1.000.000.003	ADITIVO 3	162,3
1.000.000.004	ADITIVO 4	350,42
1.000.000.005	ADITIVO 5	404,94
1.000.000.006	ADITIVO 6	796,07
1.000.000.007	ADITIVO 7	808,83
1.000.000.008	ADITIVO 8	478,21
1.000.000.009	ADITIVO 9	70,87
1.000.000.010	ADITIVO 10	0
1.000.000.011	ADITIVO 11	229,85
1.000.000.012	ADITIVO 12	207,34
1.000.000.013	ADITIVO 13	865,4
1.000.000.014	ADITIVO 14	629
1.000.000.015	ADITIVO 15	179,07

Fonte: Arquivo pessoal

O consumo também funciona da mesma forma: a primeira UD abastecida é a primeira a ser consumida. A pesagem dos aditivos é orientada pela tela mostrada na Figura 4-8.

Figura 4-8 - Tela de pesagem de aditivos

CICLO 2 OP 530179 | BATIDA 43 ▶ COMEÇAR RESET SEQUÊNCIA

Peso da Balança Física do Aditivo: **5,76 Kg**

UDVOLUME	DESCRICAO	QUANTIDADE	PESADO
1.000.000.001	ADITIVO 1	1,08	1,08
1.000.000.002	ADITIVO 2	1,56	1,56
1.000.000.003	ADITIVO 3	3,12	3,12
1.000.000.004	ADITIVO 4	4,20	0
1.000.000.005	ADITIVO 5	5,04	0
1.000.000.006	ADITIVO 6	20,52	0

ADITIVO AGUARDANDO DESCARREGAMENTO ✓ GRAVAR PESO ↓ FINALIZAR ADITIVO

Fonte: Arquivo pessoal.

4.3.4 - Criação de batida, gestão de *Aging* e da qualidade

Ao final do ciclo, cada misturador dá origem a um volume de mistura (batida) que fica retido em uma caçamba, essa caçamba é identificada com um código de barras e, antes de descarregar, por meio de um leitor, o número da caçamba é informado ao sistema com o objetivo de registrar o volume de mistura a ser descarregado nela. A partir do momento que a mistura foi descarregada começa a contar o tempo de *Aging*.

Os testes de qualidade são feitos de forma amostral nos volumes de mistura contidos na caçamba. O intervalo de valores permitido para cada teste é previamente registrado de

acordo com o produto. Ao inserir os resultados, o sistema identifica os volumes que estão dentro do intervalo especificado, informando também os que estão fora.

Na tela da prensa, como mostra a Figura 4-9, só são liberadas para prensar as misturas em que os testes de qualidade e o *Aging* estiverem dentro da especificação.

Nesta tela, os volumes que estão em amarelo estão aguardando resultados da qualidade, os vermelhos estão fora de especificação ou fora do *Aging* e os verdes estão disponíveis para serem prensados. Conforme prensados, para a OP informada, os volumes vão sendo registrados e a caçamba fica disponível para a próxima mistura. É possível verificar a disponibilidade do volume filtrando pela caçamba, fazendo a leitura do código referente a ela.

Figura 4-9 - Tela da prensa

Item	OP	B	Time (hs)	Status
CA020	525692	6	7	Red
CA021	524531	29	212	Green
CA002	526621	31	124	Yellow
CA003	527340	14	20	Red
CA025	524531	13	224	Green
CA028	524542	30	45	Red
CA029	524542	44	28	Red
CA030	524531	25	214	Green
CA032	524542	32	41	Red

Fonte: Arquivo pessoal.

Nesta tela, os volumes que estão em amarelo estão aguardando resultados da qualidade, os vermelhos estão fora de especificação ou fora do *Aging* e os verdes estão disponíveis para serem prensados. Conforme prensados, para a OP informada, os volumes vão sendo registrados e a caçamba fica disponível para a próxima mistura. É possível verificar a disponibilidade do volume filtrando pela caçamba, fazendo a leitura do código referente a ela.

Antes da implementação do sistema, a liderança da fábrica recebia via sistema ERP a ordem de produção com as informações do cartão fórmula. Essa OP era impressa e entregue

aos operadores que, com essas informações, preenchiam um Access com as informações de material e quantidade. Esse Access comunicava com o sistema SCADA e o processo era feito, em sua maioria, por comandos manuais da máquina.

Com a implementação do sistema, a interação homem-máquina foi reduzida uma vez que os comandos passaram a ser feitos através das interfaces do sistema, pelo computador. As ações de todas as pessoas envolvidas passaram a ser registradas automaticamente e em tempo real, dando visibilidade a possíveis erros de processos que antes passavam despercebidos e responsabilizando as pessoas corretas. Além disso, o sistema tornou possível a criação de algumas travas que obrigam as pessoas envolvidas a seguirem corretamente os protocolos de produção, como a utilização dos materiais nas quantidades corretas, a ordem em que esses materiais são inseridos no misturador, os intervalos de mistura, o tempo de *Aging* e os testes de qualidade. Também permitiu que a divergência de materiais em estoque fosse reduzida.

Dessa forma, através do sistema implantado, a Saint-Gobain aumentou a confiabilidade de seus processos internos permitindo que a partir de um código de barras fossem rastreadas uma série de informações relativas ao produto, como os lotes de matéria prima, intervalo de datas e horário de fabricação, linha de fabricação, operadores, resultado de qualidade e local de aplicação.

5- CONCLUSÃO

A implementação da rastreabilidade na Saint Gobain foi feita com sucesso e elevou o nível do trabalho dos colaboradores, aumentando a interação humana com diversas tecnologias, assim como reduziu os erros de digitação, de dosagem e de abastecimento de material. O sistema passou a registrar a quantidade exata de material consumido no processo, reduzindo a divergência entre saldo teórico e físico de matéria-prima em estoque. Passou também a registrar todas as ações feitas e os responsáveis por cada uma delas.

A implementação do sistema vem atingindo seus objetivos, permitindo com mais clareza a detecção de ineficiências dos processos, dando oportunidade de detectar e atacar mais efetivamente pontos de melhoria.

De forma geral, houve um aumento da automação e da confiabilidade do processo, aumentando assim a competitividade e o suprimento de exigências quanto à qualidade e confiabilidade dos produtos e a transparência dos serviços oferecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10237**: classificação de cerâmicas refratárias. Rio de Janeiro, 1993.

BERTI, Rodrigo de Matos. **Implantação De Um Mes (Sistema De Execução De Manufatura) Em Um Ambiente De Manufatura Enxuta - Um Estudo De Caso Em Uma Linha De Montagem De Produtos Da Linha Branca**. Florianópolis, 2016. 115 p.

CANONGIA, C.; JUNIOR, R. M. Segurança cibernética: o desafio da nova Sociedade da Informação. **Estratégia da União Europeia para a cibersegurança**, v. 14, n. 29, p. 21–46, 2009.

CARNIGLIA, S. C.; BARNA, G. L. Handbook of Industrial Refractories Technology. **Chemical Vapor Deposition**, p. 617, 1992.

CARON, A. F. S.; LIMA, P. D. F. **Projeto de um roteiro da indústria 4.0 para pequenas e médias empresas VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI PROJETO**. São Barnardo do Campo, 2018.

CHOI, B. K.; KIM, B. H. MES (manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system). **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 15, n. 3, p. 274–284, 2002.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão Da Cadeia De Suprimentos**. 1. ed. Pearson, 2002.

COELHO, P. M. N. Rumo à Indústria 4.0. **Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra**, p. 65, 2016.

COTTA, L. S.; RODRIGUES, C. G. Avaliação De Revestimento Refratário No Processo Siderúrgico. **E-Xacta**, v. 7, n. 1, p. 185–203, 2014.

DICKINSON, D. L.; BAILEY, D. VON. Meat traceability: Are U.S. consumers willing to pay for it? **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 27, n. 2, p. 348–364, 2002.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos**. 1 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda. 2008. 126 p.

GÄRTNER, B. Industry 4.0 maturity index. **National Academy of Science and Engineering**, v. 61, n. 12, p. 32–35, 2018.

GOMES, G. P.; SANTOS, W. P. DOS; CAMPOS, P. S. **INDÚSTRIA 4.0: UM NOVO CONCEITO DE GERENCIAMENTO NAS INDÚSTRIAS**. v. 1. 17 p. 2018

GONÇALVES, C. G. et al. Indústria 4.0 - Integração de Sistema. **Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 1, p. 75–92, 2019.

HARBISON WALKER. **Handbook of Refractory Practice**. 2005. p. 10-12.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**:

A Literature Review Technische Universität Dortmund. v. 116 p. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDUSRIA; INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Industria do aço no Brasil**. Brasília, 2012.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **National Academy of Science and Engineering**, n. April, p. 1–84, 2013.

LASQUIBAR, J.; RIBERA, C. Refractarios de magnesia-carbono para cucharas. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 28, n. 5, p. 385–393, 1989.

LAVIE, R. Supervisory Control and Data Aquisition. **AICHEMI Modular Instruction**, v. 4, n. 12, p. 14–25, 1983.

LIRANI, A. C. Rastreabilidade, uma exigência comercial. **Visão Agrícola**, v. 3, p. 97–99, 2005.

MARTINS, M. S. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DA INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES PARA A SIDERURGIA BRASILEIRA. v. 51, n. 1, p. 51, 2018.

MOURÃO, M. B. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

NAKAYAMA, R. U. Y. S. **Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para indústria 4.0 no brasil**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

NECHIBVUTE, A.; MUDZINGWA, C. Wireless Sensor Networks for SCADA and Industrial Control Systems. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 3, n. 12, p. 1025–1035, 2013.

NEDOCHEKTO, A. P. F. DOS S.; TOFFOLI, S. M. Refratários ao carbono para siderurgia - Uma breve revisão. **REVISTA ACADÊMICA - ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS IFSP – CAMPUS CUBATÃO**, v. 4, n. 4, p. 221–235, 2019.

OLIVEIRA, G. C. DE; SOUSA, A. A. P.; SANTIAGO, A. S. Rastreabilidade como ferramenta de controle de processo e segurança em uma indústria de derivados de milho. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 11, 2011.

PADILHA, T. C. C.; MARINS, F. A. S. Sistemas ERP: características, custos e tendências. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 102–113, 2005.

PASCAL, B. et al. A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. **IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA**, p. 1239–1246, 2007.

PEDRIALI, D.; ARIMA, C. H.; PIACENTE, F. J. Segurança da informação na Logística 4.0: um estudo bibliométrico. **Sereal Untuk**, v. 9, n. 2, p. 22, 2019.

PIRES, L. Sistemas ciber-físicos : o futuro da Manutenção Industrial ? **Technical Report**, p. 66–68, 2016.

RING, T. A. **Fundamentals os Cerramic Powder Processing and Syntesis**. p. 48-55, 66, 115-129. Salt Lake City: 1996.

ROYCE, D. W. W. Managing the Development of large Software Systems. **Ieee Wescon**, p. 328–338, 1970.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As Revoluções Industriais até a Industria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018.

SANTOS, B. P. et al. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 13, 2018.

SARKAR, R. **Refractory Technology**. p. 193-208. 2016.

SILVA, A. R. DA; GASPAROTTO, A. M. S. Estudo Sobre Rastreabilidade Visando Ao Controle De Processos. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 708–720, 2020.

SILVEIRA, M.; MARCOLIN, C. B.; RODRIGUES FREITAS, H. M. Corporate Use of Big Data: a Literature Review. **Revista De Gestao E Projetos**, v. 6, n. 3, p. 44–59, 2015.

SOBROSA, F. Z. **Desenvolvimento de materiais cerâmicos refratários com adição da sílica residual proveniente da queima da casca de arroz**. Universidade Federal do Pampa, 2014.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. BRAGA DE. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**, 2018.