

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

**PROPOSTA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA PARA AGVs
SEGUIDORES DE LINHA COM DOCUMENTAÇÃO ELABORADA PARA
PRESERVAÇÃO DE LEGADO**

MARCELO ITONAGA SATO

ORIENTADOR: PROF. DR. ORIDES MORANDIN JUNIOR

São Carlos - SP

Junho/2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

**PROPOSTA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA PARA AGVs
SEGUIDORES DE LINHA COM DOCUMENTAÇÃO ELABORADA PARA
PRESERVAÇÃO DE LEGADO**

MARCELO ITONAGA SATO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Computação para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Computação da
Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: **Prof. Dr. Orides Morandin Junior**

São Carlos - SP

Junho/2026

Marcelo Itonaga, Sato

Proposta de sistema de medição externa para AGVs seguidores de linha com documentação elaborada para preservação de legado / Sato Marcelo Itonaga -- 2026. 123f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Orides Morandin Junior.

Banca Examinadora: Orides Morandin Junior, Roberto Santos Inoue, Vinicius Farias Martins

Bibliografia

1. AGV. 2. Medição externa. 3. Desenvolvimento de software. I. Marcelo Itonaga, Sato. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

PROPOSTA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA PARA AGVs SEGUIDORES DE LINHA COM DOCUMENTAÇÃO ELABORADA PARA PRESERVAÇÃO DE LEGADO

MARCELO ITONAGA SATO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Computação para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação da Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em ____ / ____ / ____

Membros da Banca:

Prof. Dr. Orides Morandin Junior
Orientador - DC-UFSCar

Prof. Dr. Roberto Santos Inoue
DC-UFSCar

Me. Vinicius Farias Martins
DC-UFSCar

São Carlos - SP
Junho/2026

AGRADECIMENTO

Agradeço muito a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, seja de forma direta contribuindo na construção do sistema proposto quanto de forma indireta, me dando apoio e forças todos os dias para chegar até o fim dessa jornada acadêmica.

Quero expressar gratidão primeiramente aos meus pais que não só me deram todos os recursos para estar aqui, com essa oportunidade de crescer no campo acadêmico e profissional, mas me deram boa parte dos valores e ensinamentos que me guiaram enquanto estudante e como pessoa.

Também quero agradecer que conheci no laboratório TEAR, especialmente ao meu orientador Orides e aos meus amigos Eric Sales, Guilherme José, Victor Vendra, Bruno Kenzo e Marcelo Soares, os quais foram fundamentais para que este trabalho se tornasse realidade e eu me tornasse um bom profissional, estando presentes no meu dia a dia do laboratório e me motivando a manter o engajamento com os projetos do laboratório.

Também quero agradecer a todos os meus companheiros de atividades de dentro e fora da faculdade que me deram abertura para ajudar e melhorar a minha experiência e a de outros graduandos do Departamento de Computação, principalmente os membros da FightSCar e do antigo Caenc.

Finalmente, quero expressar minha gratidão a todos que conheci durante esses anos de Graduação, principalmente Sally, Matheus Macaia, Matheus Coelho, Rômulo Alves, Rodrigo Yamauchi, Samuel Said e Gabriel Bertho. Não só aprendi muito com vocês, mas também perseverarei porque vocês me mostraram o quão longe posso chegar!

Espero que este trabalho corresponda um pouco as expectativas de todos os envolvidos e eu consiga levar todas essas experiências e lições aprendidas comigo após a Graduação. Muito obrigado por tudo!

RESUMO

Apesar da existência de um MVP de um sistema de medição externa de AGVs seguidor de linha de baixo custo, o desenvolvimento do projeto não pôde ser retomado por documentação insuficiente e por não atender aos padrões do laboratório TEAR. Como o objetivo do laboratório é trabalhar em projetos ao longo dos anos com membros da Graduação em rotação, a documentação do projeto proposto foi elaborada do zero na forma de um Documento de Requisitos e um Diagrama de Arquitetura Geral dentro da arquitetura SOA, com esta documentação dando contexto de alto nível sobre o sistema e o que será implementado. A partir disso, os membros do TEAR conseguiram compreender, documentar e implementar alguns serviços do sistema de medição externa proposto seguindo o protocolo de desenvolvimento do laboratório, gerando assim serviços robustos e documentação que servirá como base para a manutenção e atualização dos serviços do projeto a longo prazo.

Palavras-chave: AGV, seguidor de linha, medição externa, sistema de medição, SOA, documentação, Engenharia de Software, software legado, manutenção.

ABSTRACT

Despite having an MVP of a low cost external measurement system for line follower AGVs, further development of the project wasn't possible, as it had insufficient documentation which wasn't up to the laboratory's standard. As the TEAR laboratory relies on a continuous rotation of undergraduate students every year, the proposed project's documentation was written from scratch in the form of a Product Requirements Document and a General Architecture Diagram within the SOA architecture, capable of providing a high-level overview of the system and its intended implementation, enabling TEAR members to understand and implement the project. With that documentation, the laboratory's members were capable of documenting and implementing some of the system's services while following TEAR's software development protocol, which resulted in robust services and documentation which will be used by future members of TEAR for its maintenance and updates.

Keywords: AGV, line follower, external measurement, measurement system, SOA, documentation, Software Engineering, legacy software, maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: AGV AD01.....	18
Figura 2: Seção do Diagrama de Arquitetura Geral do Serviço do serviço majoritário Manipulador de Dados.....	20
Figura 3: AGVs industriais seguidores de linha do modelo SSI Schaefer Weasel trabalhando em linha de produção.....	35
Figura 4: Visão em planta de um AGV seguidor de linha com câmera interna.....	35
Figura 5: Representação da câmera interna do AGV em relação à área capturada da pista.....	36
Figuras 6 e 7: AGV andando mais próximo à pista após reajuste aplicado pelo seu sistema de Controle.....	36
Figura 8: AGV com erro posicional e angular em relação à pista.....	37
Figura 9: Comunicação física ou sem fio entre um AGV e um dispositivo externo (computador) capaz de processar seus dados.....	38
Figura 10: Diagrama com todas as funções obrigatórias para o funcionamento do AGV em tempo real marcadas em amarelo e as funções de exportação da medição e da gravação da câmera do AGV, as quais aumentariam o custo do hardware, marcadas em vermelho.....	39
Figura 11: Imagem obtida por uma câmera em visão de planta do AGV e da pista a ser seguida.....	40
Figura 12: Tags de identificação do AGV.....	41
Figura 13: Exemplo de imagem da pista na qual o AGV andar.....	41
Figura 14: Gráficos comparando as posições e ângulos ideais do AGV em relação a seus respectivos erros, os quais foram medidos com o uso de um sistema de medição externa.....	42
Figura 15: Sistema de medição externa processando a movimentação do AGV, com sua interface mostrando numericamente as coordenadas do centro do AGV e seu ângulo absoluto, além de mostrar visualmente o ângulo e a distância do centro do AGV em relação à pista por meio de uma linha vermelha.....	43
Figura 16: Tela exemplo do sistema de medição externa implementado com a função de ajustar os valores de K_p , K_d e K_i do sistema de Controle PID do AGV por meio de sliders.....	43
Figura 17: Diagrama de Casos de Uso Geral do sistema feito seguindo o formato de Diagrama de Máquina de Estados.....	45
Figura 18: Exemplo de pista esqueletizada gerada a partir da Figura 11.....	47
Figura 19: Ilustração dos possíveis pontos de origem do sistema, com o escolhido no momento sendo o do canto inferior esquerdo.....	48
Figura 20: Diagrama de Navegação de Telas do sistema de Medição Externa, feito no formato de Diagrama de Atividades.....	50
Figura 21: Esboço do Menu Principal do software de medição externa.....	51

Figura 22: Esboço do Menu de Configurações do software de medição externa.....	52
Figura 23: Esboço do Menu de Sintonia de Cores das Tags do AGV do software de medição externa.....	52
Figura 24: Esboço do menu do vídeo auxiliar para sintonia de cores do software de medição externa.....	53
Figura 25: Esboço do Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados do software de medição externa.....	53
Figura 26: Esboço do menu de configuração do elemento estruturante das operações morfológicas do software de medição externa.....	54
Figura 27: Esboço do Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados do software de medição externa.....	54
Figura 28: Esboço do Menu de Configuração dos Pontos de Origem do software de medição externa.....	55
Figura 29: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa sem imagem carregada da pista.....	55
Figura 30: Esboço da tela de tirar foto da pista, resultante da escolha da câmera no Menu de Esqueletização da pista, com a câmera transmitindo a captura em tempo real do ambiente da pista...	56
Figura 31: Esboço da tela de seleção dos pontos de ajuste de perspectiva da imagem da pista, a qual aparece após o carregamento da imagem da pista por meio da interface do SO.....	56
Figura 32: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com imagem da pista carregada e os pontos de ajuste de perspectiva selecionados, estando pronto para iniciar a esqueletização da pista.....	57
Figura 33: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com o processo de esqueletização em andamento.....	57
Figura 34: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com a esqueletização estando concluída, permitindo salvar o esqueleto e prosseguir para o Menu de Medição do Movimento do AGV.....	58
Figura 35: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista sem esqueleto selecionado.....	58
Figura 36: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista após o esqueleto ser selecionado pela interface de seleção de arquivos do SO e carregado pelo sistema de medição.....	59
Figura 37: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV sem entrada de vídeo do movimento do AGV selecionada.....	59
Figura 38: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV com a entrada de vídeo do movimento do AGV tendo sido selecionada, sendo possível iniciar a medição.....	60
Figura 39: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV com a medição estando em andamento.....	60

Figura 40: Esboço da tela de exibição do vídeo da medição junto dos parâmetros de posição e ângulo obtidos, a qual aparece ao selecionar a opção “Exibir VideoLog”	61
Figura 41: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV após o processo de medição do movimento do AGV ter sido concluído.....	61
Figura 42: Esboço da tela de configuração do elemento estruturante que possui matriz incompleta sendo fornecida pelo usuário.....	63
Figura 43: Esboço de janela de erro para o caso do usuário entrar no Menu de Esqueletização da Pista sem ter como obter a imagem da pista para o sistema.....	64
Figura 44: Esboço do Menu de Esqueletização da pista no cenário que o sistema pode obter a imagem da pista tanto por meio de um arquivo de imagem quanto tirando a foto por meio da câmera conectada.....	65
Figura 45: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário que o usuário só pode carregar a imagem da pista por meio do sistema de arquivos.....	66
Figura 46: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário no qual o usuário só consegue carregar a imagem da pista por meio de uma câmera.....	66
Figura 47: Esboço da tela de tirar foto da pista a partir da captura da câmera.....	67
Figura 48: Esboço da tela de tirar foto da pista, com a captura não mostrando uma imagem válida da pista.....	68
Figura 49: Esboço do Menu de esqueletização aguardando o início da esqueletização por meio do botão “Iniciar esqueletização”.....	68
Figura 50: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário no qual a esqueletização está em progresso.....	69
Figura 51: Esboço de janela de erro para o cenário no qual o usuário acessa o Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista sem ter esqueletos já processados na pasta padrão do sistema.....	70
Figura 52: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista em seu estado inicial.....	71
Figura 53: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista após o carregamento do esqueleto.....	71
Figura 54: Esboço de janela de erro do cenário no qual o usuário acessa o Menu de Medição do Movimento do AGV sem ter como fornecer vídeo da movimentação do AGV para o sistema.....	72
Figura 55: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o sistema pode obter o vídeo da movimentação do AGV tanto pela câmera conectada quanto por um arquivo de vídeo gravado pelo sistema.....	73
Figura 56: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o usuário só possui acesso a vídeo da movimentação do AGV por meio de um arquivo da pasta padrão do sistema.....	73
Figura 57: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no qual o usuário só pode fornecer vídeo para o sistema por meio da câmera funcional conectada.....	74

Figura 58: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o vídeo necessário para a medição externa poder ser iniciada já foi carregado pelo sistema.....	75
Figura 59: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que a medição está em progresso.....	75
Figura 60: Esboço da janela do VideoLog mostrada ao usuário após escolher a opção “Exibir VideoLog” no Menu de Medição do Movimento do AGV.....	76
Figura 61: Esboço de janela do VideoLog do sistema de medição externa, o qual mostra a transmissão do vídeo fornecido pela câmera e as medições quadro a quadro sobre o AGV e sua movimentação em relação à pista.....	77
Figura 62: Esboço de janela do VideoLog do sistema de medição externa no cenário no qual a transmissão fornecida pela câmera não é válida.....	78
Figura 63: Esboço da janela do VideoLog do sistema de medição externa no cenário em que a câmera não transmitiu gravação válida para a medição, mas posteriormente gravou o AGV em visão de planta na pista.....	78
Figura 64: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário de fim da medição externa da movimentação do AGV em relação à pista.....	79
Figura 65: Diagrama de Arquitetura do sistema de medição externa.....	81
Figura 66: Parte do Diagrama Geral de Arquitetura mostrando os serviços do Software Majoritário de Gerenciador de Arquivos.....	83
Figura 67: Exemplo de vídeo dividido em quadros, mostrando a movimentação que ocorre no vídeo exibindo estes quadros em sequência.....	86
Figura 68: Mapa de cores no espaço HSV, tendo eixo x correspondente ao valor do canal H e o eixo y com os valores do canal S.....	87
Figura 69: Ilustração da separação dos canais H, S e V de uma imagem originalmente do espaço de cores RGB.....	87
Figura 70: Comparação entre os espaços de cores RGB, escala de cinza e HSV por meio da mesma imagem.....	88
Figura 71: Vetor PQ com componentes $x = 3$ e $y = -2$ traçado do ponto P com $x = 1$ e $y = 3$ para o ponto Q com $x = 4$ e $y = 1$	89
Figura 72: Exemplo de elemento estruturante no formato de losango.....	90
Figura 73: Exemplo de imagem processada por meio das operações morfológicas básicas do OpenCV.....	91
Figura 74: Diagrama de Classes dos padrões de dados do sistema de medição externa.....	92
Figura 75: Diagrama de Casos de Uso do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros.....	93
Figura 76: Diagrama de Atividades do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros.....	94
Figura 77: Parte esquerda do Diagrama de Sequência do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros.....	95

Figura 78: Parte direita do Diagrama de Sequência do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros.....	96
Figura 79: Diagrama de Classes do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros.....	97
Figura 80: Parte do Diagrama Geral de Arquitetura mostrando os serviços do Software Majoritário M3 - Medidor da Movimentação do AGV.....	99
Figura 81: Diagrama de Casos de Uso do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV.....	100
Figura 82: Diagrama de Atividades do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV.....	101
Figura 83: Parte esquerda do Diagrama de Sequência do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV.....	102
Figura 84: Parte direita do Diagrama de Sequência do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV.....	103
Figura 85: Diagrama de Classes do Serviço S12 - Serviço de Identificação da Tag do AGV.....	104
Figura 86: Tela atual de cadastro da pista do sistema de medição externa.....	106
Figura 87: Tela atual de medição da movimentação do AGV do sistema de medição externa.....	107
Figura 88: Tela atual de exibição do vídeo da medição do movimento do AGV do sistema de medição externa.....	107
Figura 89: Tela atual de configurações do sistema de medição externa.....	108
Figura 90: Tela atual de configuração de operações morfológicas do sistema de medição externa.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tags de busca separadas por área de pesquisa.....	24
Tabela 2: Número de resultados obtidos por meio das strings de busca das áreas do trabalho.....	25

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
INTRODUÇÃO	17
1.1	<i>Contextualização</i> 17
1.2	<i>Motivação</i> 18
1.3	<i>Justificativa</i> 19
1.4	<i>Objetivos</i> 21
1.5	<i>Delimitações do trabalho</i> 21
1.6	<i>Organização do trabalho</i> 22
CAPÍTULO 2	23
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	<i>Considerações iniciais</i> 23
2.2	<i>Mapeamento sistemático</i> 23
2.3	<i>Resultados obtidos</i> 25
2.3.1	<i>Sistemas de medição</i> 27
2.3.2	<i>Aplicações de SOA</i> 29
2.3.3	<i>Processamento de imagem</i> 30
2.4	<i>Considerações finais</i> 32
CAPÍTULO 3	34
PROPOSTA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA	34
3.1	<i>Considerações iniciais</i> 34
3.2	<i>Definição do problema</i> 34
3.3	<i>Proposta de solução</i> 40
3.3.1	<i>Casos de uso</i> 44
3.4	<i>Funcionalidades para o usuário</i> 46
3.4.1	<i>Lane Image Processing</i> 46
3.4.2	<i>Ground Truth</i> 47
	14

3.4.3	<i>Parameter Tuning</i>	48
3.4.4	<i>File Manager</i>	49
3.5	<i>Navegação das telas</i>	49
3.5.1	<i>Menu Principal</i>	51
3.5.1.1	<i>Menu de Configurações</i>	52
3.5.1.1.1	<i>Menu de Sintonia de Cores das Tags do AGV</i>	52
3.5.1.1.2	<i>Menu de Configuração de Parâmetros de Operações Morfológicas</i>	53
3.5.1.1.3	<i>Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados</i>	54
3.5.1.1.4	<i>Menu de Configuração dos Pontos de Origem</i>	55
3.5.1.2	<i>Menu de Esqueletização da Pista</i>	55
3.5.1.3	<i>Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista</i>	58
3.5.1.4	<i>Menu de Medição do Movimento do AGV</i>	59
3.6	<i>Características do usuário</i>	62
3.7	<i>Confiabilidade e Usabilidade</i>	63
3.7.1	<i>Menu de Configuração de Parâmetros de Operações Morfológicas</i>	63
3.7.2	<i>Menu de Esqueletização da Pista</i>	64
3.7.3	<i>Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista</i>	70
3.7.4	<i>Menu de Medição do Movimento do AGV</i>	72
3.8	<i>Implementação</i>	80
3.8.1	<i>Padrões de Dados</i>	85
3.8.2	<i>Serviço S12 - Serviço de Salvamento de Parâmetros</i>	93
3.8.3	<i>Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV</i>	98
CAPÍTULO 4		105
RESULTADOS E DISCUSSÕES		105
4.1	<i>Considerações iniciais</i>	105
4.2	<i>Caso de estudo</i>	105
CAPÍTULO 5		109
CONCLUSÃO		109
REFERÊNCIAS		111
APÊNDICE A		114

DIAGRAMA GERAL DE ARQUITETURA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA	114
APÊNDICE B	115
DOCUMENTO DE REQUISITOS DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS	115
APÊNDICE C	119
DOCUMENTO DE DEMANDA DE PRODUÇÃO DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS	119
APÊNDICE D	121
PSEUDOCÓDIGO DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS	121

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O laboratório TEAR foi capaz de construir um MVP (Minimum Viable Product) de um sistema de medição externa, o qual usa uma webcam e a biblioteca OpenCV para rastrear um AGV seguidor de linha com duas tags coloridas, sendo uma azul e uma vermelha, o qual anda em uma pista, possibilitando a obtenção de sua distância e ângulo absolutos no sistema de coordenadas do vídeo e do erro posicional e angular do AGV em relação à pista em cada quadro do vídeo.

Porém, conforme o laboratório amadureceu e elaborou seu protocolo de desenvolvimento para manter legado de seus projetos enquanto os membros do laboratório são rotacionados, ficou claro que a proposta apresentada anteriormente do sistema de medição externa não tem documentação suficiente, a qual não é condizente com este novo protocolo de desenvolvimento.

Portanto, para que fosse possível não apenas retomar o projeto do sistema de medição externa, mas também permitir que ele receba manutenção por vários membros do laboratório ao longo dos anos, o primeiro passo a ser tomado foi especificar novamente o sistema, seguindo o protocolo de desenvolvimento do TEAR desde o início.

1.2 Motivação

Considerando a complexidade e escopo do projeto, o qual não só será construído e implementado por vários membros do TEAR, que são graduandos em rotação constante, mas também tem planejamento de anos até ser completado, a especificação detalhada do projeto é essencial para que o projeto tenha continuidade dentro do laboratório por meio de sua documentação detalhada e acessível, com o objetivo de preservar legado para que futuros membros do laboratório possam continuar implementando e dando manutenção no projeto.

Um exemplo desta preservação de legado dentro do laboratório TEAR é o projeto de um AGV que continua sendo desenvolvido e aprimorado até o momento da escrita desta proposta, sendo ele o AD01.



Figura 1: AGV AD01

1.3 Justificativa

Por conta da necessidade de manter legado, o protocolo de desenvolvimento do TEAR determina que o primeiro passo do projeto seja a especificação de alto nível do projeto na forma de um Documento de Requisitos Geral, o qual detalha desde o motivo de existência do projeto até a navegação entre suas funcionalidades e a implementação de alto nível de cada uma delas. Por meio deste documento, qualquer membro do laboratório poderá obter um contexto geral do projeto e compreender em alto nível o que irá construir.

A partir disso, a especificação do projeto é feita na visão top-down seguindo a arquitetura SOA (Arquitetura Orientada a Serviços), por meio da construção de um Diagrama de Arquitetura Geral do sistema como o incluso no Apêndice A, começando pela análise de cada uma das funcionalidades do sistema para poder assinalar um ou mais serviços majoritários a cada uma delas. Essa separação é feita porque cada um dos majoritários mapeados é chamado conforme o sistema precisa chamar alguma de suas funcionalidades na execução do programa por meio de seu escalonador.

Tendo mapeado os serviços majoritários, deve-se detalhar o nível logo abaixo deles, com cada majoritário sendo dividido em serviços individuais, com cada serviço sendo responsável por um único passo da funcionalidade de seu majoritário.

Por exemplo, o serviço majoritário Manipulador de Dados é responsável por manipular os dados das medições feitas pelo sistema, os quais serão salvos temporariamente pelo sistema e poderão ser exportados caso o usuário deseje na forma de um arquivo de texto. Por meio desta especificação, é possível dividir esse majoritário em dois serviços individuais:

- Serviço de criação de log de dados, o qual salvará temporariamente os dados obtidos pelo sistema em cada medição;
- Serviço de exportação de dados, o qual gerará o arquivo texto para exportação desses dados para poderem ser usados fora do sistema de medição, por exemplo, para gerar gráficos;

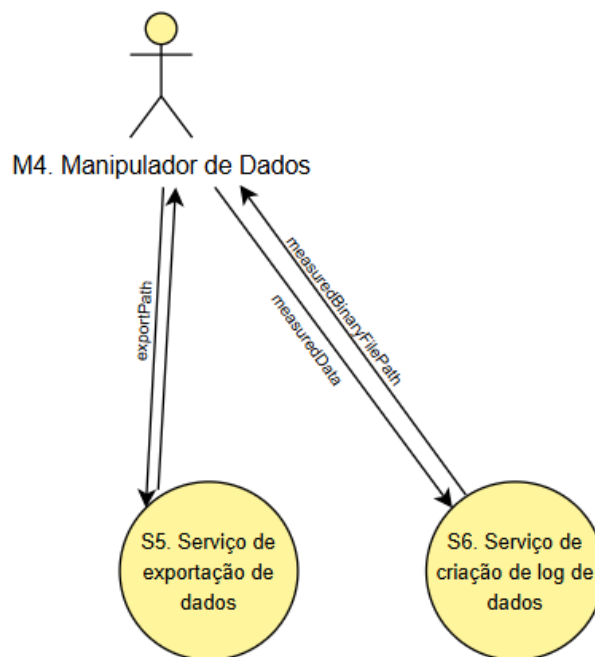


Figura 2: Seção do Diagrama de Arquitetura Geral do Serviço do serviço majoritário Manipulador de Dados

Tendo completado o Diagrama de Arquitetura Geral, torna-se possível alocar um serviço para cada membro construir, tendo que finalizar e revisar a sequência de documentos e diagramas abaixo antes de iniciar a implementação do código do serviço:

- Documento de Requisitos;
- Documento de Demanda de Produção;
- Diagrama de Casos de Uso;
- Diagrama de Atividades;
- Diagrama de Sequência;
- Diagrama de Classes;
- Pseudocódigo.

Por meio dos passos apresentados antes da implementação do serviço, o protocolo de desenvolvimento garante que o responsável pela implementação não só tenha conhecimento completo do serviço, mas também tenha registrado o legado necessário para a sua eventual manutenção.

1.4 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma proposta de sistema de medição externa de baixo custo para AGVs seguidores de linha que seja compatível com webcam, o qual será implementado por vários membros do laboratório TEAR seguindo a arquitetura SOA e o protocolo de desenvolvimento do laboratório, priorizando a preservação de legado.

O sistema proposto usa técnicas de processamento de imagem por meio da biblioteca OpenCV para:

- Afinar a pista na qual o AGV seguidor de linha andará a ponto de ela ter espessura igual a um pixel a partir de uma foto da pista;
- Detectar as duas tags coloridas de um AGV em todo quadro de um vídeo gravado, com o centro do AGV estando localizado no meio das tags, possibilitando a obtenção da sua posição central atual e de seu ângulo atual;

Com a pista processada junto da posição e ângulo atuais do AGV, é possível obter o erro posicional e angular por meio da diferença entre a posição e ângulo atuais do AGV em relação à posição e ângulo que o AGV deveria ter naquele quadro do vídeo.

As medições de cada quadro do vídeo poderão ser visualizadas na tela, além de serem salvas pelo sistema, com a exportação de todas as medidas obtidas pelo sistema na medição atual na forma de um arquivo de texto sendo possível caso o usuário deseje.

1.5 Delimitações do trabalho

Este trabalho se propõe a entregar a proposta do sistema de medição, com a documentação necessária para que ele seja implementado ao invés de entregar o sistema em funcionamento. Outras restrições do sistema proposto incluem:

- A medição só pode ser executada em um AGV por vez;
- O sistema só pode utilizar uma das câmeras conectadas por vez;

- Só será possível utilizar imagens e vídeos já existentes para as medições do sistema caso elas tenham sido tiradas ou gravadas por meio de fluxos do próprio sistema;
- Caso a pista na qual a medição será realizada mude, será necessário carregar ou processar a imagem da nova pista.

Além disso, este trabalho não tratará de aspectos do protocolo de desenvolvimento do laboratório TEAR que ainda não foram definidos enquanto era feita a especificação da proposta, como testes unitários e testes de integração do sistema dentro da arquitetura SOA definida neste capítulo.

1.6 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo eles:

- 1 - Introdução;
- 2 - Revisão Bibliográfica;
- 3 - Proposta de Sistema de Medição Externa;
- 4 - Resultados e Discussões;
- 5 - Conclusão.

Esta organização foi escolhida com o objetivo de apresentar a proposta passo a passo, começando pela visão geral da proposta e suas motivações no capítulo 1 e o embasamento teórico com base em outros trabalhos relacionados da área no capítulo 2.

Tendo todo este contexto, pode-se apresentar a proposta completa no capítulo 3, detalhando desde os casos de uso do sistema até a navegação das telas da interface e a implementação de alguns de seus serviços dentro do protocolo de desenvolvimento do laboratório TEAR.

Por último, para concluir o trabalho, o capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através do desenvolvimento até então pelos novos membros do TEAR e o capítulo 5 apresenta a conclusão e síntese geral do que foi desenvolvido e apresentado.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Esse capítulo é dedicado à apresentação dos resultados obtidos através da revisão bibliográfica feita para a produção deste trabalho. A seção ‘Mapeamento sistemático’ irá detalhar como foi feita a busca e seleção dos artigos incluídos na revisão bibliográfica, já a seção ‘Resultados obtidos’ apresentará os artigos selecionados, sendo eles separados por área de conhecimento. Por fim, a seção ‘Considerações finais’ irá expor as conclusões obtidas a partir do estudo dos artigos mencionados.

2.2 Mapeamento sistemático

A base de dados usada para o mapeamento foi o Portal de Periódicos da CAPES, por conta do alto volume de publicações de revistas científicas do mundo todo, compilando artigos de diversas bases de dados nas buscas, com a grande maioria destas sendo acessíveis gratuitamente ou por meio de acesso institucional da UFSCar.

Os resultados do mapeamento feito por meio do Portal de Periódicos da CAPES datam do período entre 2020 e 2026, com outros artigos relevantes aos temas do projeto podendo ser obtidos em outras fontes de pesquisa ou fora do período de ano indicado.

Com o auxílio do professor orientador, foi possível definir as três áreas relevantes de pesquisa que guiaram a busca por bibliografia:

- Sistemas de medição para validação de robôs móveis;
- Aplicações de SOA em projetos acadêmicos de alta rotatividade;
- Técnicas de processamento de imagem para robôs móveis.

Por meio desses temas, pode-se definir as palavras-chave relacionadas a cada área de pesquisa de interesse, para tornar possível a construção das strings de busca usadas para o mapeamento sistemático:

Tabela 1: Tags de busca separadas por área de pesquisa

Sistemas de medição	SOA	Processamento de Imagem
AGV	SOA	Morphological operations
Automated Guided Vehicle	Service-Oriented Architecture	Algorithms
Mobile robot	Software Engineering	Filter
Robot	Maintenance	Techniques
External measurement	Reuse	Image Processing
Measurement	Monolithic	
Measuring	Academic	
Measurement system		

Com isso, pôde-se acessar o Portal de Periódicos da CAPES e buscar os artigos por meio da estratégia exposta.

2.3 Resultados obtidos

Usando as tags escolhidas na seção anterior, foi possível criar as strings de busca de cada área, as quais inseridas na busca do Portal de Periódicos da CAPES junto do filtro de ano estando entre 2020 e 2026, obtendo assim os seguintes resultados:

Tabela 2: Número de resultados obtidos por meio das strings de busca das áreas do trabalho

Strings de busca da área “Sistemas de medição”	
Qualquer campo é External measurement E qualquer campo é mobile robot	139
Qualquer campo é measuring E qualquer campo é “mobile robot”	136
Qualquer campo é “measurement system” E qualquer campo é “mobile robot”	45
Qualquer campo contém "external measurement" E qualquer campo contém robot	10
Qualquer campo é measuring E qualquer campo é AGV	6
Qualquer campo é “External measurement” E qualquer campo é “mobile robot”	2
Qualquer campo contém External measurement E Qualquer campo contém AGV	6
Qualquer campo é measuring E qualquer campo é Automated Guided Vehicle	3

Strings de busca da área “SOA”	
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém “software engineering” E qualquer campo contém academic	146
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém “software engineering” E qualquer campo contém reuse	90

Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém "software engineering" E qualquer campo contém maintenance	62
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém "software engineering" E qualquer campo contém monolithic	23
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém reuse E qualquer campo contém "software engineering" E qualquer campo contém maintenance	9
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém academic E qualquer campo contém "software engineering" E qualquer campo contém monolithic	9
Qualquer campo contém "service-oriented architecture" E qualquer campo contém "software engineering" E qualquer campo contém measuring	7
Qualquer campo contém SOA E qualquer campo contém AGV	1

Strings de busca da área “Processamento de imagem”	
Qualquer campo contém “image processing” E qualquer campo contém “mobile robot”	227
Qualquer campo contém “image processing” E qualquer campo contém AGV	7
Qualquer campo contém “morphological operations” E qualquer campo contém filter E qualquer campo contém robot	5
Qualquer campo contém “morphological operations” E qualquer campo contém mobile robot E qualquer campo contém algorithms	4
Qualquer campo contém “image processing” E qualquer campo contém AGV E qualquer campo contém algorithms	3
Qualquer campo contém “morphological operations” E qualquer campo contém mobile robot E qualquer campo contém techniques	1
Qualquer campo contém “image processing” E qualquer campo contém AGV E qualquer campo contém measurement E qualquer campo contém algorithms	1

Analisando os resultados obtidos, é perceptível que:

- Há uma quantia grande de artigos relacionados às três áreas de pesquisa relevantes;
- Porém, conforme as pesquisas realizadas se tornam mais específicas e próximas ao domínio do trabalho, o número de resultados obtidos diminui bastante.

Portanto, ao mesmo tempo que é possível usar a bibliografia obtida como base teórica das áreas relevantes de pesquisa, já que foram retornados muitos resultados ao usar tags genéricas para todas as áreas de pesquisa, os problemas específicos do trabalho não são muito explorados, como visto pelo número de resultados obtidos diminuindo ao usar strings de busca mais longas e próximas do domínio do trabalho.

Sendo assim, para este trabalho, foi necessário buscar por trabalhos de áreas próximas das do domínio do trabalho para servirem de base teórica para o projeto a ser desenvolvido.

2.3.1 Sistemas de medição

Ercana et al. (2019) usaram uma estação total robótica como sistema de medição externa para localizar um robô móvel em um espaço aberto, usando tanto três pontos da trajetória do end-effector do robô como referência quanto pontos de referência fixos, por meio do uso de um prisma refletor encaixado no end-effector do robô móvel.

Font-Llagunes e Batlle (2009) mediram a posição e orientação de um robô móvel com o uso de um escaneador laser, encoders de motor equipados no robô móvel e um sistema metrológico composto por dois encoders óticos de alta precisão e um potenciômetro linear. Esses componentes forneceram as medições necessárias para um algoritmo robusto baseado em EKF (Extended Kalman Filter) obter a pose e ângulo do robô por meio de triangulação.

Xu, Li e Lu (2022) combinam o uso de um IMU (Inertial Measurement Unit) medindo o ângulo e aceleração do AGV, um odômetro para medir seu deslocamento junto da medição visual por meio de uma câmera infravermelha e placas de material retrorrefletivo coladas no teto para a câmera do AGV medir a posição e orientação do veículo. Aplicando estes parâmetros obtidos em um algoritmo baseado em EKF (Extended Kalman Filter), foi possível obter maior precisão nas medições.

S. H. Kim (2023) usou de medição interna por meio de um sensor de força e torque junto de medição externa com um rastreador laser detectando o refletor conectado no braço mecânico. Seu objetivo foi obter o erro do contorno do corte feito pelo braço mecânico, o qual é compensado pelo sistema de controle antecipatório, reduzindo assim o erro do contorno do corte feito pelo motor spindle conectado ao braço mecânico em até 78% de acordo com os resultados experimentais.

W. A. Szulc e P. Czop (2024) combinam as leituras da medição interna dos robôs industriais com a medição externa de alta precisão obtida a partir do rastreador laser, com o objetivo de determinar o UCS (User Coordinate System) do chão de fábrica. Isso garantiu diferença mínima entre os caminhos reais e simulados dos robôs, com taxa de sucesso para a implementação direta dos caminhos simulados dos robôs igual a 83,51%.

H. Zhang et al. (2022) usaram a medição externa de um robô usando um rastreador a laser, com ela sendo transmitida em alta velocidade por meio do protocolo EtherCAT de uma conexão em rede cabeada de um módulo Beckhoff EK1100 conectado a um TwinCat PLC para obter a pose atual do robô e compará-la com a pose ideal fornecida pelo seu controlador. Com isso, foi possível obter o erro posicional, o qual será usado como entrada do sistema de controle PID do robô, reduzindo o erro posicional em 95,7% e o erro angular se tornando menor que 0,01°.

E. Lucet e A. Micaelli (2020) usaram um LiDAR e seis pares de sensores ultrassônicos de distância como sensores externos junto de dados internos obtidos a partir do barramento CAN (Controller Area Network) do veículo, com o objetivo de receber a posição e orientação do veículo com precisão milimétrica por meio de conexão de rede. Assim, torna-se possível calibrar os parâmetros geométricos e cinéticos do veículo conforme o modelo cinético e geométrico proposto.

E. H. C. Mendes (2015) desenvolveu um sistema para a localização e medições de um robô móvel com o uso de técnicas de visão computacional e a biblioteca OpenCV, processando as imagens capturadas de um robô móvel em plano a partir de uma câmera montada no teto do ambiente no qual ele navega. A partir disso, foi obtida a localização, velocidade e aceleração do robô em movimento, com o objetivo de avaliar sua viabilidade como ferramenta de navegação robótica autônoma em ambientes estruturados.

P. Choi et al. (2025) apresentaram um sistema que coloca blocos de docagem seca em uma doca seca com precisão de milímetros, com as medições sendo feitas através de um robô móvel com rastreador laser 3D, o qual fornece medições precisas da área da doca junto de blocos de alumínio posicionados nos cantos dos blocos de ancoragem, que são representações de referência para o sistema. As medições obtidas são então inseridas no algoritmo HDBSCAN e em um algoritmo de detecção de bordas para identificar as interseções e reconstruir suas coordenadas 3D com erro menor que 0,5 mm.

É importante destacar que os trabalhos selecionados não executam a medição e obtenção do erro de um veículo em relação à pista que deve ser seguida, sendo assim um diferencial deste trabalho.

Além disso, a maioria dos trabalhos obtidos usam sistemas de medição com precisão milimétrica e alto custo financeiro, enquanto o sistema proposto usa uma webcam e um computador, semelhante ao trabalho de E. H. C. Mendes (2015), sendo então uma alternativa acessível para validações de sistemas com menor criticidade.

2.3.2 Aplicações de SOA

M. Scholz et al. (2019) escolheram implementar a arquitetura SOA em um AGV com o objetivo de descentralizar a parte de planejamento de caminho da central de controle do sistema de transporte. Isso permitiu que as funções do AGV sejam aplicáveis para diferentes plataformas e periféricos sem precisar implementar um novo sistema, com o software do veículo não sendo dependente da aplicação de planejamento de rota e os serviços do sistema de transporte sendo separados em comunicação, sensores, atuadores e navegação, gerando sistemas flexíveis e adaptáveis.

A. Shatnawi et al. (2020) usaram a arquitetura SOA com o objetivo de desenvolver rapidamente SPVs (Software Product Variants) que satisfaçam requisitos variáveis de software e sejam mais fáceis de fazer manutenção, por meio do reuso de serviços entre vários SPVs. Os serviços clonáveis são identificados automaticamente por meio da ferramenta ReSIde construída pelos autores.

M. Pau et al. (2022) implementaram uma arquitetura baseada em microsserviços para a digitalização e automação de redes de distribuição de energia usando containers, gerando

um framework modular e escalável, com seus componentes podendo ser melhorados, reusados e portados com facilidade.

K. T. Al-Sarayreh et al. (2020) desenvolveram um framework de identificação e medição de performance de requisitos não-funcionais de funções de software de um sistema ATM (Automated Teller Machine) com o uso de SOA. O objetivo foi poder medir o tamanho funcional dos requisitos funcionais de performance do sistema em níveis funcionais e de serviço, dividindo os movimentos de dados em três tipos, serviços de troca, serviços intermediários e trocas de dados, os quais são medidos por COSMIC, uma unidade de medida reconhecida pela ISO.

Os trabalhos selecionados escolheram usar a arquitetura SOA por conta de suas vantagens, entre elas, a melhor escalabilidade, facilidade de manutenção e reuso de serviços e sua modularidade quando comparado a um sistema construído na arquitetura monolítica. Essas vantagens são algumas das razões que motivaram a escolha da arquitetura SOA para o sistema proposto neste trabalho.

2.3.3 Processamento de imagem

A. Stan e D. M. Cotorobai (2021) embarcaram um sistema de detecção e rastreamento de objeto em tempo real em um Robô Móvel Autônomo Coletor de Lixo, implementado com o uso da linguagem Python e da biblioteca OpenCV. Após o uso de técnicas de processamento de imagem como filtragem bilateral, mudança de espaço de cores, segmentação e operações morfológicas como abertura e fechamento, foi possível detectar e obter o centróide e orientação de objetos de formato regular, como latas de metal, caixas de tamanho pequeno ou médio e garrafas com precisão.

S. Wang et al. (2023) usaram visão computacional para medir a altura de uma plantação por meio da extração das linhas correspondentes às alturas da plantação. Isso foi possível com a aplicação em sequência do pré-processamento da imagem usando convolução, da segmentação do fundo da imagem conforme a média dos valores do canal H (Hue ou matiz) do espaço de cores HSV de imagens da plantação, usando técnicas como a soma dos inter-frames, operações morfológicas como dilatação e erosão para suavizar a linha correspondente à altura da plantação e a aplicação o operador Sobel para extrair as

verdadeiras alturas. Foi obtido um erro médio menor que 1,6% na altura medida em relação à altura real e o tempo de processamento por quadro de imagem sendo de 50 ms.

C. Jiang, F. Zhang e Z. Wang (2017) propuseram um sistema de processamento de imagem capaz de medir a largura de poças de fusão com erro menor que 3%. Isso é possível obtendo a borda da poça de fusão após aplicar um filtro passa-baixa FFT (Fast Fourier Transform) truncado para eliminar ruído e operações morfológicas avançadas sendo aplicadas nas partículas da imagem ao invés de serem aplicadas nos pixels. Os passos principais do processo incluem a interceptação da área desejada, inversão da imagem, determinação do limiar de variação intragrupo, remoção de partículas pequenas e preenchimento de buracos, processamento por meio do filtro FFT passa-baixa truncado e aplicação do detector de bordas Canny, obtendo assim uma imagem clara para a medição da largura da poça de medição.

T. Feng e B. Jiao (2017) construíram uma plataforma de processamento de imagem para a navegação guiada de um AGV, com a sua câmera capturando a imagem da pista, aplicando o algoritmo de limiar máximo de entropia para segmentar o fundo desta imagem, usando o detector de bordas Canny para obter as bordas dos elementos da imagem e extraindo as características do caminho a ser seguido pelo AGV usando o método de mínimos quadrados. Assim, é possível melhorar a estabilidade do sistema do AGV, já que foi obtido um erro posicional e erro angular mais precisos em relação à pista.

Z. Zheng e Y. Lu (2022) propuseram um sistema de navegação para AGV independente de pista, o qual usa a visão global de planta do ambiente para navegar. Para isso, a câmera global obtém a imagem da área na qual o AGV navegará, a qual passa por técnicas de processamento de imagem como binarização e obtenção do gradiente da imagem para obter a posição e informações dos objetos com tag, ou seja, o AGV e os obstáculos da área. Com isso, torna-se possível planejar o caminho que o AGV deverá percorrer por meio do algoritmo A* e obter a correção da navegação do AGV com seu sistema de controle, com o caminho a ser seguido sendo enviado para o AGV por meio de conexão sem fio.

Os experimentos conduzidos com uma câmera Hikvision MV-CA060-11GM/10GC, comunicação Wi-Fi, módulo compatível com ESP8266 para a comunicação e controle do AGV e um AGV com sensor ultrassônico demonstram que o sistema apresentado é viável, tendo alta precisão, alta precisão, baixo custo e alta capacidade de expansão como vantagens.

R. Pungle, A. Andhare e D. Pungle (2024) conduziram experimentos de um sistema de navegação visual para planejamento de rota e controle de AGVs com o uso de uma câmera monocular colocada em visão de planta e tags coloridas. As câmeras funcionam como sensores e controladores, identificando as tags e suas posições com o uso de técnicas de processamento de imagem, por meio da obtenção da matriz inversa do mapeamento do ambiente e reconhecimento das tags usando a transformada de Hough. Tendo as tags identificadas e suas posições, torna-se possível planejar o caminho que o AGV deve seguir.

Os experimentos conduzidos tiveram como resultados uma eficiência da detecção das tags coloridas de vários formatos e cores igual a 98,8% e o AGV conseguia chegar à posição de destino com uma margem de erro média de 3,9% em relação à posição correta em caminhos retos, tanto em ambientes com obstáculos quanto áreas sem obstáculos.

Os trabalhos selecionados seguem passos idênticos para a detecção do objeto a ser medido, tendo a segmentação da imagem do fundo, melhoria da qualidade da imagem por meio de filtros e operações morfológicas e o processamento da imagem resultante para obter as medidas desejadas. A maioria das diferenças estão contidas na etapa de melhoria da qualidade da imagem, por conta das diversas técnicas usadas para eliminar ruído e gerar uma imagem mais suavizada e sem buracos conforme a necessidade da aplicação.

Como este trabalho também executará a detecção de tags de forma semelhante aos trabalhos de Z. Zheng e Y. Lu (2022) e R. Pungle, A. Andhare e D. Pungle (2024), pode-se usar as técnicas de binarização e segmentação para separar o fundo da imagem, mantendo apenas as tags e a pista do AGV, e algumas das técnicas para melhorar a qualidade da imagem, como as operações morfológicas de abertura e fechamento e aplicação de filtros.

2.4 Considerações finais

Os trabalhos obtidos a partir do mapeamento sistemático trouxe diversas conclusões relevantes para as áreas de pesquisa da monografia, como:

- Um diferencial deste trabalho é a medição e obtenção do erro de um veículo em relação à pista que deve ser seguida;

- A maioria dos trabalhos retornados usam sistemas de medição de precisão milimétrica e alto custo financeiro, enquanto o sistema proposto usa uma webcam e um computador, sendo portanto uma alternativa acessível para validar sistemas com menor criticidade.
- A arquitetura SOA foi escolhida por causa de vantagens como alta escalabilidade, facilidade de manutenção e reuso de serviços, além de ser modular, sendo elas motivações para a escolha desta arquitetura para o sistema proposto.
- Os trabalhos selecionados fazem a detecção dos objetos desejados por meio da segmentação da imagem do fundo, melhoria da qualidade da imagem por meio de filtros e operações morfológicas e o processamento da imagem resultante para obter as medidas desejadas.
- Como a maioria das diferenças encontradas nos trabalhos retornados na área de Processamento de Imagem estão contidas na etapa de melhoria da qualidade da imagem e este trabalho também executará a detecção de tags, pode-se usar as técnicas semelhantes às dos trabalhos escolhidos, desde a binarização e segmentação para separar o fundo da imagem, mantendo apenas as tags e a pista do AGV, até algumas das técnicas para melhorar a qualidade da imagem, como as operações morfológicas de abertura e fechamento e aplicação de filtros.

PROPOSTA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo define a proposta de implementação do sistema de medição externa, detalhando desde o problema que deu origem ao sistema, como a solução trata esses problemas, os casos de uso do sistema, as funcionalidades e fluxos que o usuário terá acesso até a documentação especificando sua implementação.

3.2 Definição do problema

Na área de Controle de AGVs, busca-se sempre que ele ande o mais próximo possível do caminho que ele deve percorrer. No caso deste trabalho, o AGV a ser avaliado é um seguidor de linha, o qual possui uma câmera interna que funciona como sensor de posição em relação à linha da pista a ser seguida.



Figura 3: AGVs industriais seguidores de linha do modelo SSI Schaefer Weasel trabalhando em linha de produção

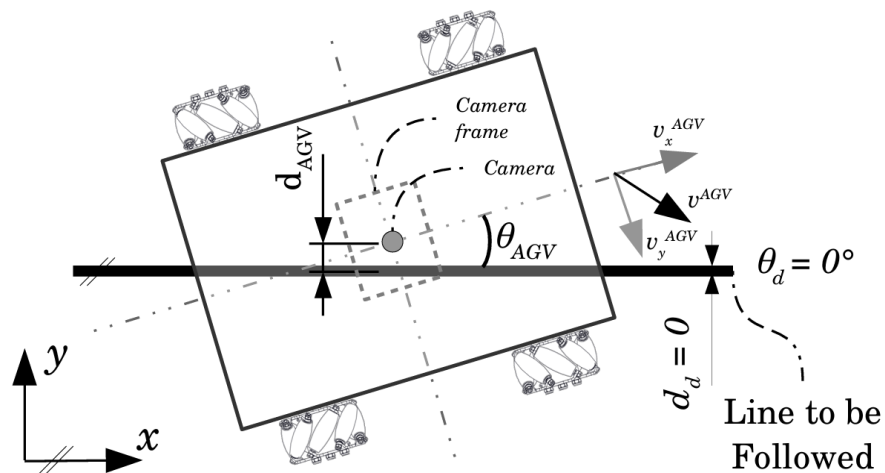


Figura 4: Visão em planta de um AGV seguidor de linha com câmera interna

O AGV seguidor de linha faz a medição interna conforme a imagem obtida a partir da câmera interna, a qual está orientada em direção ao chão, já que é possível medir o quão distante o veículo está em relação a onde ele deveria estar posicionado na pista, obtendo assim o erro posicional e angular do AGV em relação à pista.

Com isso, ambos os erros são utilizados como parâmetros de entrada do sistema de Controle interno do AGV para que ele obtenha os ajustes necessários na velocidade e direção do veículo para que ele ande mais próximo da pista.

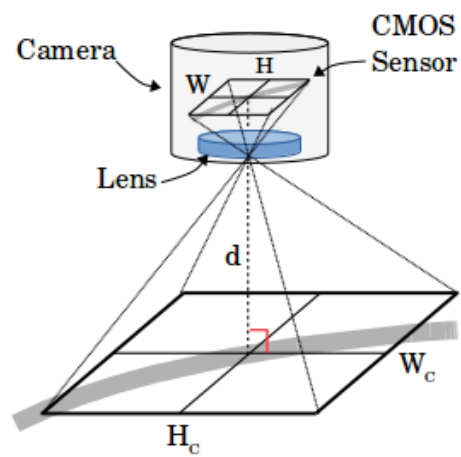
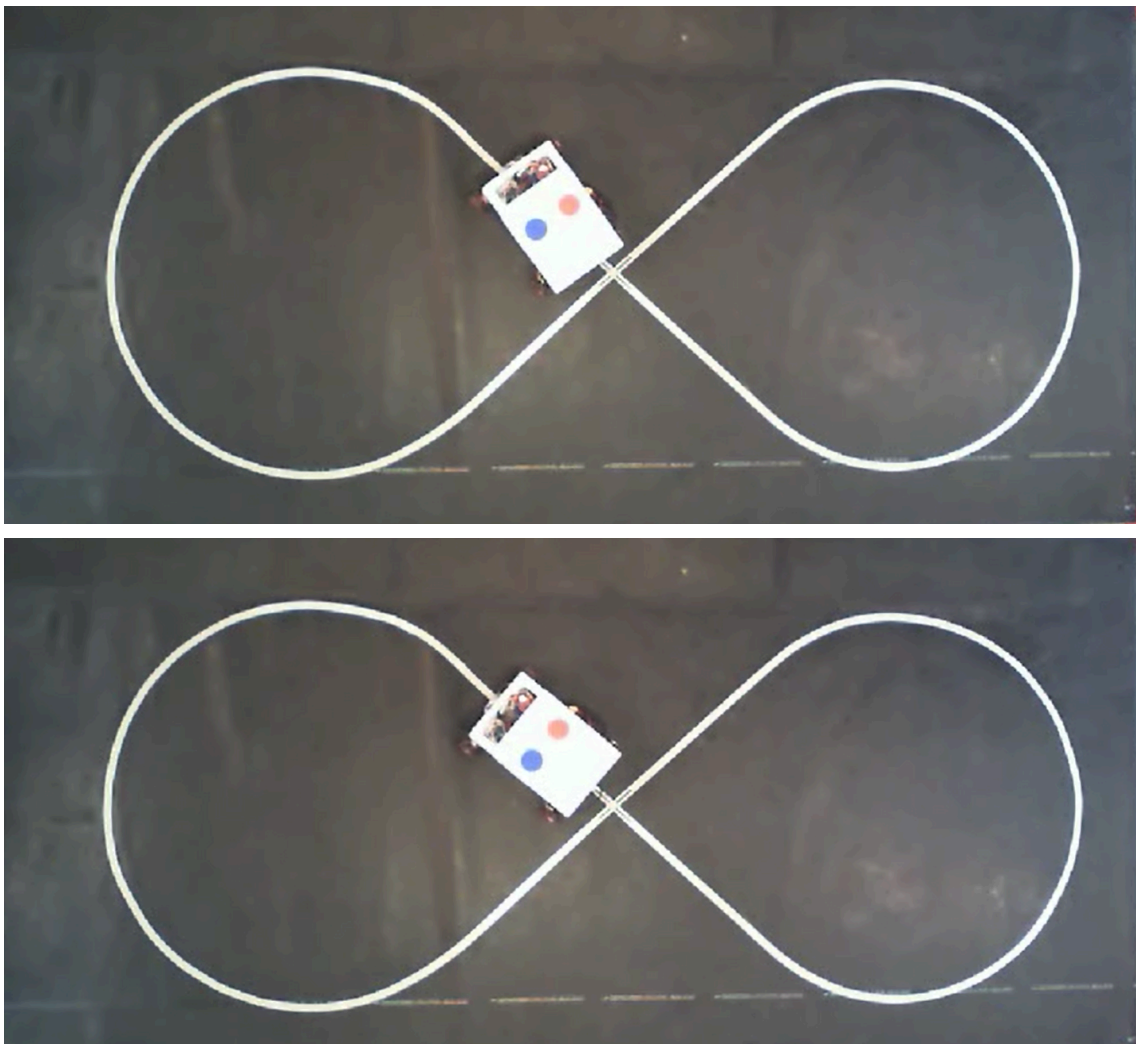


Figura 5: Representação da câmera interna do AGV em relação à área capturada da pista



Figuras 6 e 7: AGV andando mais próximo à pista após reajuste aplicado pelo seu sistema de Controle

Na medição interna feita pelo AGV descrita acima, é possível definir três situações problemáticas:

1. Não há garantias de que a medição interna e as correções fornecidas pelo sistema de Controle para o AGV estão corretas, já que ambos dependem de algoritmos e cálculos que caso não estejam corretos, geram erros na movimentação do veículo que serão incompreensíveis sem uma validação externa dos dados da medição e movimentação em relação à pista.

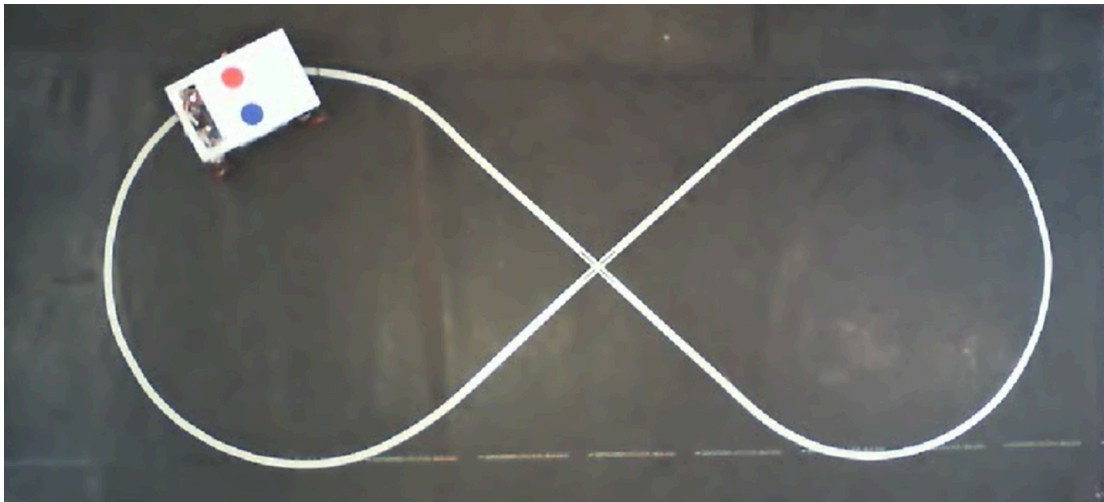


Figura 8: AGV com erro posicional e angular em relação à pista

2. O erro interno medido pelo AGV não pode ser obtido sem a conexão direta do AGV em um dispositivo externo que processe esses dados ou a implementação de rotinas que enviem dados por rede sem fio, fazendo com que seja muito trabalhoso avaliar o desempenho do sistema de Controle do AGV em cada leva de testes de calibração nas fases iniciais do projeto;

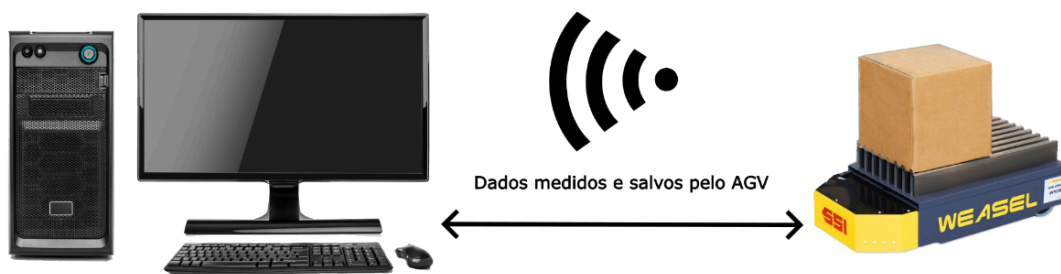


Figura 9: Comunicação física ou sem fio entre um AGV e um dispositivo externo (computador) capaz de processar seus dados

3. Não é possível ajustar o sistema de Controle do AGV internamente em tempo real sem interromper o seu funcionamento, pois seu movimento constante impede o usuário de navegar pelas telas do sistema para ajustar os parâmetros do sistema.

Além disso, para visualizar os efeitos da sintonização do sistema de Controle do AGV, seria novamente necessário um meio de exportar em tempo real não apenas as medidas obtidas pelo sistema, mas também a gravação da câmera do AGV. Isso levaria a maiores requisitos de memória e poder de processamento no AGV usado, aumentando o custo de seu hardware.

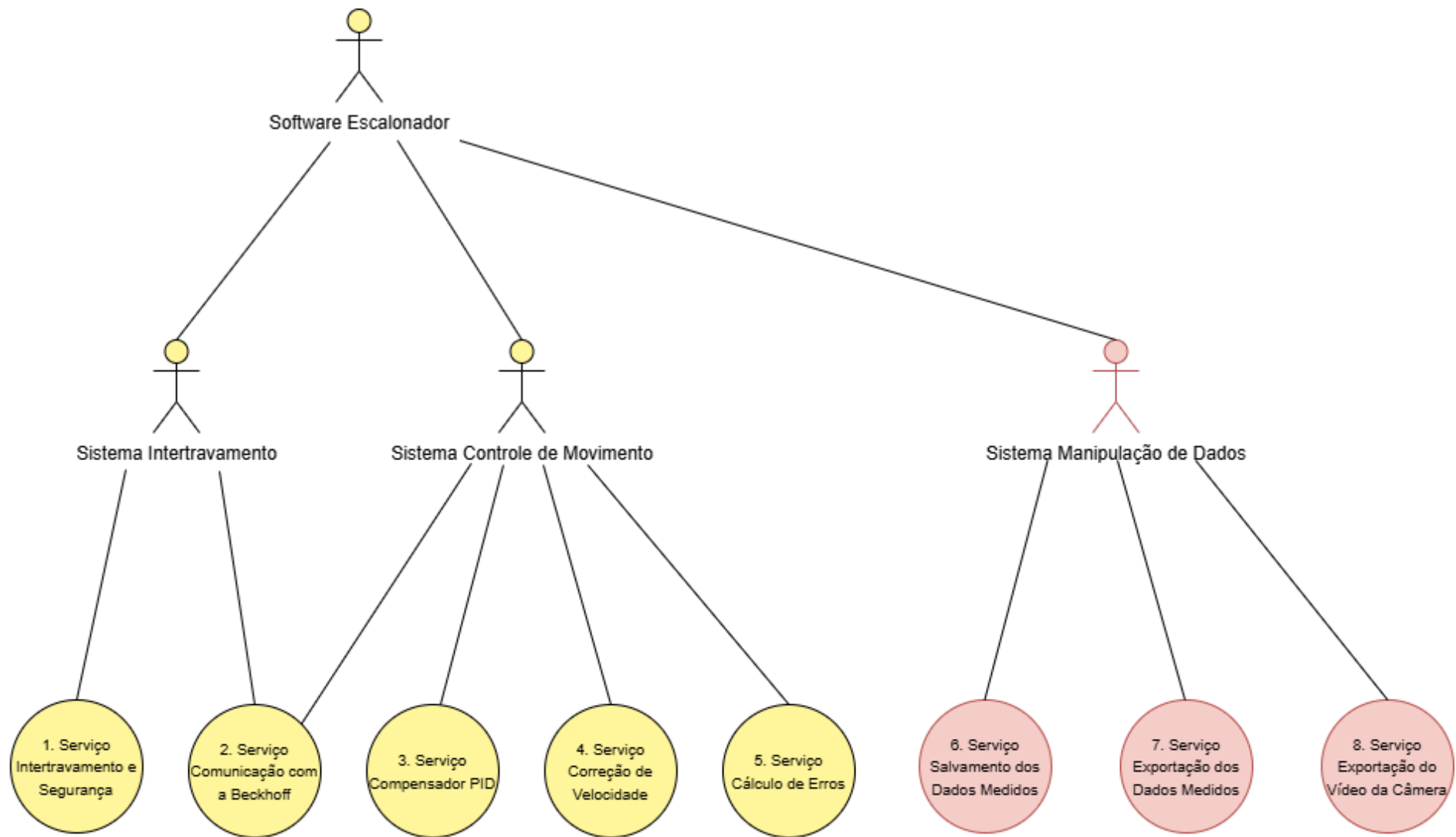


Figura 10: Diagrama com todas as funções obrigatórias para o funcionamento do AGV em tempo real marcadas em amarelo e as funções de exportação da medição e da gravação da câmera do AGV, as quais aumentariam o custo do hardware, marcadas em vermelho

3.3 Proposta de solução

Com base nos problemas apresentados e no contexto do laboratório, a solução escolhida é executar a medição externa do AGV, ou seja, medir a posição e ângulo do AGV em uma visão externa, por meio da gravação de uma câmera em visão de planta em relação à pista e o AGV.

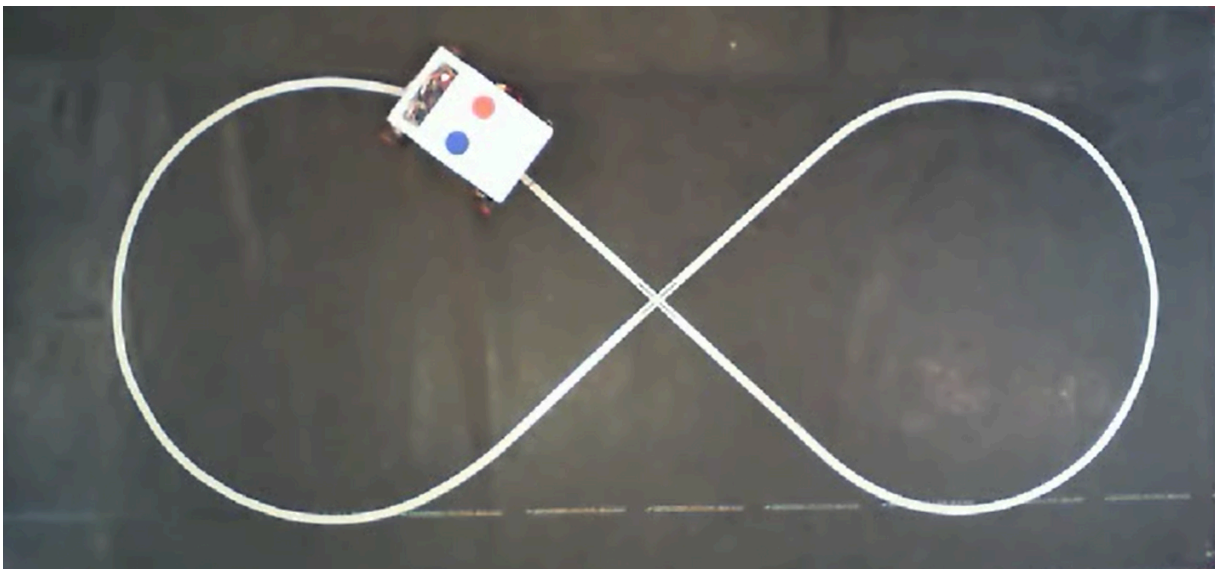


Figura 11: Imagem obtida por uma câmera em visão de planta do AGV e da pista a ser seguida

Por meio da detecção de tags coloridas posicionadas no centro do AGV a partir de um quadro de vídeo da câmera, obtêm-se a posição e ângulo absolutos do AGV dentro do plano geométrico 2D da pista e seus arredores. Além disso, tendo a imagem do trajeto da pista, torna-se possível calcular as medidas de distância e ângulo do AGV em relação a onde ele deveria estar posicionado na pista, ou seja, seu erro angular e erro posicional.

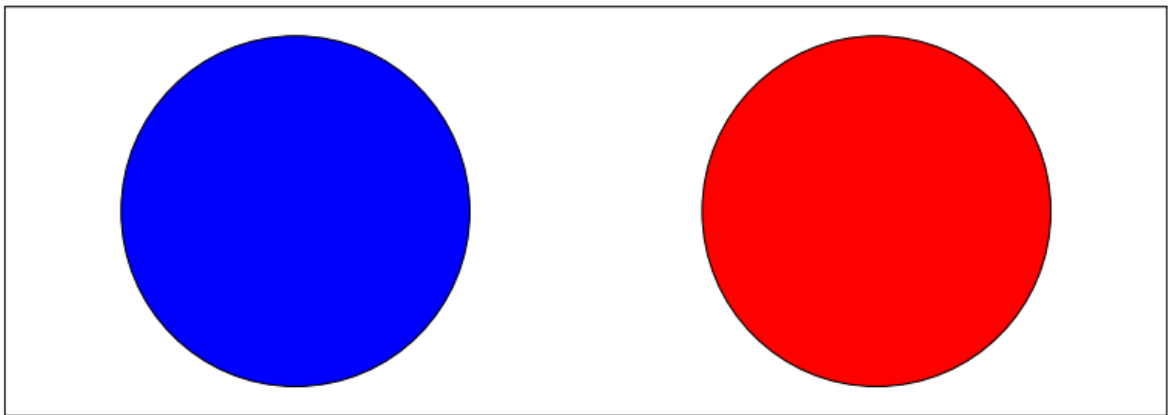


Figura 12: Tags de identificação do AGV

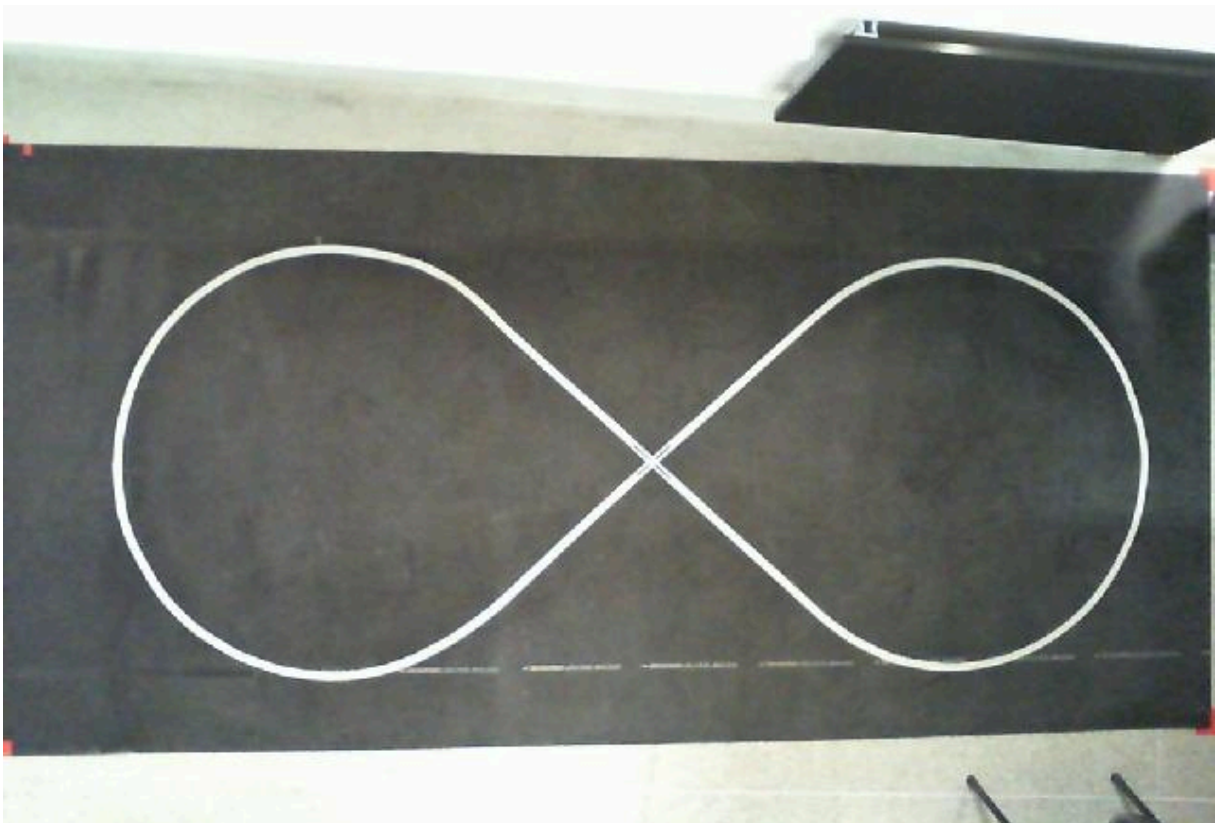


Figura 13: Exemplo de imagem da pista na qual o AGV andará

Além disso, de forma semelhante a E. H. C. Mendes (2015), projetamos a solução para que qualquer webcam possa executar a medição externa, para que o sistema seja uma opção acessível e de baixo custo para a validação de desempenho de AGVs seguidores de linha.

Com o conceito de Medição Externa e os problemas definidos como consequência da Medição Interna, é possível então definir três situações de uso para o sistema:

1. Validar a medição interna e sistema de Controle do AGV de forma qualitativa, já que a medição externa permite a obtenção dos dados de posição e ângulo absolutos do AGV e do erro posicional e angular do AGV em relação à pista em cada quadro do vídeo gravado, possibilitando a construção de gráficos que comparam a posição ideal do AGV na pista com o ângulo e distância medidos ao longo do vídeo;

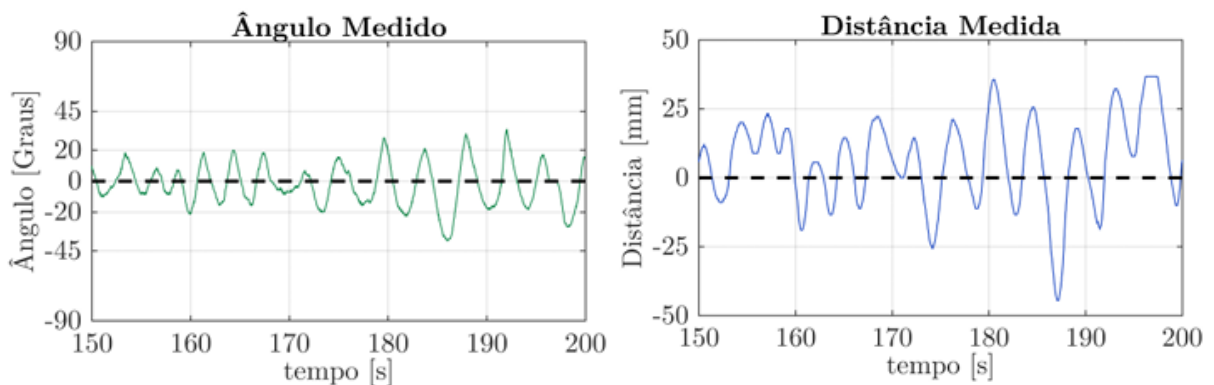


Figura 14: Gráficos comparando as posições e ângulos ideais do AGV em relação a seus respectivos erros, os quais foram medidos com o uso de um sistema de medição externa

2. Conferir o desempenho do AGV e de seu sistema de Controle em tempo real, por meio da interface do sistema de medição externa que mostra de forma visual e numérica as medições úteis para a sintonização do sistema de Controle do AGV. Isto é mais prático que enviar e validar os dados da medição interna, principalmente em fases iniciais do projeto de um AGV.

Um exemplo real deste caso de uso do sistema de medição externa foram as comparações conduzidas no artigo de W. P. N. dos Reis et al. (2021) entre a pose medida do AGV e a pose estimada, no qual um sistema de medição semelhante ao deste trabalho foi usado para obter as medições que geraram os gráficos da seção Resultados e Discussões do artigo.

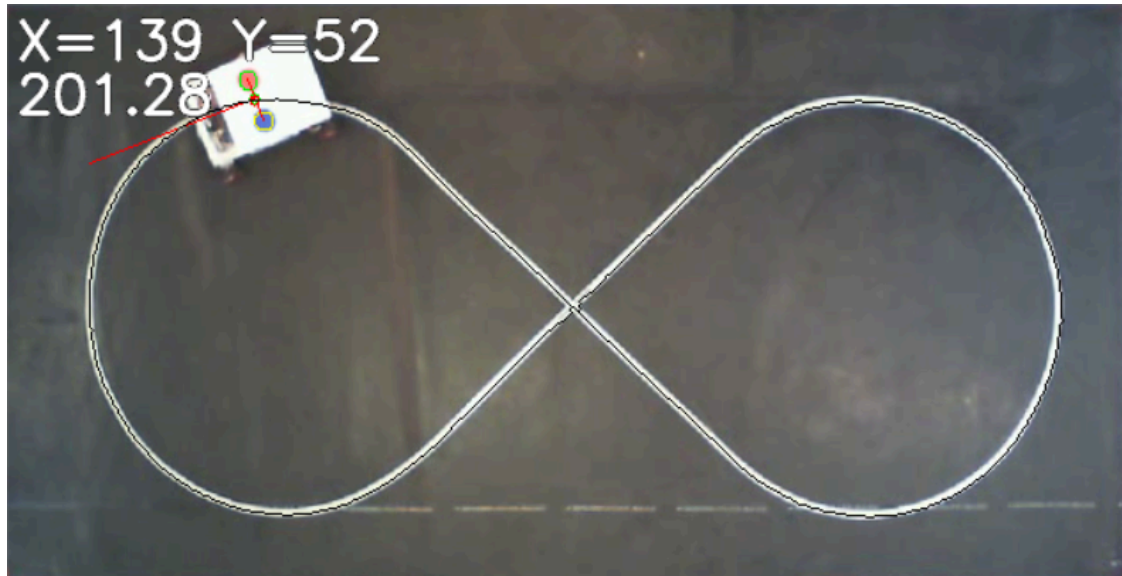


Figura 15: Sistema de medição externa processando a movimentação do AGV, com sua interface mostrando numericamente as coordenadas do centro do AGV e seu ângulo absoluto, além de mostrar visualmente o ângulo e a distância do centro do AGV em relação à pista por meio de uma linha vermelha

3. Expor de forma clara e didática os efeitos da sintonia do sistema de Controle do AGV por meio dos dados medidos junto da visualização da gravação da webcam em tempo real enviada diretamente ao sistema, a qual elimina a necessidade da implementação de métodos de envio de vídeo da medição interna.

Além disso, o sistema é capaz de receber a implementação de funções responsáveis pelo ajuste dos coeficientes K_p , K_d e K_i do sistema de Controle PID de um AGV em movimento por meio de uma conexão sem fio, já que bastaria enviar os dados de sintonia do sistema de Controle ao veículo por meio da rede sem fio.

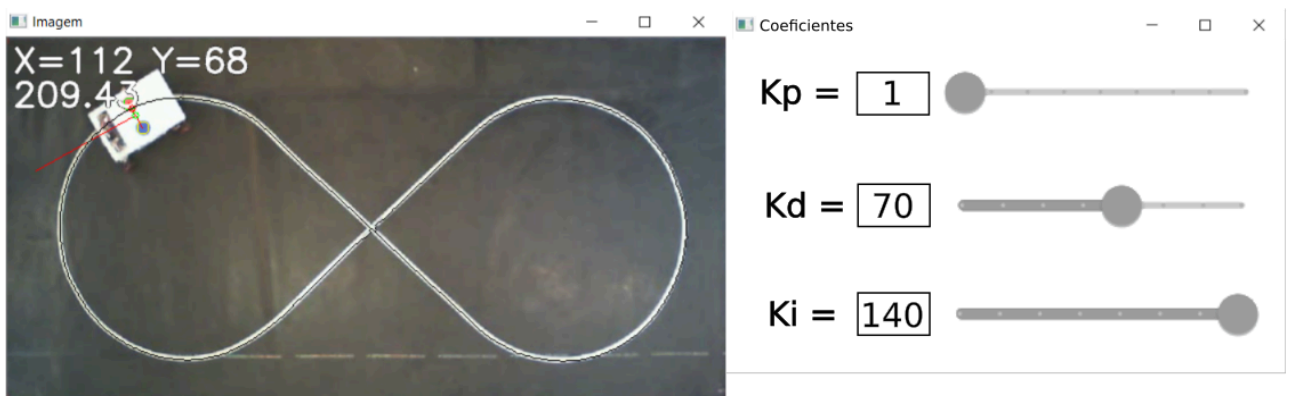


Figura 16: Tela exemplo do sistema de medição externa implementado com a função de ajustar os valores de K_p , K_d e K_i do sistema de Controle PID do AGV por meio de sliders

3.3.1 Casos de uso

Com base na proposta de sistema apresentada, é possível estruturar:

- As funcionalidades que o sistema deve ter;
- O fluxo de navegação entre cada uma das funcionalidades do sistema.

Portanto, o sistema de medição externa deve ter as seguintes funcionalidades:

- Lane Image Processing, responsável pelo processamento de imagem da pista;
- Ground Truth, responsável pela medição da posição e ângulo do AGV, além de seus erros posicional e angular em relação à pista;
- Parameter Tuning, responsável pela configuração de parâmetros do sistema, como as cores a serem detectadas nas tags do AGV e operações morfológicas a serem aplicadas para melhoria da qualidade da imagem processada;
- File Manager, responsável por carregar e salvar os dados de vídeo fornecidos pela câmera.

Além disso, é necessária a criação de uma interface gráfica para o sistema, com o objetivo de o usuário consiga navegar de forma intuitiva e confortável entre as funcionalidades, na qual é possível visualizar não apenas como chegar na funcionalidade desejada, mas também compreender os erros retornados pelo sistema após receber parâmetros inesperados.

Para que a navegação entre as funcionalidades a partir da interface seja fácil de ser compreendida e ajustada conforme a preferência do cliente do software, o diagrama de fluxo de navegação abaixo foi construído com base na estrutura de um Diagrama de Máquina de Estados.

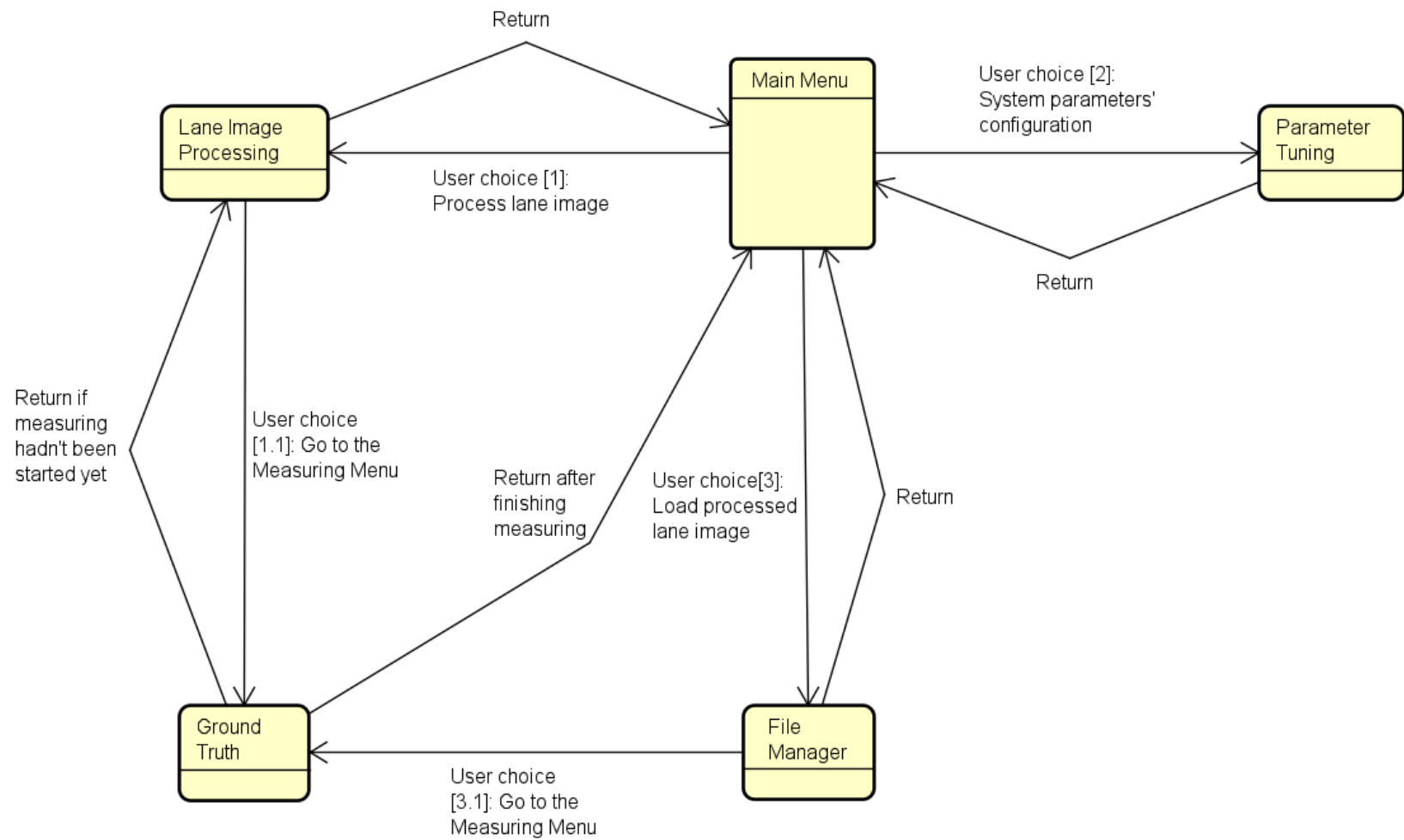


Figura 17: Diagrama de Casos de Uso Geral do sistema feito seguindo o formato de Diagrama de Máquina de Estados

3.4 Funcionalidades para o usuário

Por meio do Diagrama de Casos de Uso Geral, torna-se evidente que cada um de seus blocos é uma funcionalidade do sistema de medição externa proposto. Cada uma das seções a seguir detalha o escopo de cada funcionalidade.

3.4.1 Lane Image Processing

- **Processamento de imagem da pista:** É necessário providenciar a imagem da pista em visão de planta para que a medição externa do AGV em relação à pista seja possível. A imagem fornecida da pista não pode conter obstruções, devendo ter linha guia branca e fundo preto em visão de planta, podendo ser fornecida ao sistema de duas formas:
 - Tirando uma foto de uma câmera conectada ao computador por meio da interface do próprio sistema;
 - Carregando um arquivo de imagem previamente salvo pelo sistema, com o objetivo de prevenir o uso de imagens que não sejam compatíveis com o sistema.

A imagem da pista será então processada, para que sua perspectiva seja ajustada, seu fundo seja retirado e a pista tenha sua largura reduzida para um pixel por meio de um processo chamado esqueletização. O objetivo desse processamento é que a medição de erro seja feita comparando o centro do AGV e o pixel central no qual o AGV deveria estar na pista.

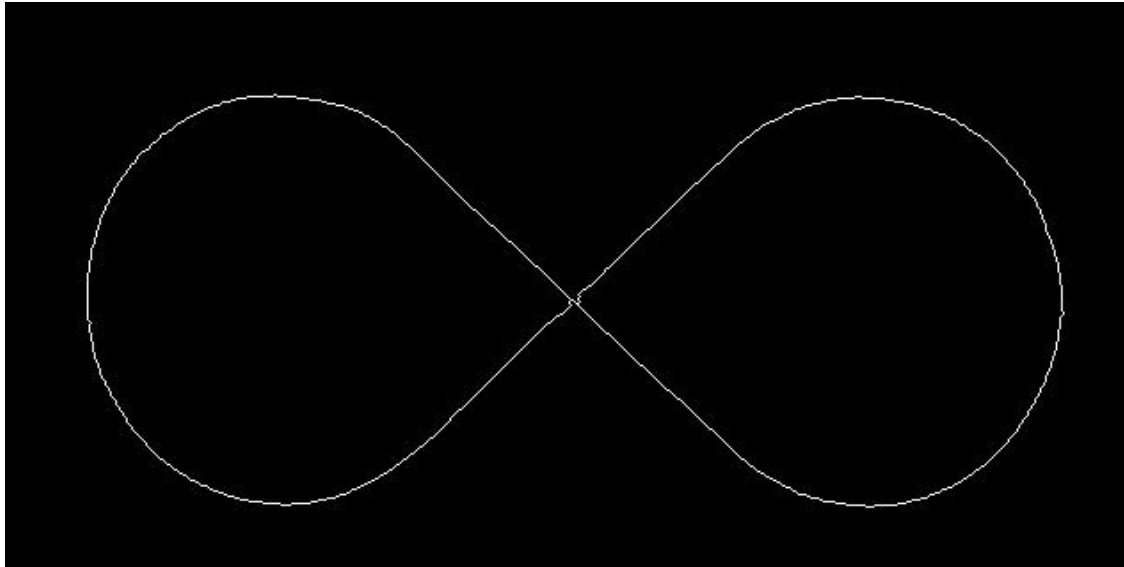


Figura 18: Exemplo de pista esqueletizada gerada a partir da Figura 11

3.4.2 Ground Truth

- **Medição de erro de distância e ângulo do AGV:** Função primária do sistema, responsável por medir a posição e ângulo absolutos do centro do AGV ao longo do vídeo, os quais são comparados com a distância e ângulo nos quais o AGV deveria estar na pista para obter o erro posicional e angular do AGV.

O vídeo do AGV seguidor de linha andando na pista em visão de planta, com pista de fundo preto e linha guia branca pode ser fornecido de duas formas:

- Capturando o vídeo em tempo real por meio de uma câmera conectada ao sistema;
- Carregando um vídeo gravado em uma execução anterior do sistema, o qual foi salvo na pasta padrão do sistema.

Com isso, é possível obter as seguintes medidas em cada quadro do vídeo:

- Erro posicional do AGV em relação à pista;
- Erro angular do AGV em relação à pista;
- Posição do AGV em relação ao ponto de origem do sistema de coordenadas 2D, o qual é configurável pelo usuário no sistema;
- Ângulo absoluto do AGV, conforme o círculo trigonométrico.

Além disso, estas informações de cada quadro do vídeo são salvas em um arquivo de texto, sendo ele o *log* da medição executada.

3.4.3 Parameter Tuning

- **Configuração dos parâmetros do sistema:** Esta função cobre quatro casos de uso específicos:
 - **Sintonia das cores das tags do AGV:** Isto permite mudar quais são as cores das tags que indicam a posição central do AGV a ser medido, sendo ela o centro entre as duas tags coloridas. As cores padrão do sistema são azul e vermelho, com as tags seguindo a disposição das tags da Figura 10.
 - **Configuração de parâmetros de operações morfológicas:** Esta função permite que usuários avançados com conhecimentos da área de Processamento de Imagens mudem os parâmetros do sistema, sendo eles o elemento estruturante e a sequência de operações morfológicas a serem aplicadas no vídeo da medição. Isto pode ser usado para melhorar a qualidade dos quadros do vídeo e remover ruído, levando a uma medição mais precisa.
 - **Configuração dos parâmetros de exportação de dados:** Ela é responsável por escolher quais dos quatro parâmetros medidos pelo sistema serão exportados para o arquivo texto de *log* da medição salvo após a medição ser encerrada.
 - **Configuração dos pontos de origem do sistema:** Ela permite que o usuário defina um de cinco pontos de origem possíveis do sistema de coordenadas 2D para ser usado como referência na medição, com as opções sendo cada um dos quatro cantos do vídeo e um ponto posicionada no meio do plano, conforme a figura abaixo:

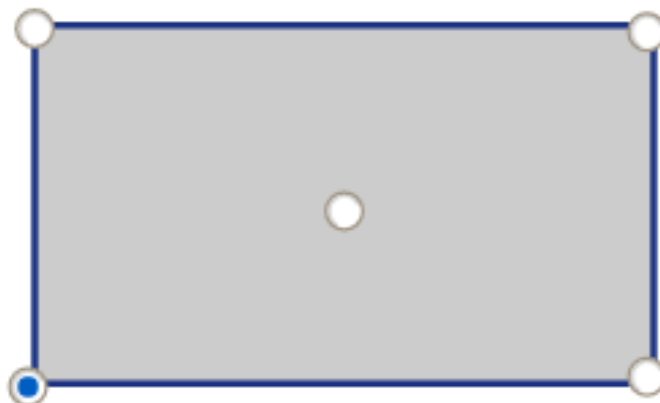


Figura 19: Ilustração dos possíveis pontos de origem do sistema, com o escolhido no momento sendo o do canto inferior esquerdo

3.4.4 File Manager

- **Carregamento da imagem da pista anteriormente processada:** É permitido o carregamento de imagens da pista já processadas pelo sistema caso a Medição Externa seja feita com base na mesma pista que uma execução anterior salva. Isso deve ser feito por meio da interface de manipulação de arquivos do SO (sistema operacional), com o objetivo de o usuário poder começar a medição quase que de imediato, sem ter que processar a pista a cada nova medição.
- **Carregamento de vídeos gravados anteriormente pelo sistema:** Caso o usuário queira repetir medições anteriores, principalmente para análise visual dos dados medidos, é possível carregar novamente os vídeos salvos pelo sistema a partir da interface de manipulação de arquivos do SO.

3.5 Navegação das telas

Com base no Diagrama de Casos de Uso Geral, é possível elaborar a navegação entre as telas da interface do sistema e construir esboços destas telas do sistema. Isso foi feito com o objetivo de mostrar ao cliente como as funções e fluxos do sistema funcionarão em conjunto de forma intuitiva.

Por conta do formato de Diagrama de Atividades ser fácil de ser visualizado e de seguir os fluxos de cada funcionalidade e suas telas, o Diagrama de Navegação de telas abaixo foi construído nesse formato.

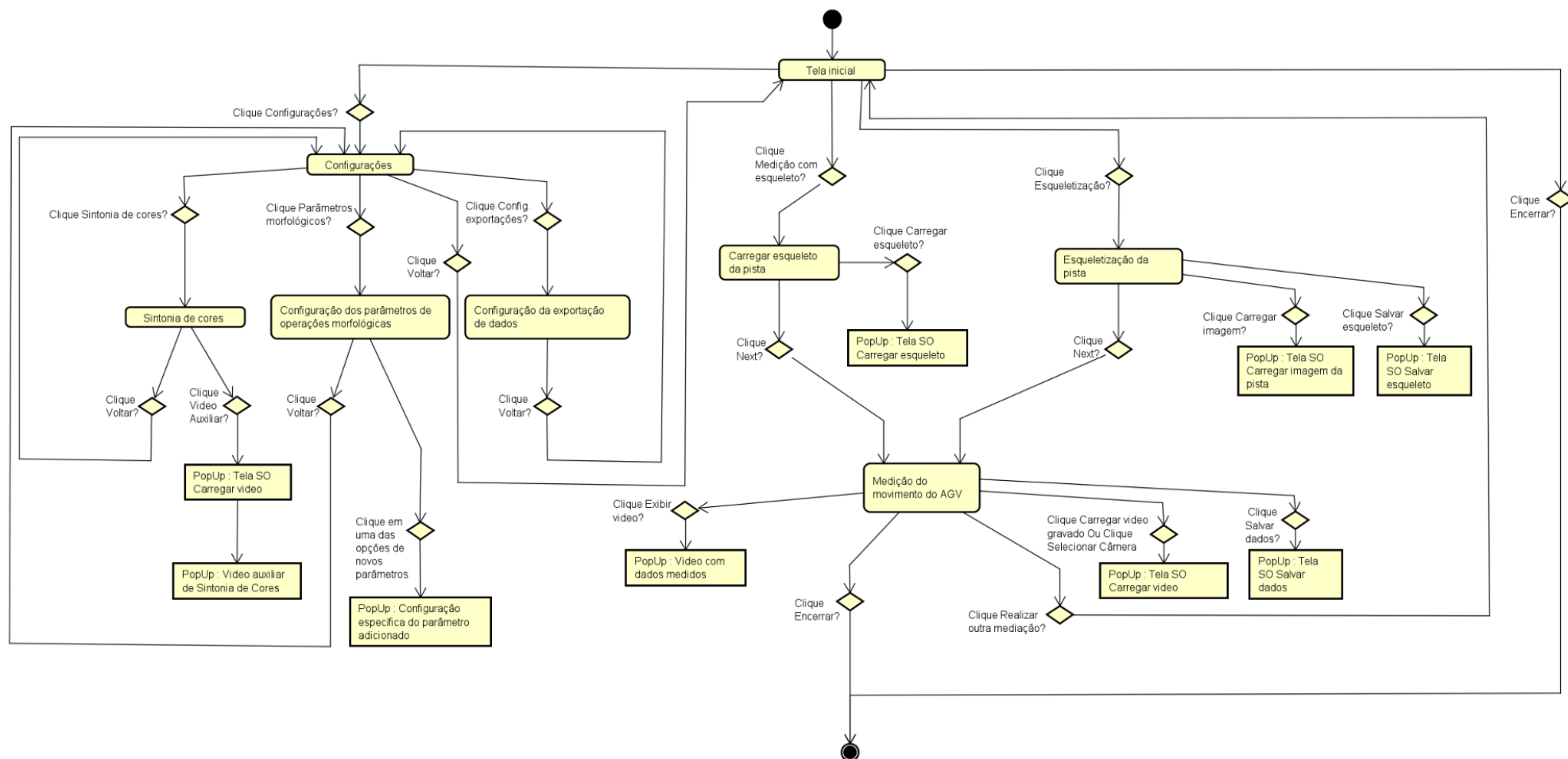


Figura 20: Diagrama de Navegação de Telas do sistema de Medição Externa, feito no formato de Diagrama de Atividades

Por meio do Diagrama de Navegação de Telas, é possível ver que a navegação segue a seguinte hierarquia:

- **Menu Principal;**
 - **Menu de Configurações;**
 - **Menu de Sintonia de Cores das Tags do AGV;**
 - **Menu de Configuração de Parâmetros de Operações Morfológicas;**
 - **Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados;**
 - **Menu de Configuração dos Pontos de Origem;**
 - **Menu de Esqueletização da Pista;**
 - **Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista;**
 - **Menu da Medição do Movimento do AGV.**

Além disso, os esboços de tela a seguir mostram como é possível entrar e voltar a partir de e para cada feature, conforme o fluxo detalhado no Diagrama de Navegação de Telas.

3.5.1 Menu Principal

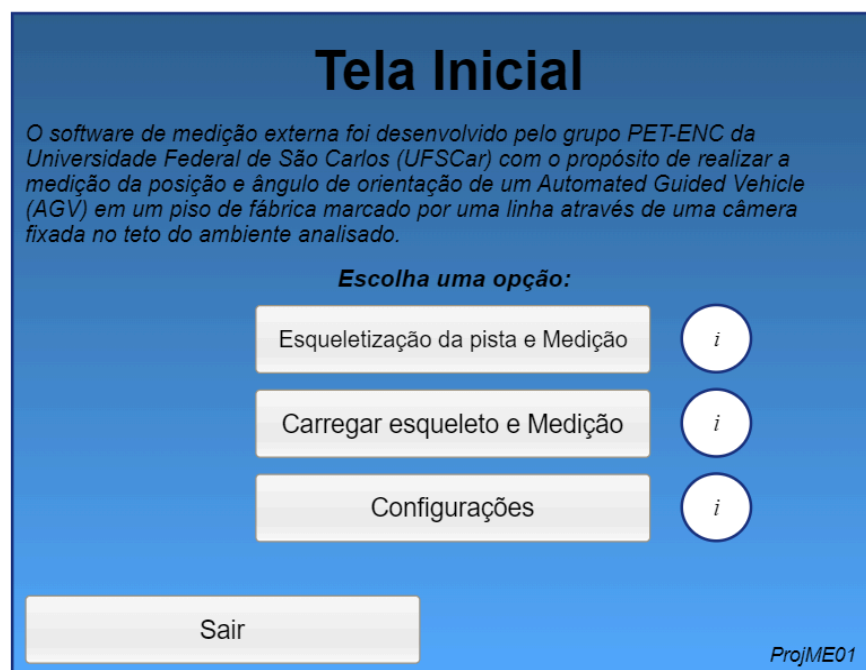


Figura 21: Esboço do Menu Principal do software de medição externa

3.5.1.1 Menu de Configurações

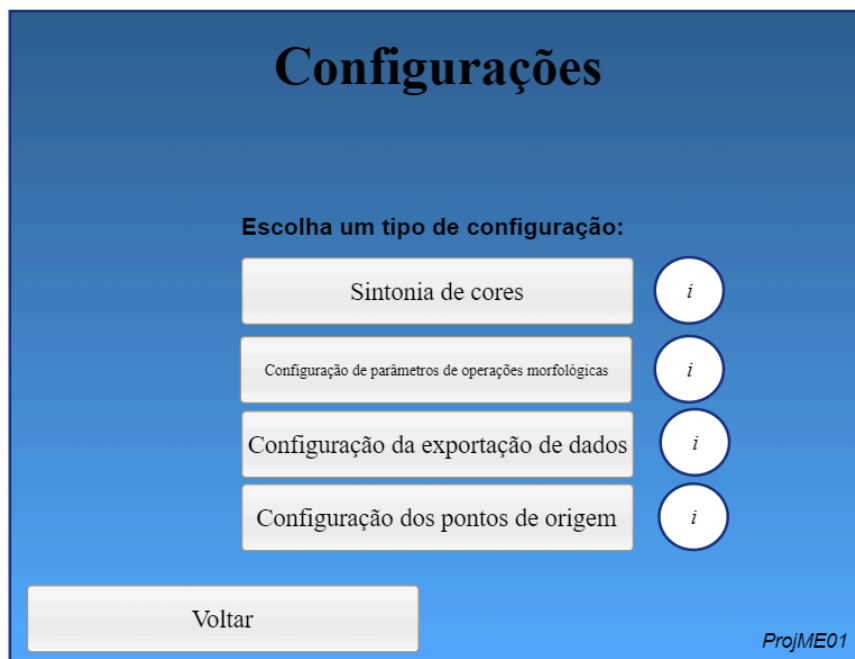


Figura 22: Esboço do Menu de Configurações do software de medição externa

3.5.1.1.1 Menu de Sintonia de Cores das Tags do AGV

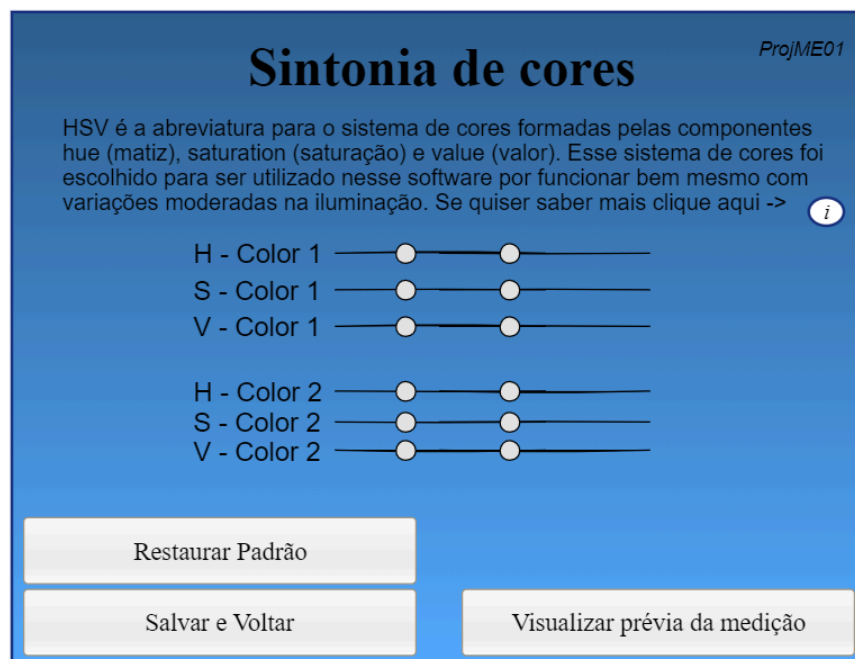


Figura 23: Esboço do Menu de Sintonia de Cores das Tags do AGV do software de medição externa

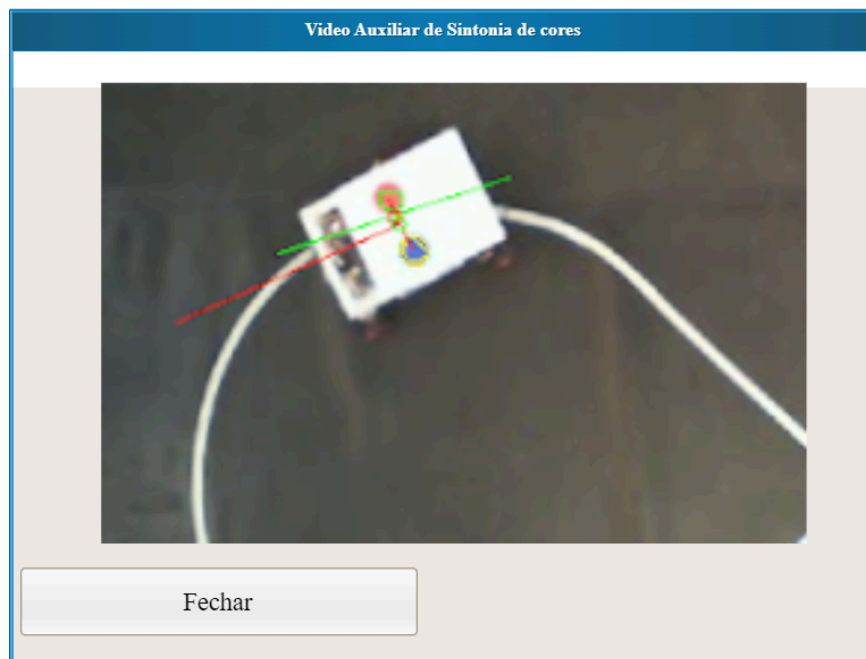


Figura 24: Esboço do menu do vídeo auxiliar para sintonia de cores do software de medição externa

3.5.1.1.2 Menu de Configuração de Parâmetros de Operações Morfológicas

Configurações dos parâmetros de operações morfológicas

Defina as operações morfológicas aplicadas no método de detecção da tag do AGV:

Abertura

Fechamento

Remover

Salvar

Voltar

1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

ProjME01

Figura 25: Esboço do Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados do software de medição externa

Figura 26: Esboço do menu de configuração do elemento estruturante das operações morfológicas do software de medição externa

3.5.1.1.3 Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados

Figura 27: Esboço do Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados do software de medição externa

3.5.1.1.4 Menu de Configuração dos Pontos de Origem

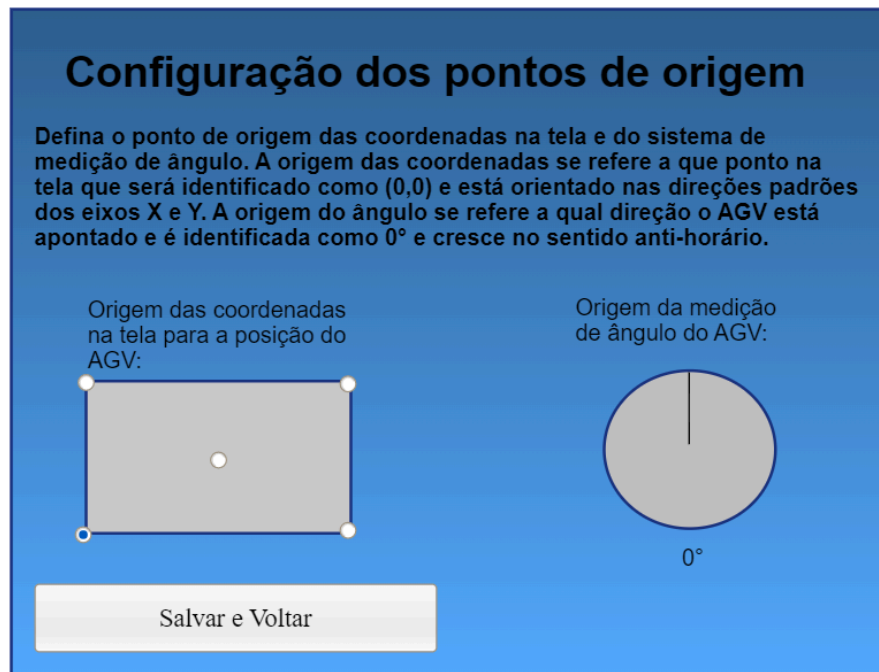


Figura 28: Esboço do Menu de Configuração dos Pontos de Origem do software de medição externa

3.5.1.2 Menu de Esqueletização da Pista

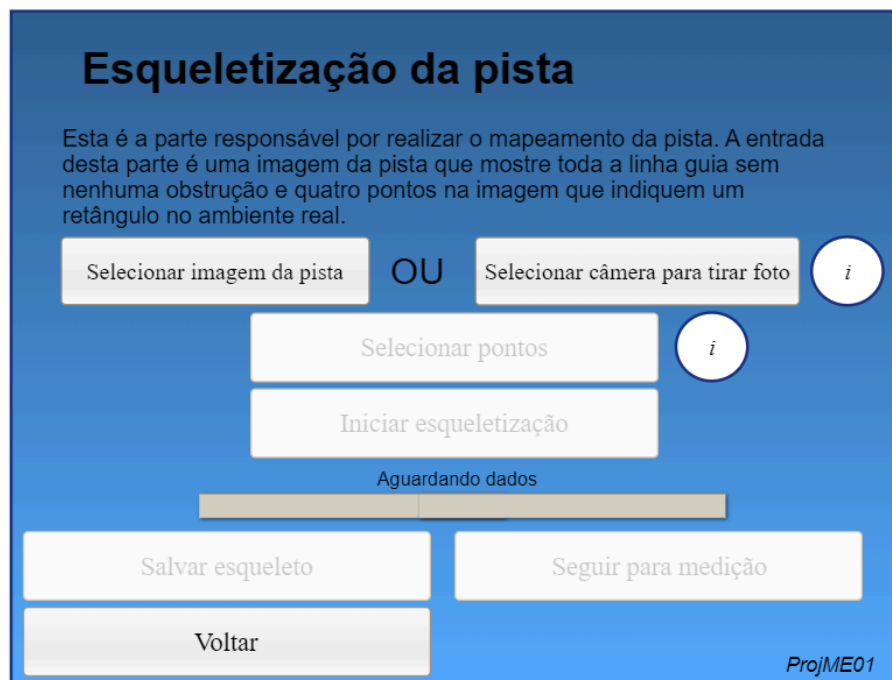


Figura 29: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa sem imagem carregada da pista



Figura 30: Esboço da tela de tirar foto da pista, resultante da escolha da câmera no Menu de Esqueletização da pista, com a câmera transmitindo a captura em tempo real do ambiente da pista

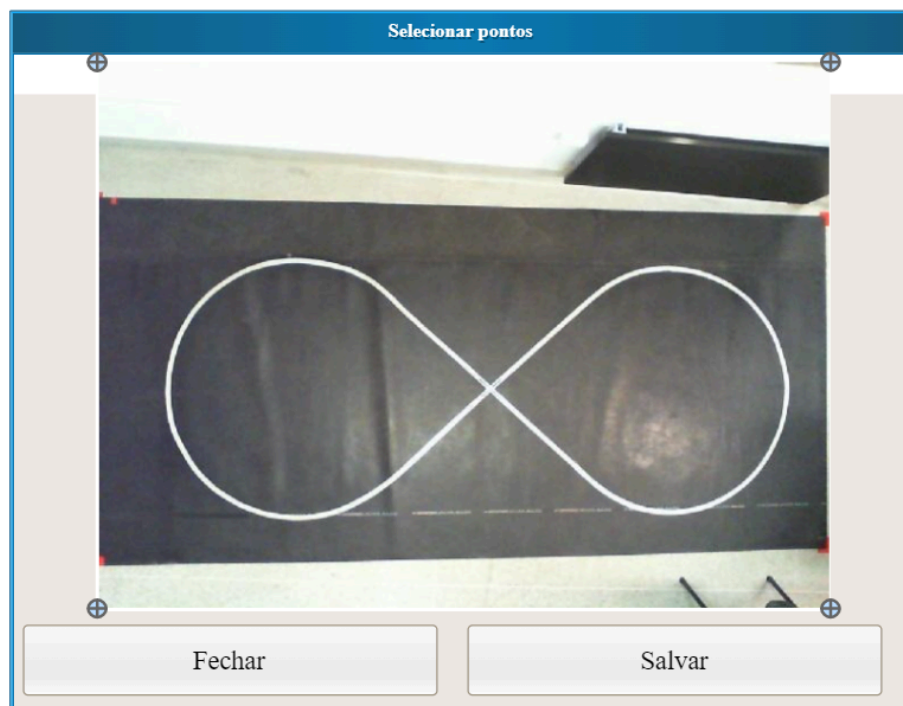


Figura 31: Esboço da tela de seleção dos pontos de ajuste de perspectiva da imagem da pista, a qual aparece após o carregamento da imagem da pista por meio da interface do SO

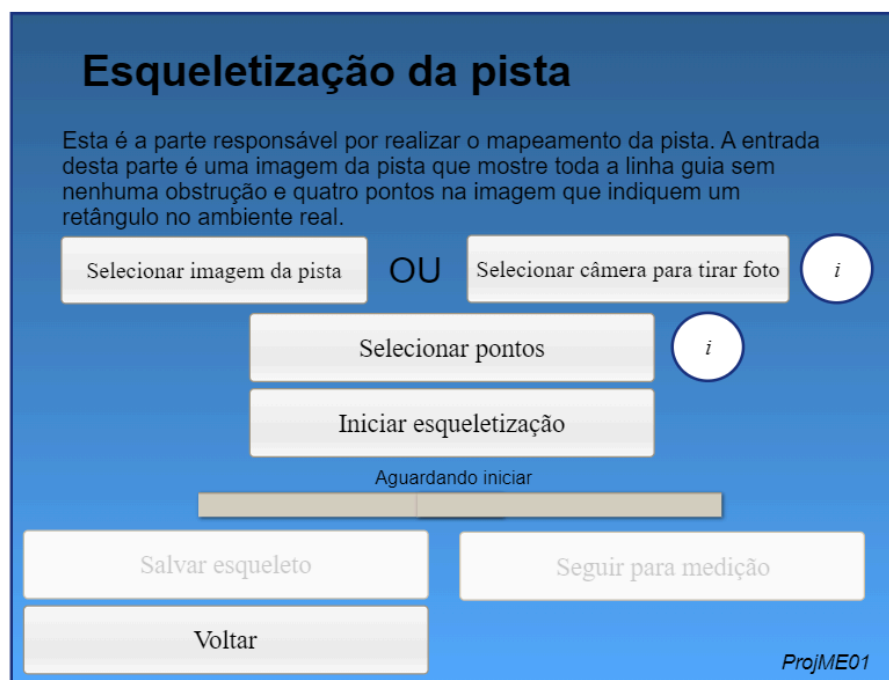


Figura 32: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com imagem da pista carregada e os pontos de ajuste de perspectiva selecionados, estando pronto para iniciar a esqueletização da pista

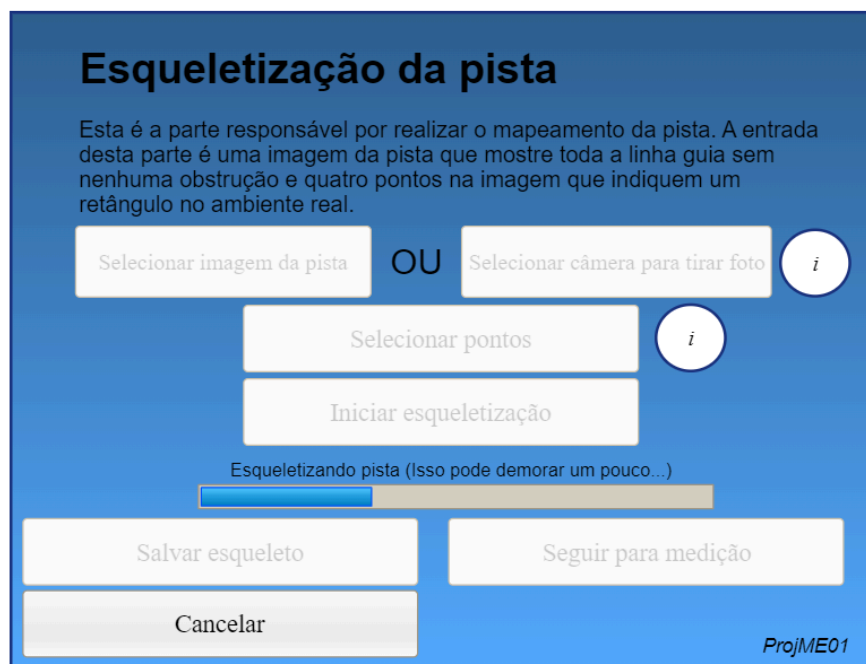


Figura 33: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com o processo de esqueletização em andamento

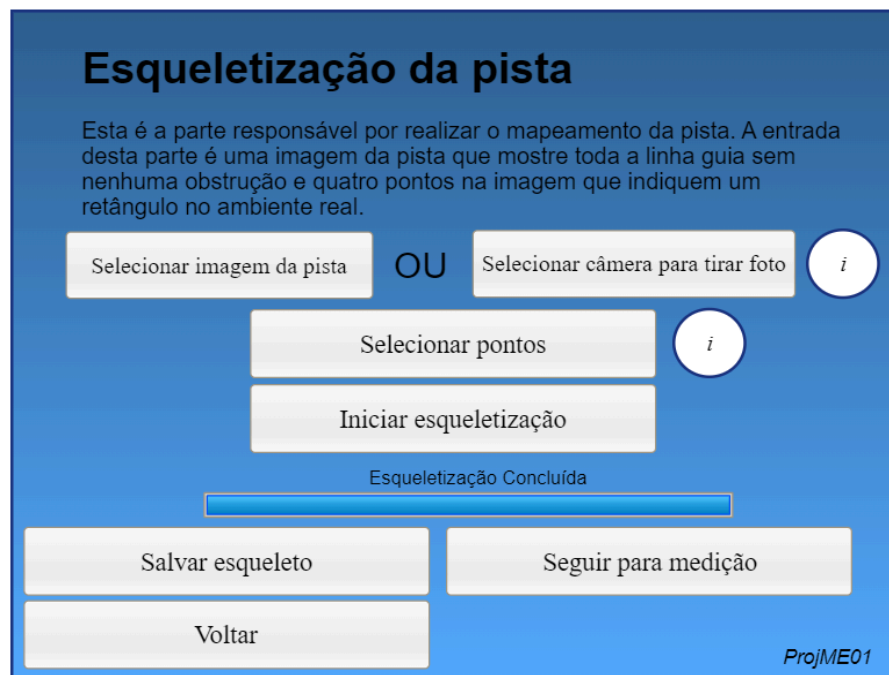


Figura 34: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista do software de medição externa com a esqueletização estando concluída, permitindo salvar o esqueleto e prosseguir para o Menu de Medição do Movimento do AGV

3.5.1.3 Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista



Figura 35: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista sem esqueleto selecionado

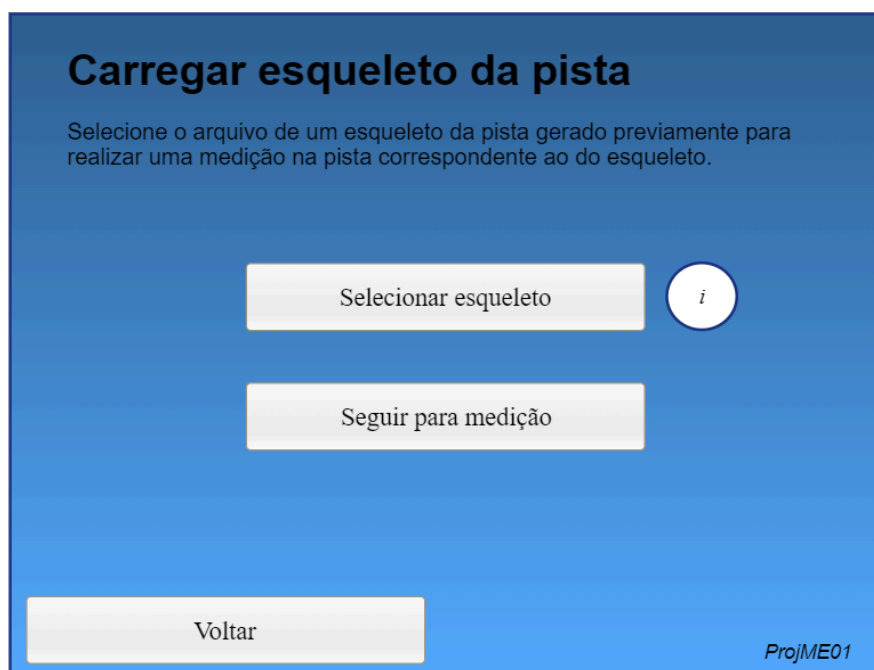


Figura 36: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista após o esqueleto ser selecionado pela interface de seleção de arquivos do SO e carregado pelo sistema de medição

3.5.1.4 Menu de Medição do Movimento do AGV



Figura 37: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV sem entrada de vídeo do movimento do AGV selecionada

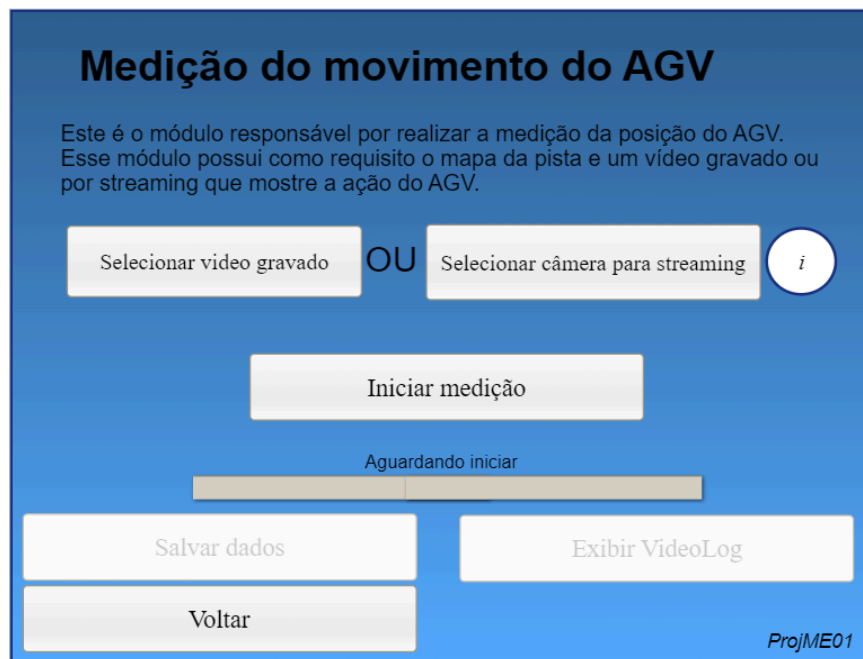


Figura 38: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV com a entrada de vídeo do movimento do AGV tendo sido selecionada, sendo possível iniciar a medição



Figura 39: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV com a medição estando em andamento

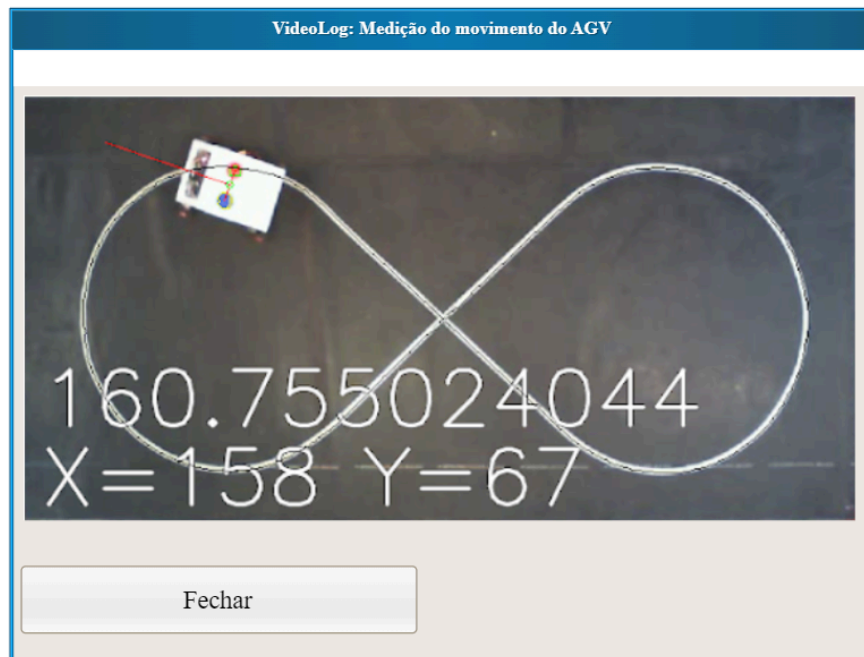


Figura 40: Esboço da tela de exibição do vídeo da medição junto dos parâmetros de posição e ângulo obtidos, a qual aparece ao selecionar a opção “Exibir VideoLog”

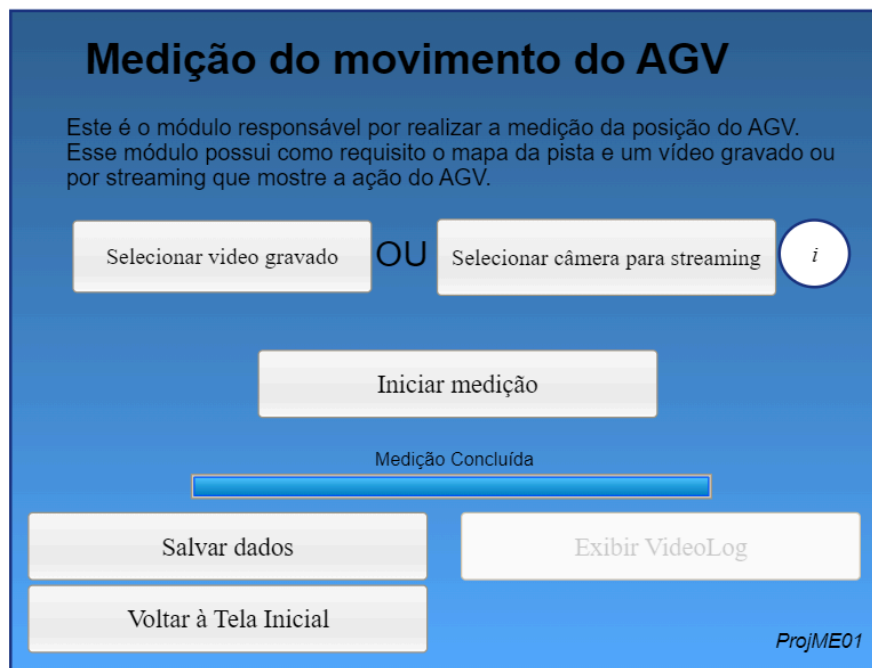


Figura 41: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV após o processo de medição do movimento do AGV ter sido concluído

3.6 Características do usuário

Para compreender como fazer a interface tratar adequadamente cada um dos cenários possíveis nas telas apresentadas na seção anterior, é necessário avaliar que tipo de usuário usaria este sistema de medição externa.

Há dois tipos de usuários que usariam este sistema de medição externa, sendo eles:

- **Usuário básico:** Ele não é capaz de ajustar parâmetros de operações morfológicas do sistema de forma correta, pois ele não tem conhecimentos na área de Processamento de Imagens, com suas alterações podendo piorar o desempenho da medição externa. Logo, ele deve evitar sempre que possível acessar a opção “Configurações de parâmetros de operações morfológicas” no Menu de Configurações;
- **Usuário que conhece a área de Processamento de Imagens:** Ele poderá usar a opção “Configurações de parâmetros de operações morfológicas” do Menu de Configurações para obter melhores resultados na medição do movimento do AGV em relação à pista, já que ele tem experiência em criar novo elemento estruturante e escolher as operações morfológicas para filtrar ruídos e obter medições mais precisas.

3.7 Confiabilidade e Usabilidade

Além de seguir os fluxos de navegação entre telas já detalhados, o sistema não pode aceitar entradas ou operações inválidas e deve expor de forma clara o erro que ocorreu, para que tanto o usuário básico quanto o usuário da área de Processamento de Imagens entenda o motivo do erro, não repita a ação inválida e entenda como navegar pelo sistema de forma adequada.

Dentro do sistema de medição externa, estas situações são tratadas por meio da própria interface do sistema nas telas a seguir:

3.7.1 Menu de Configuração de Parâmetros de Operações Morfológicas

Caso algum dos valores preenchidos da matriz do elemento estruturante esteja vazio na tela de configuração do elemento estruturante, deve-se impedir o usuário de clicar no botão “Definir” e mostrar uma mensagem de erro enquanto ele não preencher o(s) valor(es) vazio(s) da matriz da dimensão especificada.

Isso ocorre para que o usuário não forneça uma matriz inválida para o sistema.

A interface de usuário é uma janela com o título "Inserir Abertura". O conteúdo principal é uma seção intitulada "Defina o elemento estruturante".

Dentro desta seção, há o rótulo "Dimensões:" seguido de dois campos de entrada numérica, ambos contendo o valor "3".

Abaixo das dimensões, há uma matriz 3x3 de campos de entrada numérica. Os valores preenchidos são:

0	1	0
1		1
0	1	0

Abaixo da matriz, há uma mensagem de erro em itálico: "A matriz do elemento estruturante está incompleta. Por favor, preencha os campos vazios da matriz."

No rodapé da janela, há um botão grande e cinza com o texto "Definir".

Figura 42: Esboço da tela de configuração do elemento estruturante que possui matriz incompleta sendo fornecida pelo usuário

3.7.2 Menu de Esqueletização da Pista

Enquanto não houver seleção da imagem da pista, o usuário deve ter acesso apenas às opções de selecionar a imagem da pista e ao botão “Voltar” para retornar ao Menu Principal, pois é necessário carregar a imagem da pista para iniciar o processo de esqueletização.

Além disso, o estado dos botões de carregamento da imagem da pista depende dos estados da(s) câmera(s) conectada(s) ao sistema e se a pasta de fotos possui fotos da pista já tiradas por meio do sistema de medição. Por isso, existem quatro possíveis tratamentos desse menu ao ser aberto inicialmente:

- **O sistema não tem acesso a uma câmera funcional nem a um arquivo de imagem válido da pista:** Assim que o usuário abrir o Menu de Esqueletização da pista, a interface avisa-o por meio de uma mensagem de erro que não há como obter a imagem da pista, a qual guia o usuário de volta para o Menu Principal. Portanto, ele precisará conectar uma câmera para poder entrar neste menu e iniciar o processo de esqueletização.

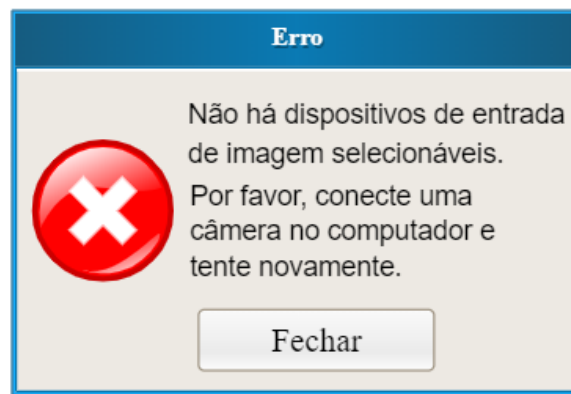


Figura 43: Esboço de janela de erro para o caso do usuário entrar no Menu de Esqueletização da Pista sem ter como obter a imagem da pista para o sistema

- **O sistema possui pelo menos uma câmera conectada funcional e no mínimo um arquivo de foto não corrompido e válida, o qual tem uma pista com fundo preto e linha guia branca:** Ambas as opções “Selecionar imagem da pista” e “Selecionar câmera para tirar foto” devem estar selecionáveis no menu.

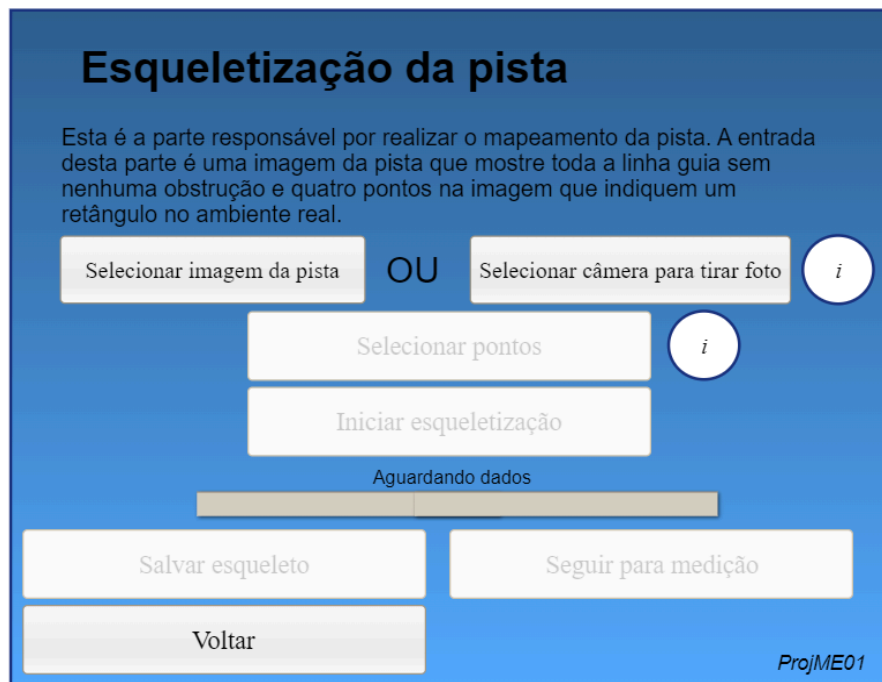


Figura 44: Esboço do Menu de Esqueletização da pista no cenário que o sistema pode obter a imagem da pista tanto por meio de um arquivo de imagem quanto tirando a foto por meio da câmera conectada

- **O sistema só tem acesso a pelo menos uma foto não corrompida e válida da pista, com fundo preto e linha guia branca:** Como o usuário não tem câmera funcional conectada, mas tem como carregar um arquivo de imagem da pista, o menu permitirá a escolha da opção “Selecionar imagem da pista” e bloqueará a opção “Selecionar câmera para tirar foto”, com o objetivo de impedir o usuário de executar uma operação impossível.

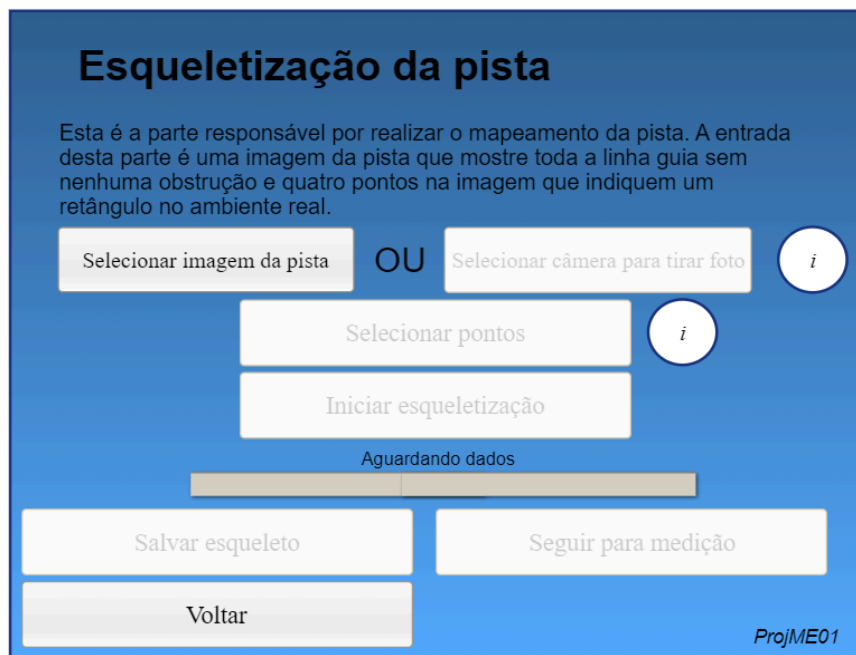


Figura 45: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário que o usuário só pode carregar a imagem da pista por meio do sistema de arquivos

- **O sistema só consegue obter a imagem da pista por meio da foto de uma câmera funcional conectada:** Já que o sistema não possui arquivo de imagem da pista válido salvo na pasta do sistema, o menu permite selecionar apenas a opção “Selecionar câmera para tirar foto”, bloqueando a opção “Selecionar imagem da pista”.

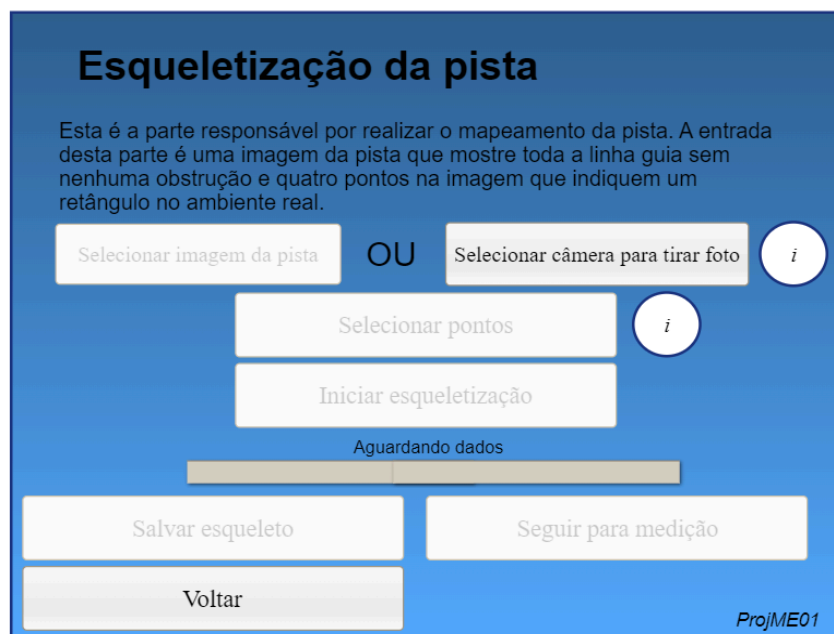


Figura 46: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário no qual o usuário só consegue carregar a imagem da pista por meio de uma câmera

Além disso, tendo o menu aberto corretamente, caso:

- **O usuário escolha a opção “Selecionar imagem da pista”:** Ele poderá selecionar uma imagem da pista não corrompida, com linha guia branca e fundo preto a partir de uma lista, a qual já será carregada para o sistema;
- **O usuário escolha a opção “Selecionar câmera para tirar foto”:** Ele poderá escolher uma das câmeras funcionais conectadas ao sistema por meio de uma lista, a qual será inicializada para mostrar a captura da câmera em tempo real. Se a câmera capturar uma pista com linha guia branca, fundo preto, em visão de planta e sem obstruções, o usuário poderá clicar no botão “Tirar Foto” para tirar a foto da pista.
- **O usuário escolha a opção “Voltar”:** Ele é redirecionado para o Menu Principal do sistema de medição externa.



Figura 47: Esboço da tela de tirar foto da pista a partir da captura da câmera

Caso a captura não mostre uma pista com linha guia branca com fundo preto em visão de planta, a imagem da pista a ser tirada não é válida, logo, o sistema precisa bloquear a opção “Tirar foto” e mostra uma mensagem de aviso, indicando quais as condições necessárias para que a foto da pista seja válida.



Figura 48: Esboço da tela de tirar foto da pista, com a captura não mostrando uma imagem válida da pista

Tendo a imagem da pista carregada, a interface desbloqueia as opções restantes do menu em sequência, conforme o usuário executar as operações dos outros botões. Primeiro, o usuário seleciona o botão “Selecionar pontos” para escolher os pontos de mudança de perspectiva da imagem da pista, resultando na liberação do botão “Iniciar esqueletização”.

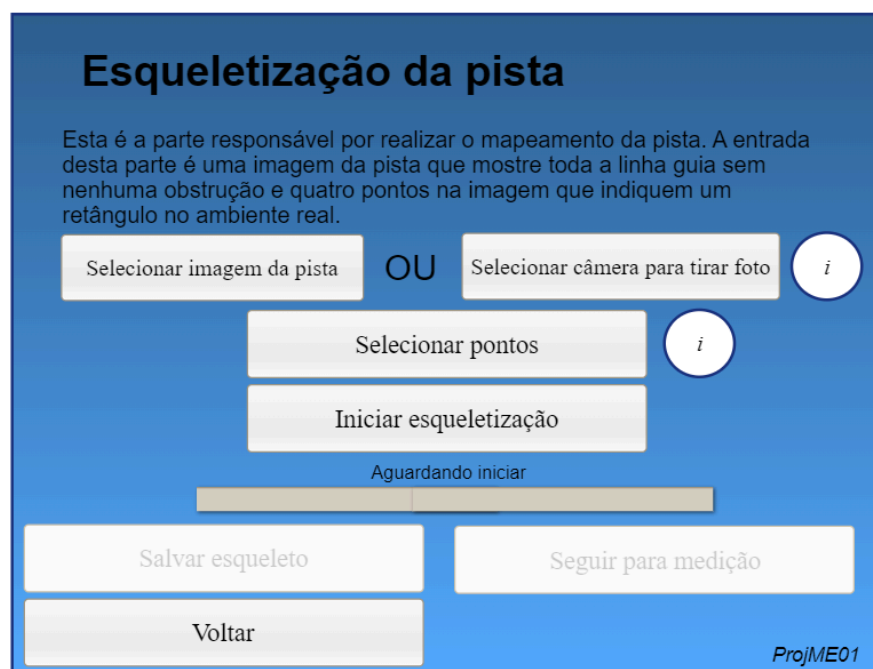


Figura 49: Esboço do Menu de esqueletização aguardando o início da esqueletização por meio do botão “Iniciar esqueletização”

Assim que a esqueletização for iniciada, a interface bloqueia todos os botões exceto o de “Cancelar”, porque o usuário pode ou esperar o processamento da imagem da pista ser finalizado conforme a barra de progresso avança ou cancelar o processo para reiniciar a esqueletização, com imagem ou pontos diferentes.

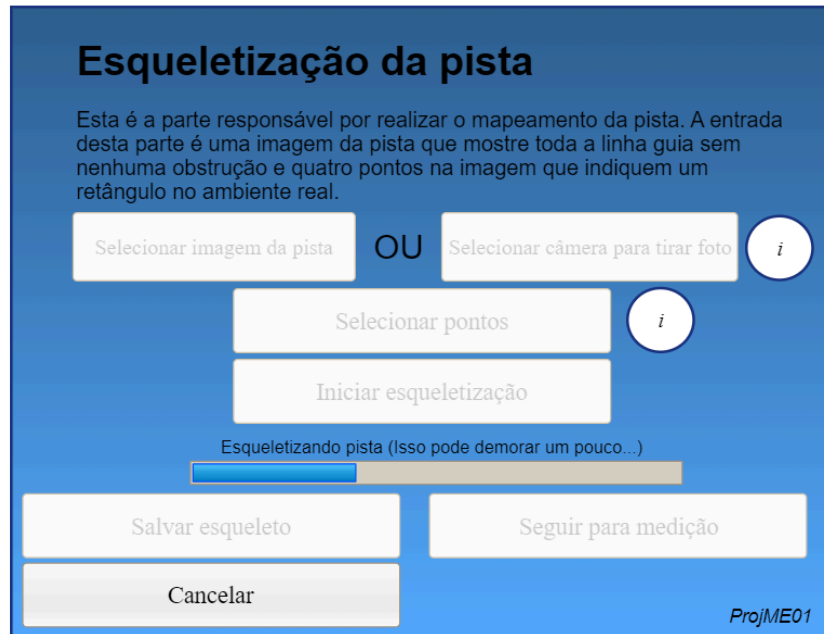


Figura 50: Esboço do Menu de Esqueletização da Pista no cenário no qual a esqueletização está em progresso

Após a esqueletização ser concluída, a interface libera o acesso a todos os botões do menu, inclusive os de “Salvar esqueleto”, responsável por salvar o esqueleto da pista na pasta padrão do sistema e o de “Seguir para medição”, que leva o usuário ao Menu de Medição do Movimento do AGV.

3.7.3 Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista

Caso o usuário entre neste menu sem ter um esqueleto processado pelo sistema na pasta padrão do sistema, a interface avisa por meio de uma mensagem de erro que não foi detectado um esqueleto válido, devendo portanto tentar processar um esqueleto no fluxo da opção “Esqueletização da pista e medição” contida no Menu Principal.

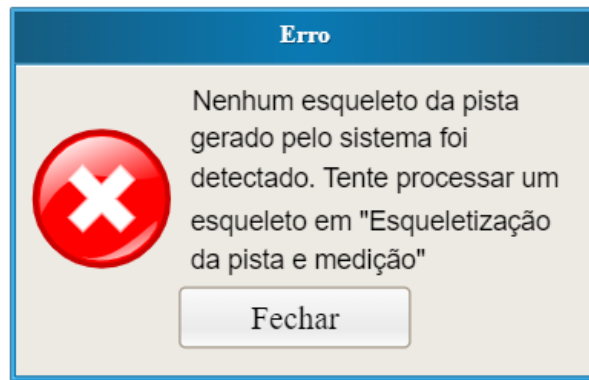


Figura 51: Esboço de janela de erro para o cenário no qual o usuário acessa o Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista sem ter esqueletos já processados na pasta padrão do sistema

Ao entrar no menu tendo um esqueleto já processado pelo sistema na pasta padrão do sistema de medição, as únicas opções acessíveis são:

- O botão “Voltar” para retornar ao Menu Principal;
- O botão “Selecionar esqueleto”, pelo qual o usuário selecionará um arquivo de imagem de um esqueleto já processado pelo sistema a partir de uma lista na interface do SO.

A interface bloqueia o botão “Seguir para medição” porque não é possível realizar a medição externa sem ter carregado o esqueleto da pista.



Figura 52: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista em seu estado inicial

Após o sistema finalizar o carregamento do esqueleto validado, a opção “Seguir para a medição” é liberada, permitindo que o usuário escolha seguir para o Menu de Medição do Movimento do AGV por meio do botão “Seguir para a medição”, carregar outro esqueleto na opção “Selecionar esqueleto” ou voltar para o Menu Principal usando o botão “Voltar”.



Figura 53: Esboço do Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista após o carregamento do esqueleto

3.7.4 Menu de Medição do Movimento do AGV

De forma semelhante ao Menu de Esqueletização da Pista, há quatro tratamentos possíveis ao abrir este menu:

- **Não há câmera funcional conectada nem arquivos de vídeo da movimentação do AGV gravados pelo sistema na pasta padrão do sistema:**

O usuário recebe uma mensagem de erro, avisando-o que não há dispositivos de entrada de vídeo conectados, com a interface guiando-o de volta ao Menu Principal. Isso ocorre porque é necessário obter vídeo do AGV se movimentando na pista para executar a medição externa. Por isso, é necessário então conectar um dispositivo de entrada de vídeo, como uma câmera ou webcam para capturar o vídeo.



Figura 54: Esboço de janela de erro do cenário no qual o usuário acessa o Menu de Medição do Movimento do AGV sem ter como fornecer vídeo da movimentação do AGV para o sistema

- **Há pelo menos uma câmera funcional e um arquivo de vídeo gravado pelo sistema da movimentação do AGV na pasta padrão do sistema:** A interface disponibiliza ambas as opções “Selecionar vídeo gravado” e “Selecionar câmera para streaming”, com o usuário podendo escolher como fornecerá o vídeo para o sistema de medição.



Figura 55: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o sistema pode obter o vídeo da movimentação do AGV tanto pela câmera conectada quanto por um arquivo de vídeo gravado pelo sistema

- **O sistema só tem acesso a vídeo por meio do vídeo da movimentação do AGV já gravado pelo sistema:** Já que o usuário não possui câmera funcional conectada ao sistema, o menu bloqueia o acesso ao botão “Selecionar câmera para streaming” para prevenir o acesso a uma operação impossível de se executar, permitindo apenas o acesso à opção “Selecionar vídeo gravado”.



Figura 56: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o usuário só possui acesso a vídeo da movimentação do AGV por meio de um arquivo da pasta padrão do sistema

- **O sistema só tem acesso a vídeo por meio da câmera funcional conectada ao sistema:** Por conta do usuário não ter vídeo gravado pelo sistema da movimentação do AGV na pasta padrão do sistema, este menu bloqueia a opção “Selecionar vídeo gravado” para que o usuário não tente executar esta operação e escolha o botão “Selecionar câmera para streaming” para fornecer vídeo da movimentação do AGV para o sistema.



Figura 57: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no qual o usuário só pode fornecer vídeo para o sistema por meio da câmera funcional conectada

Com isso, os botões disponíveis no menu levam aos seguintes fluxos:

- **Voltar:** O usuário será redirecionado de volta para o menu anterior ao acesso do Menu de Medição do Movimento do AGV, seja ele o Menu de Esqueletização da Pista ou o Menu de Carregamento do Esqueleto da Pista.
- **Selecionar vídeo gravado:** Uma lista de vídeos já gravados pelo sistema em sessões anteriores é mostrada ao usuário por meio da interface do SO. O vídeo selecionado é imediatamente carregado, já que todo vídeo dessa lista foi validado pelo sistema em outra sessão.

Como o usuário já possui o vídeo necessário para executar a medição externa do AGV em relação à pista, a interface libera o botão “Iniciar medição” para que o usuário inicie a medição do movimento do AGV.

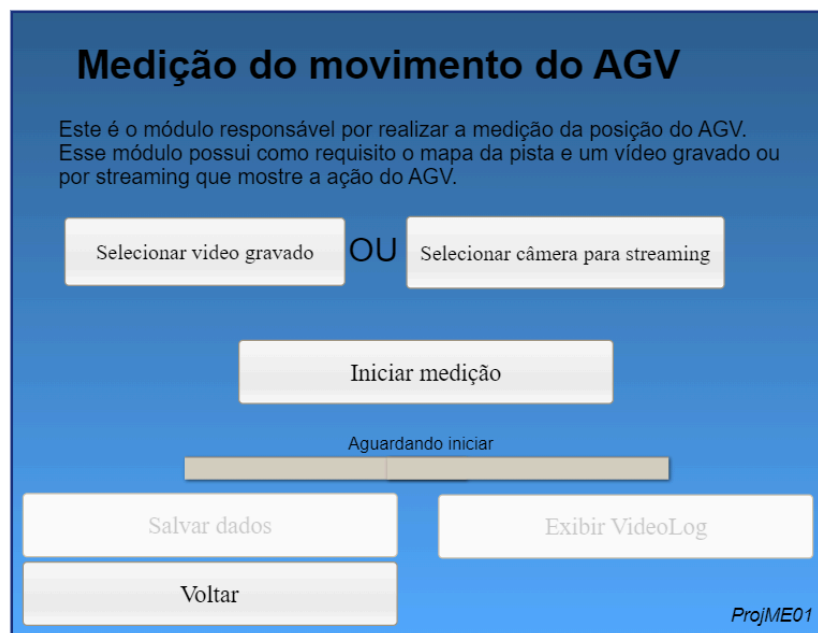


Figura 58: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que o vídeo necessário para a medição externa poder ser iniciada já foi carregado pelo sistema

Após o usuário iniciar a medição, todas as outras opções são bloqueadas, exceto as opções “Encerrar medição”, a qual substitui a de “Voltar”, servindo para interromper a medição caso o usuário queira, e a de “Exibir VideoLog”, responsável por abrir uma janela que exibe quadro a quadro a gravação do AGV se movimentando na pista junto das medições feitas do AGV e seu erro em relação à pista.

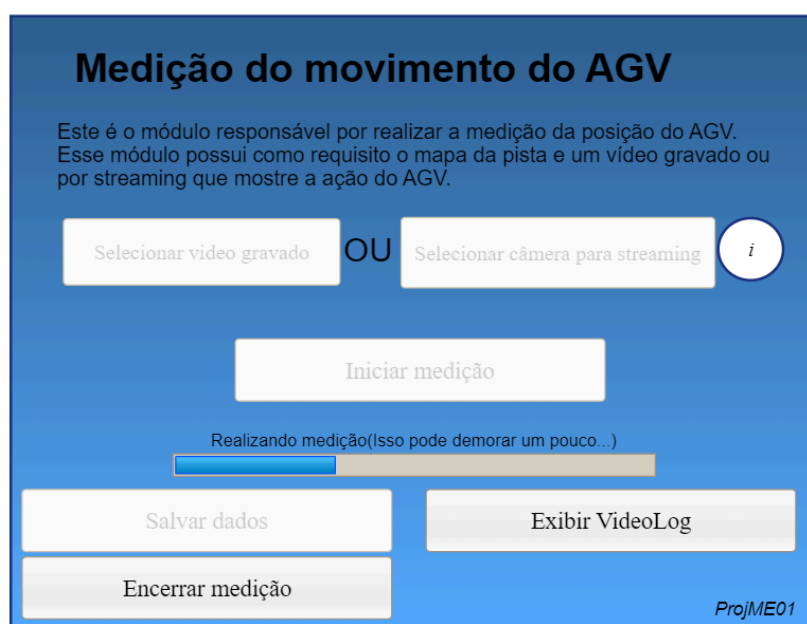


Figura 59: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário em que a medição está em progresso

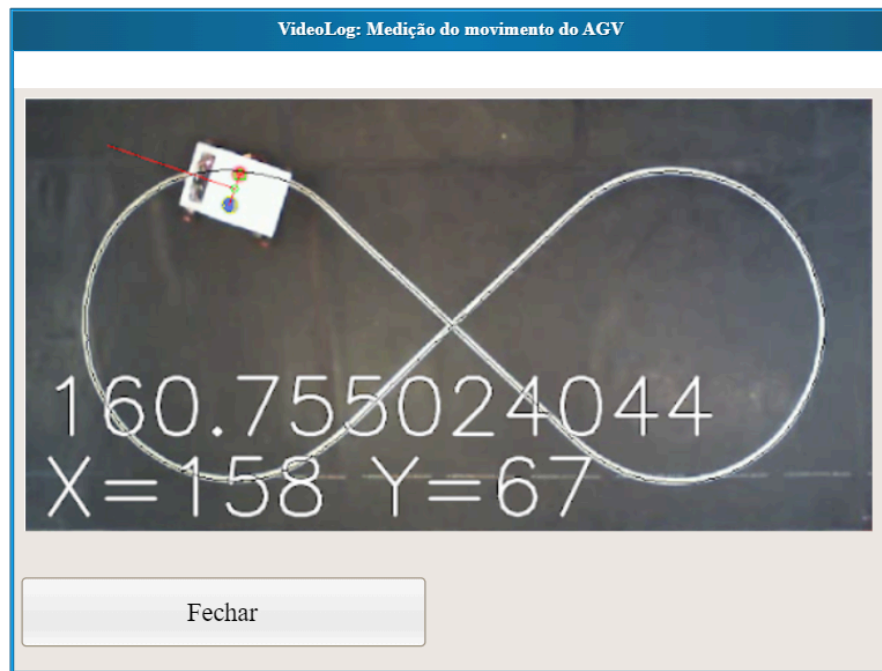


Figura 60: Esboço da janela do VideoLog mostrada ao usuário após escolher a opção “Exibir VideoLog” no Menu de Medição do Movimento do AGV

O VideoLog poderá ser visualizado em loop, mesmo que a medição do vídeo completo ter sido encerrada. Isso persiste até o momento que o usuário clicar no botão “Fechar” para fechar a janela e voltar para o Menu de Medição do Movimento do AGV.

- **Selecionar câmera para streaming:** Uma lista de câmeras funcionais conectadas ao sistema será mostrada ao usuário por meio da interface do SO. Após o usuário escolher a câmera desejada, ela será inicializada, com sua transmissão sendo mostrada em uma janela. Se ela já transmitir um AGV em visão de planta com tags das cores configuradas no sistema junto de uma pista com fundo preto e linha guia branca, a medição é iniciada de forma automática, mostrando o VideoLog da transmissão em tempo real. Esta janela também permite que o usuário escolha quando encerrar a medição externa do vídeo da câmera por meio do botão “Encerrar a medição”.

A opção “Iniciar a medição” é bloqueada na janela para que o usuário não inicie a medição novamente sem antes encerrá-la.

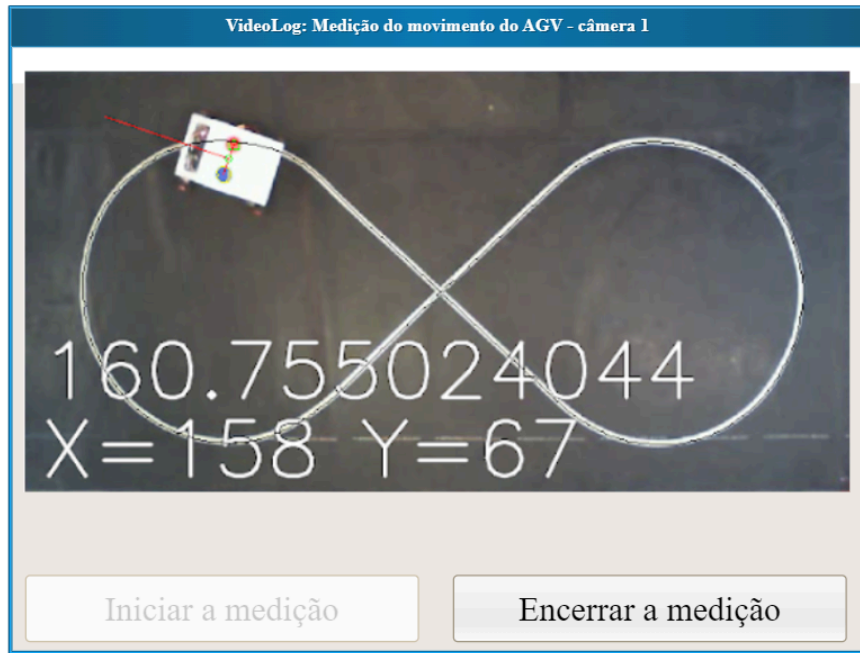


Figura 61: Esboço de janela do VideoLog do sistema de medição externa, o qual mostra a transmissão do vídeo fornecido pela câmera e as medições quadro a quadro sobre o AGV e sua movimentação em relação à pista

Caso a gravação da câmera recém-inicializada não mostre um AGV em visão de planta com as tags das cores configuradas no sistema ou não mostre uma pista para o AGV seguir a linha, o sistema deve avisar o usuário com uma mensagem de erro explicando estas condições para que a medição externa possa ser iniciada, além de bloquear os botões “Iniciar a medição” e “Encerrar a medição”. O objetivo é ajudá-lo a entender que nenhuma operação poderá ser feita sem antes ter as condições necessárias para iniciar a medição.

A opção “Iniciar a medição” para iniciar a medição externa do AGV em relação à pista será liberada logo após ele conseguir ter o AGV com as tags das cores configuradas e a pista sendo gravados pela câmera em visão de planta.



Figura 62: Esboço de janela do VideoLog do sistema de medição externa no cenário no qual a transmissão fornecida pela câmera não é válida

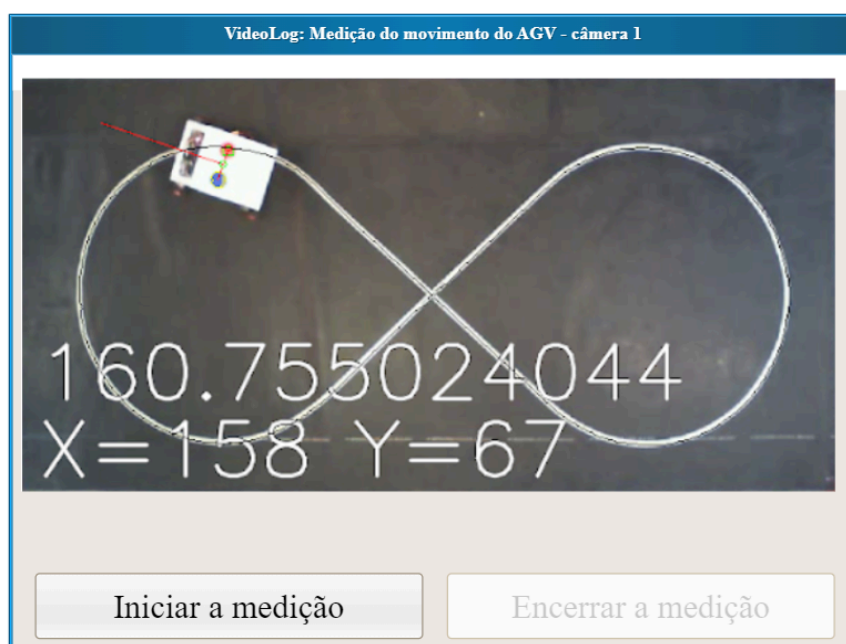


Figura 63: Esboço da janela do VideoLog do sistema de medição externa no cenário em que a câmera não transmitiu gravação válida para a medição, mas posteriormente gravou o AGV em visão de planta na pista

Após a medição externa ser concluída e a janela do VideoLog ser fechada, seja no fluxo da câmera ou do arquivo de vídeo, o usuário volta ao Menu de Medição Externa, o qual bloqueia a opção “Exibir VideoLog”, pois o vídeo da movimentação do AGV parou de ser processado.

Caso o usuário queira refazer a medição, isso é possível repetindo o fluxo de navegação detalhado nesta seção desde o começo. Além disso, a opção “Salvar Dados” pode ser acessada para salvar as medidas obtidas a partir do AGV e da pista em cada quadro do vídeo em um arquivo texto, exportando apenas as medidas escolhidas no Menu de Configuração dos Parâmetros para Exportação de Dados.

A última opção disponível neste estado do Menu de Medição do Movimento do AGV é a de “Voltar à Tela Inicial”, a qual substitui o botão “Voltar”, servindo para encerrar o fluxo da medição recém-concluída e levar o usuário de volta para o Menu Principal, por meio do qual ele pode preparar uma nova medição com outros parâmetros, pista e vídeo do AGV se movendo.

Medição do movimento do AGV

Este é o módulo responsável por realizar a medição da posição do AGV. Esse módulo possui como requisito o mapa da pista e um vídeo gravado ou por streaming que mostre a ação do AGV.

Selecionar video gravado OU Selecionar câmera para streaming *i*

Iniciar medição

Medição Concluída

Salvar dados Exibir VideoLog

Voltar à Tela Inicial

ProjME01

Figura 64: Esboço do Menu de Medição do Movimento do AGV no cenário de fim da medição externa da movimentação do AGV em relação à pista

3.8 Implementação

Tendo a especificação de como a interface do sistema funcionará para o usuário, falta apenas especificar como a sua implementação será feita.

Já que o laboratório TEAR precisa manter legado deste sistema para que seu desenvolvimento continue apesar da alta rotatividade de membros, foi escolhida a linguagem de programação C++ e a arquitetura SOA. Isso dá ao sistema não só baixo acoplamento e alta coesão entre seus serviços, mas também facilita o desenvolvimento, reaproveitamento e manutenção dos serviços, já que a arquitetura permite que os serviços não sejam dependentes entre si e possam ser incorporados a esses e outros sistemas modulares de forma prática, com o único requisito sendo o outro sistema possuir o mesmo formato de entradas e saídas.

Além disso, o sistema usará a biblioteca OpenCV versão 4.8.0 e ele será feito para funcionamento em Ubuntu versão 22.04.02 64 bits LTS ou maior, para poder processar imagens e vídeos recebidos pelo sistema sem ter problemas de compatibilidade com atualizações da biblioteca e do SO.

Com isso, para iniciar a estruturação do sistema de medição externa em serviços, é necessário primeiro separá-los em softwares ou serviços majoritários, com cada um deles correspondendo a uma funcionalidade do sistema, junto do Super Software Majoritário, o qual é o escalonador do sistema, sendo responsável por chamar cada um dos serviços majoritários. A separação dos serviços majoritários está especificada no Diagrama de Arquitetura abaixo.

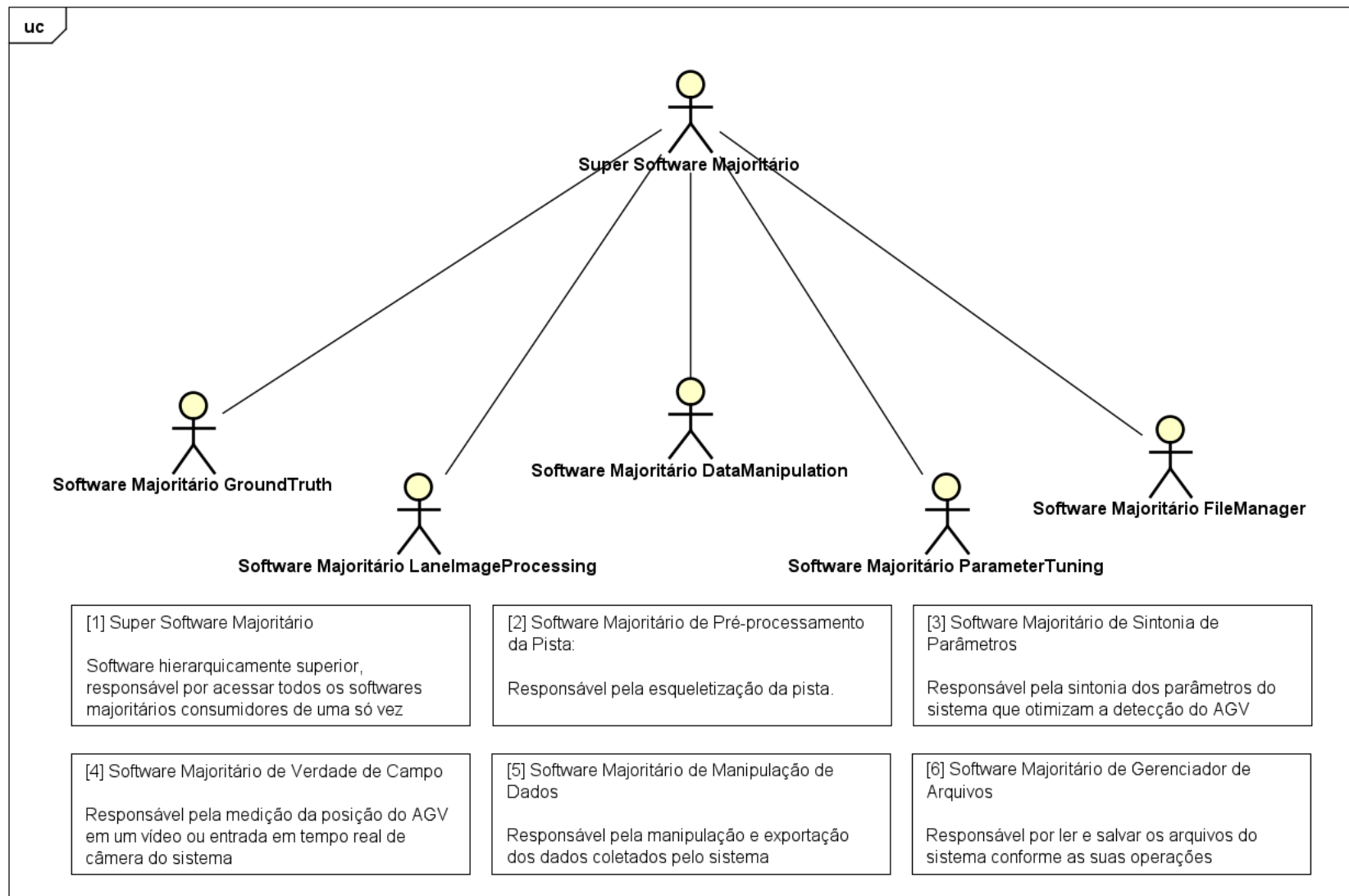


Figura 65: Diagrama de Arquitetura do sistema de medição externa

A partir disso, é possível detalhar o nível abaixo de cada um dos softwares majoritários, separando-os em vários serviços individuais, com cada um sendo responsável por executar uma única tarefa, os quais são chamados em sequência pelos serviços majoritários para executar a funcionalidade de seus respectivos softwares majoritários passo a passo.

Por exemplo, o Software Majoritário de Gerenciador de Arquivos é composto pelos nove serviços abaixo:

- Serviço S11 de carregamento de imagens;
- Serviço S12 de salvar parâmetros;
- Serviço S16 de salvar esqueleto;
- Serviço S17 de carregar esqueleto;
- Serviço S19 de carregar parâmetros;
- Serviço S21 de localização do arquivo;
- Serviço S23 de carregamento de vídeos;
- Serviço S25 de salvamento de imagens;
- Serviço S26 de salvamento de vídeos.

Cada um desses serviços se comunica com o seu respectivo majoritário, nesse caso o Gerenciador de Arquivos, por meio da(s) entrada(s) que o Software Majoritário fornece para o serviço chamado e as saída(s) que o serviço retorna para o Software Majoritário. Portanto, o Software Majoritário é o escalonador responsável por chamar os serviços individuais conforme o fluxo desejado pelo usuário, fornecer as entradas e receber as saídas retornadas de cada um deles, até que a funcionalidade do Majoritário tenha sido completada.

O Diagrama Geral de Arquitetura do Apêndice A é responsável por detalhar a comunicação entre os Softwares Majoritários e seus serviços individuais. A seção do Diagrama Geral de Arquitetura abaixo detalha como a comunicação funciona entre o Serviço Majoritário de Gerenciador de Arquivos e seus serviços individuais.

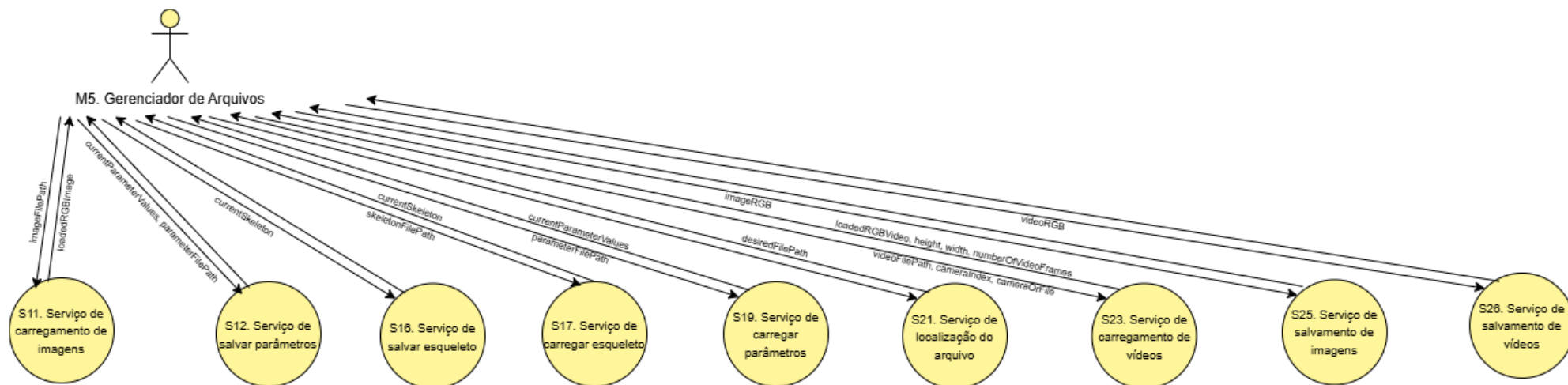


Figura 66: Parte do Diagrama Geral de Arquitetura mostrando os serviços do Software Majoritário de Gerenciador de Arquivos

Tendo a especificação da função do serviço dentro do sistema, além de suas entradas e saídas, torna-se possível chegar no nível mais baixo de especificação do sistema, ou seja, especificar todo o funcionamento de um serviço e como ele será implementado.

Essa especificação é feita por meio da construção dos seguintes documentos e diagramas em ordem:

- **Documento de Requisitos:** Definição do escopo, funções e características do serviço;
- **Documento de Demanda de Produção:** Especificação de quais bibliotecas, hardware, métodos, entradas e saídas que serão necessários para o serviço cumprir sua função;
- **Diagrama de Casos de Uso:** Descrição visual do fluxo de dados de entrada e saída do serviço em relação aos seus métodos;
- **Diagrama de Atividades:** Fluxo visual de cima para baixo que descreve todos os possíveis fluxos do software, incluindo os passos que o serviço executa em cada fluxo para executar a sua função;
- **Diagrama de Sequência:** Diagrama que mostra da esquerda para a direita como cada método do software se comunica com o serviço responsável por chamá-los, tanto em relação à ordem de chamada quanto as entradas e saídas fornecidas;
- **Diagrama de Classes:** Estruturação das declarações da classe do serviço, contendo seu construtor, parâmetros, as entradas e saídas de seus métodos. Além disso, ele contém a especificação da fachada do serviço, a qual contém um único método responsável por executar toda a função do serviço, chamando os métodos do serviço na ordem especificada pelos diagramas anteriores;
- **Pseudocódigo:** Especificação em alto nível de como o software funcionará, em nível mais detalhado e próximo do nível computacional, o qual servirá de base para a futura implementação do serviço em linhas de código.

Somente após a finalização desses documentos e diagramas que a especificação é considerada revisada e a implementação de um serviço, seja ele individual ou majoritário, pode ser iniciada.

Porém, conforme os serviços individuais do sistema estavam sendo especificados em alto nível, tornou-se perceptível a necessidade de padronização dos dados de entrada e saída dos serviços, principalmente para facilitar:

- O processamento, salvamento e carregamento de imagens e vídeos;
- Trabalhar com representações de ponto e vetor no espaço euclidiano R^2 no qual as medições do AGV ocorrem;
- Ler e salvar os parâmetros configuráveis do sistema.

Portanto, foi necessário especificar padrões de dados para cada um dos casos especificados, com cada padrão de dados possuindo uma classe base e várias classes derivadas feitas para cobrir casos específicos de uso destes dados.

3.8.1 Padrões de Dados

Para as imagens e vídeos processados, carregados e salvos no sistema, usam-se as seguintes classes como padrão de dados:

- **Image**: Representa uma imagem em sua forma mais básica, sendo a classe base das imagens do sistema, tendo como parâmetros a sua altura e largura em pixels;
 - **iRGB**: Classe de uma imagem do formato RGB, a qual herda a altura e largura da classe base Image e possui os valores dos canais R (Red ou Vermelho), G (Green) e B (Blue) para cada um dos pixels da matriz que compõe a imagem. Este formato é o padrão de imagens digitais por ser otimizado para ser mostrado em telas.
 - **vRGB**: Representa um vídeo no formato RGB, sendo assim uma agregação de vários quadros (ou imagens) no formato RGB, ou seja, um vetor de vários objetos da classe iRGB. Por isso, a classe armazena a matriz de pixels do quadro atual do vídeo, seu índice dentro do vetor de quadros, a quantia total de quadros do vídeo, os dados do vídeo todo e os parâmetros herdados das classes Image e iRGB.

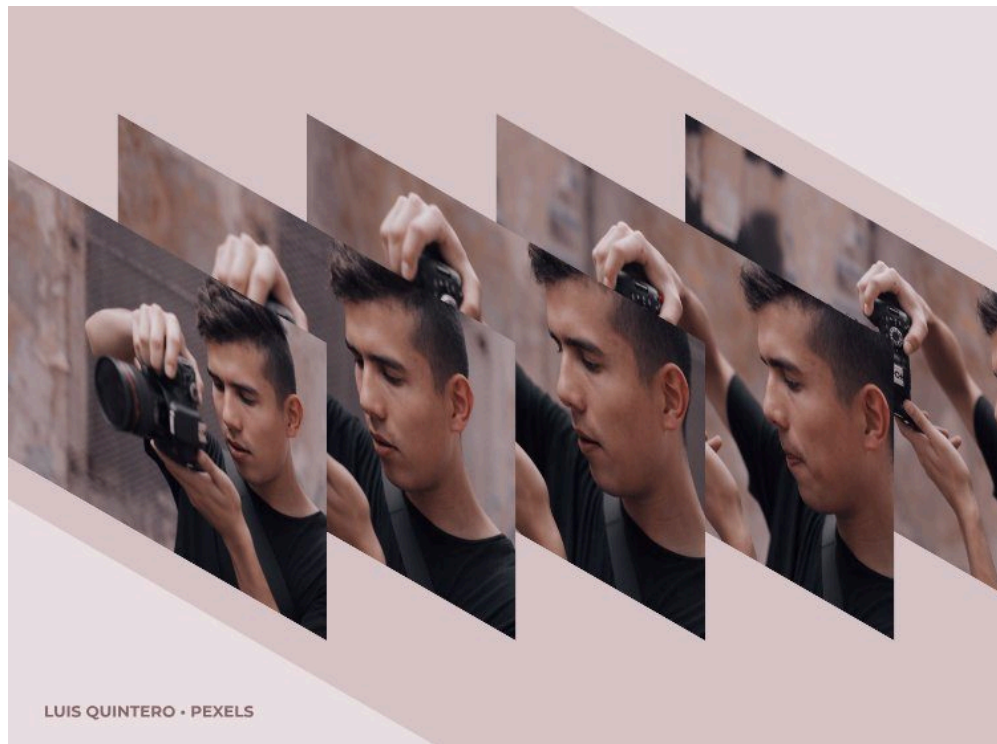


Figura 67: Exemplo de vídeo dividido em quadros, mostrando a movimentação que ocorre no vídeo exibindo estes quadros em sequência

- **iGRY**: Esta classe representa uma imagem em escala de cinza, a qual possui apenas um canal de intensidade da cor cinza para cada pixel da imagem, junto dos parâmetros herdados da classe base Image;
- **Skeleton**: Classe responsável pela representação do esqueleto de uma pista, o qual sempre é uma imagem em escala de cinza com o trajeto da pista cortado para que a sua largura seja sempre igual a um pixel. Logo, ela armazena os parâmetros herdados das classes Image e iGRY junto da altura e largura da imagem original da pista e os quatros pontos usados para a mudança de perspectiva da imagem, a qual resultou na imagem da pista em visão de planta como no esqueleto da Figura 16;
- **iHSV**: Representa uma imagem no formato HSV, tendo os canais H (Hue ou Matiz), S (Saturation ou Saturação) e V (Value ou Brilho). Como o canal do matiz separa a cor das alterações que a saturação e o brilho aplicariam, é possível detectar uma cor de maneira consistente por meio de máscaras de cor que possuem limite superior e inferior,

definindo assim o intervalo que contém a cor a ser detectada, independente de fatores como iluminação do ambiente.

Portanto, o objeto da classe deve armazenar os valores H, S e V de cada pixel da imagem junto dos parâmetros herdados da classe Image.

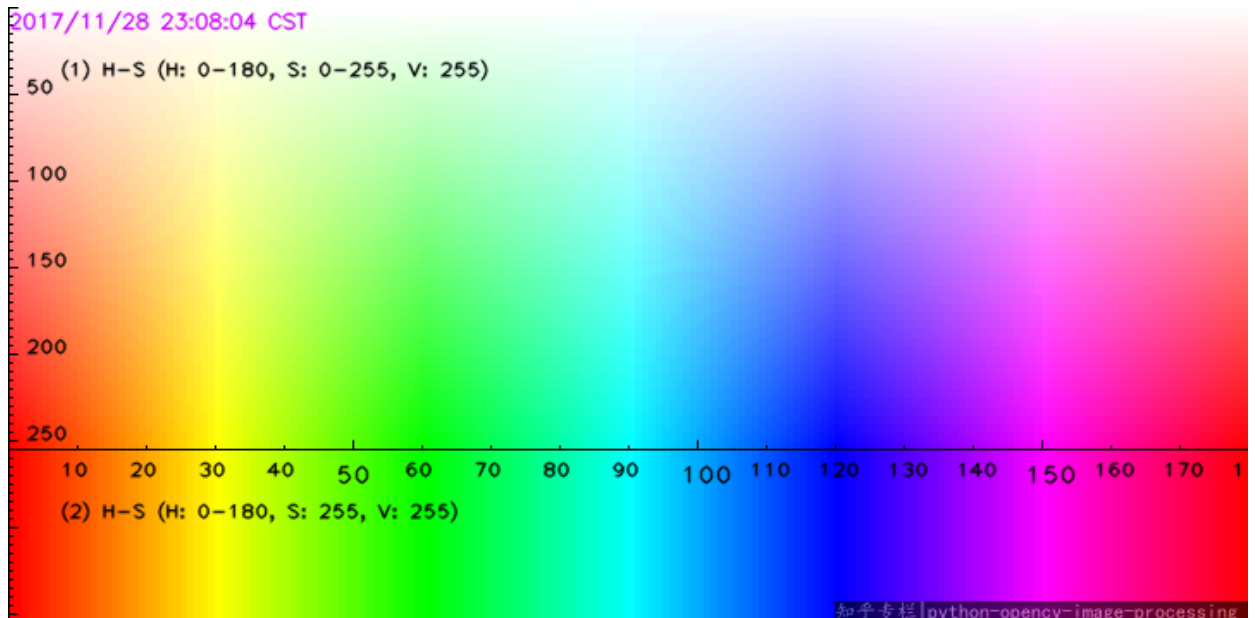


Figura 68: Mapa de cores no espaço HSV, tendo eixo x correspondente ao valor do canal H e o eixo y com os valores do canal S

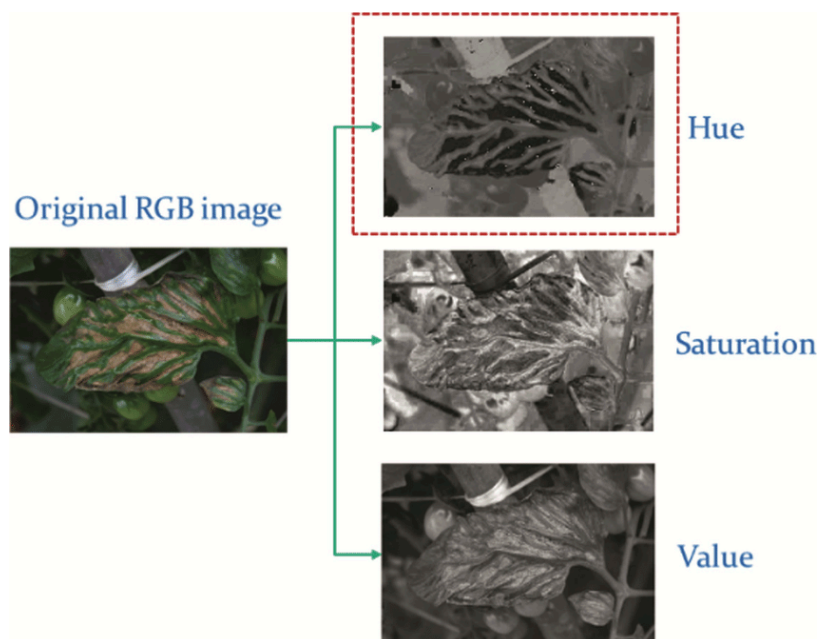


Figura 69: Ilustração da separação dos canais H, S e V de uma imagem originalmente do espaço de cores RGB

Além disso, deve ser possível converter a imagem entre os formatos RGB, escala de cinza e HSV, tanto no sentido de ida quanto de volta, pois o espaço de cores padrão ao carregar uma imagem é o RGB, sendo necessário converter as imagens para que possam ser usadas nos diversos processamentos de imagem executados no sistema.

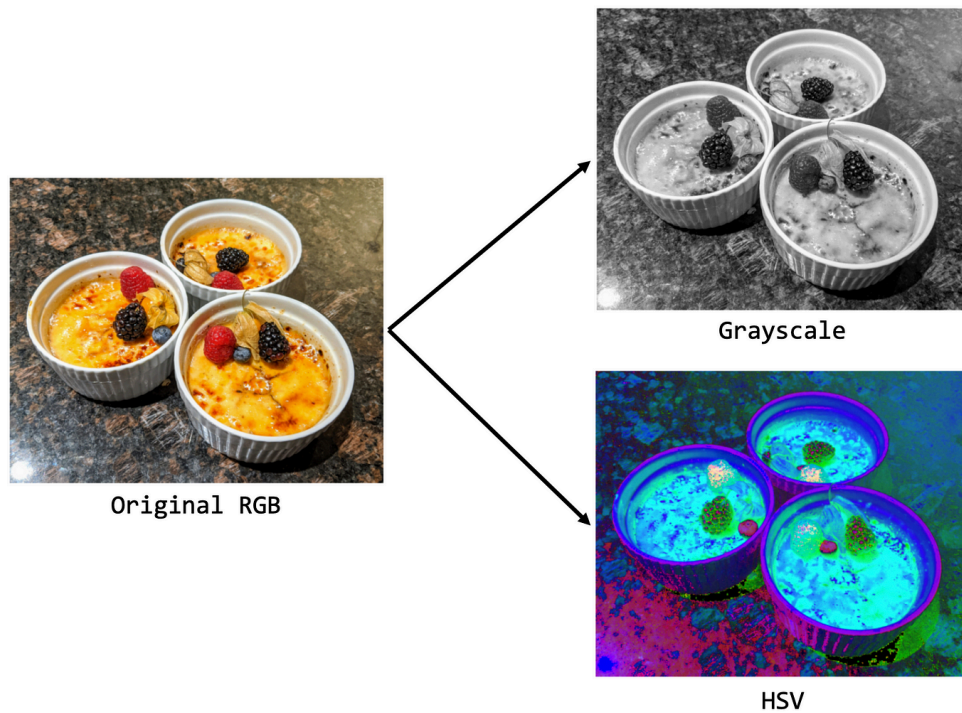


Figura 70: Comparação entre os espaços de cores RGB, escala de cinza e HSV por meio da mesma imagem

Para trabalhar no espaço euclidiano R^2 no qual as medições do AGV ocorrem, temos:

- **Position:** Classe que representa a posição de um objeto ou referencial, tanto em relação ao seu ângulo quanto às coordenadas no espaço, portanto, um objeto desta classe armazena um ponto e um vetor, sendo assim uma composição das duas classes abaixo:
 - **Point:** Representa a posição de um ponto no sistema de coordenadas 2D no formato (x, y). Portanto, a classe deve armazenar as coordenadas x e y e também facilitar seu uso por meio da assinalação de valores de coordenadas (x, y) diretamente em um ponto por meio do operador =;
 - **Vector:** Representa um vetor no sistema de coordenadas 2D, com componentes x e y indicando a direção e comprimento do vetor em relação ao seu ponto de origem.

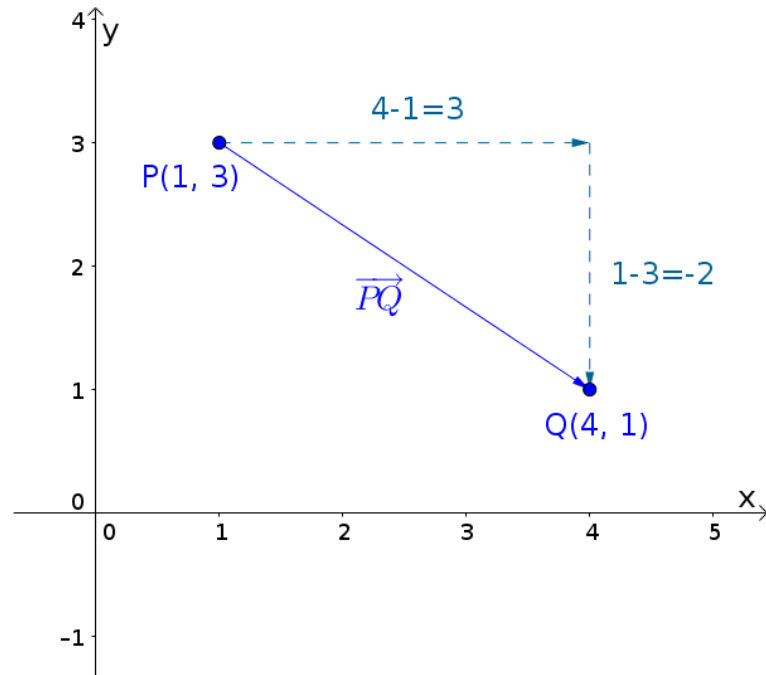


Figura 71: Vetor PQ com componentes $x = 3$ e $y = -2$ traçado do ponto P com $x = 1$ e $y = 3$ para o ponto Q com $x = 4$ e $y = 1$

Para a leitura e salvamento de parâmetros configuráveis do sistema, usa-se a classe:

- **Parameters:** Responsável por armazenar todos os parâmetros de configuração do sistema, como:
 - Os intervalos HSV para detecção das duas cores das tags do AGV no vídeo, com cada cor sendo detectada por estar com valores dos três canais dentro do intervalo da máscara, composta por um limite inferior e um limite superior. Cada um dos quatro limites configuráveis possuem valores para cada um dos três canais do formato HSV:
 - H (Hue): Correspondente ao valor da cor representada, a qual varia entre 0 e 179;
 - S (Saturation): Representa a saturação da cor, variando entre 0 e 255;
 - V (Value): É a intensidade do brilho da cor representada, a qual varia de 0 a 255.
 - O ponto de origem (0,0) e ângulo de origem 0° do sistema de coordenadas que será usado de referência para a medição externa da posição e ângulo absolutos do AGV;

- Elemento estruturante das operações morfológicas a serem aplicadas pelo sistema, com a matriz tendo coordenadas x e y e $x * y$ elementos binários;

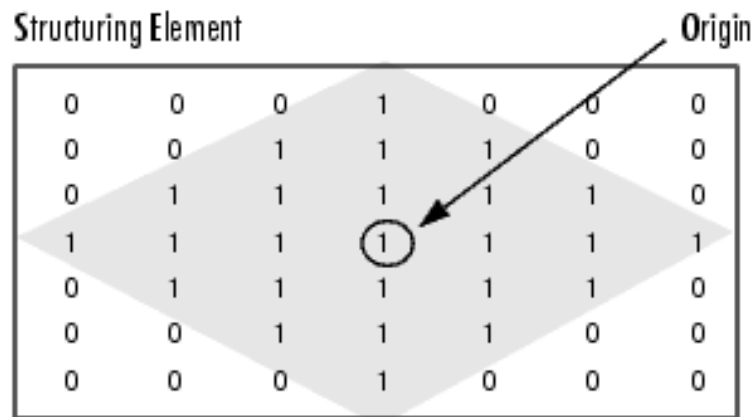


Figura 72: Exemplo de elemento estruturante no formato de losango

- Sequência de operações morfológicas a serem aplicadas em cada quadro do vídeo, com as operações executáveis por meio do OpenCV sendo:
 - Erosion (Erosão);
 - Dilation (Dilatação);
 - Opening (Abertura);
 - Closing (Fechamento);
 - Morphological Gradient (Gradiente Morfológico);
 - Top Hat;
 - Bottom Hat.

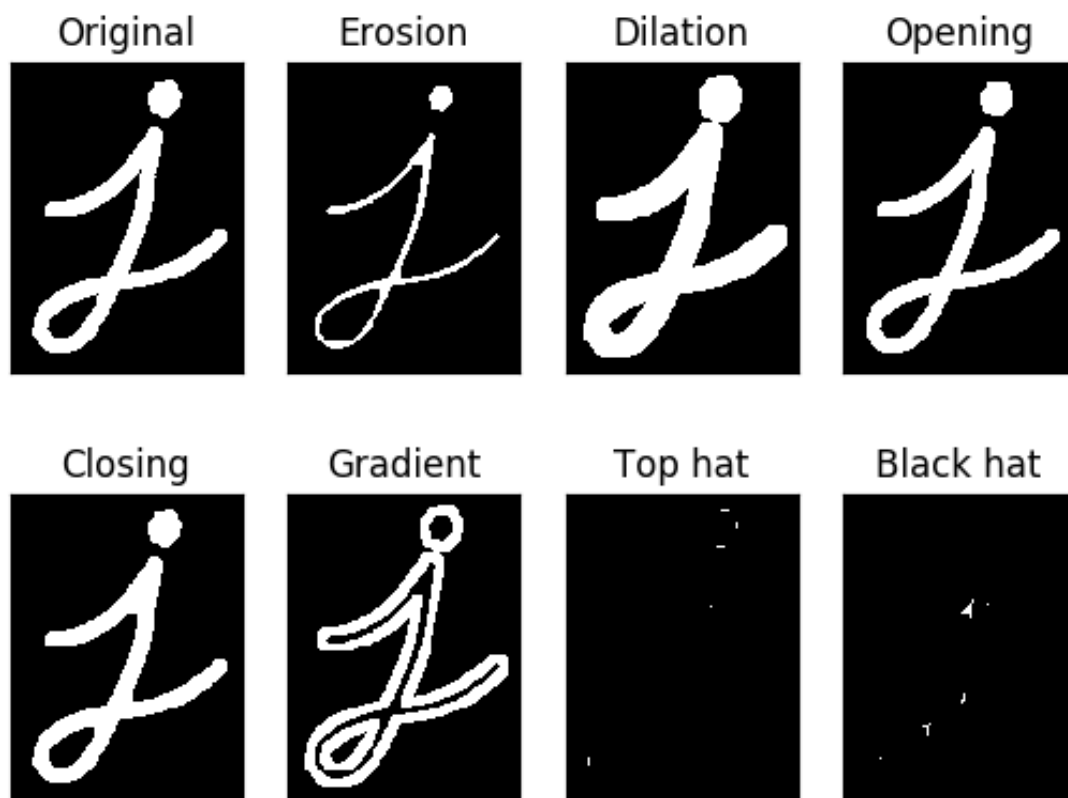


Figura 73: Exemplo de imagem processada por meio das operações morfológicas básicas do OpenCV

- Número de parâmetros exportáveis do sistema;
- Sequência booleana que determina quais dos quatro parâmetros exportáveis pelo sistema serão salvos no arquivo em texto.

Toda a especificação dos padrões de dados foi iniciada a partir de no mínimo um Documento de Demanda de Produção, sendo ele necessário para avaliar as necessidades de cada caso de uso e qual interface seria necessária para obter e manipular esses dados, seja por meio de bibliotecas nativas do C++ ou por meio das estruturas e métodos do OpenCV. O Diagrama de Classes construído a partir da especificação se encontra logo abaixo.

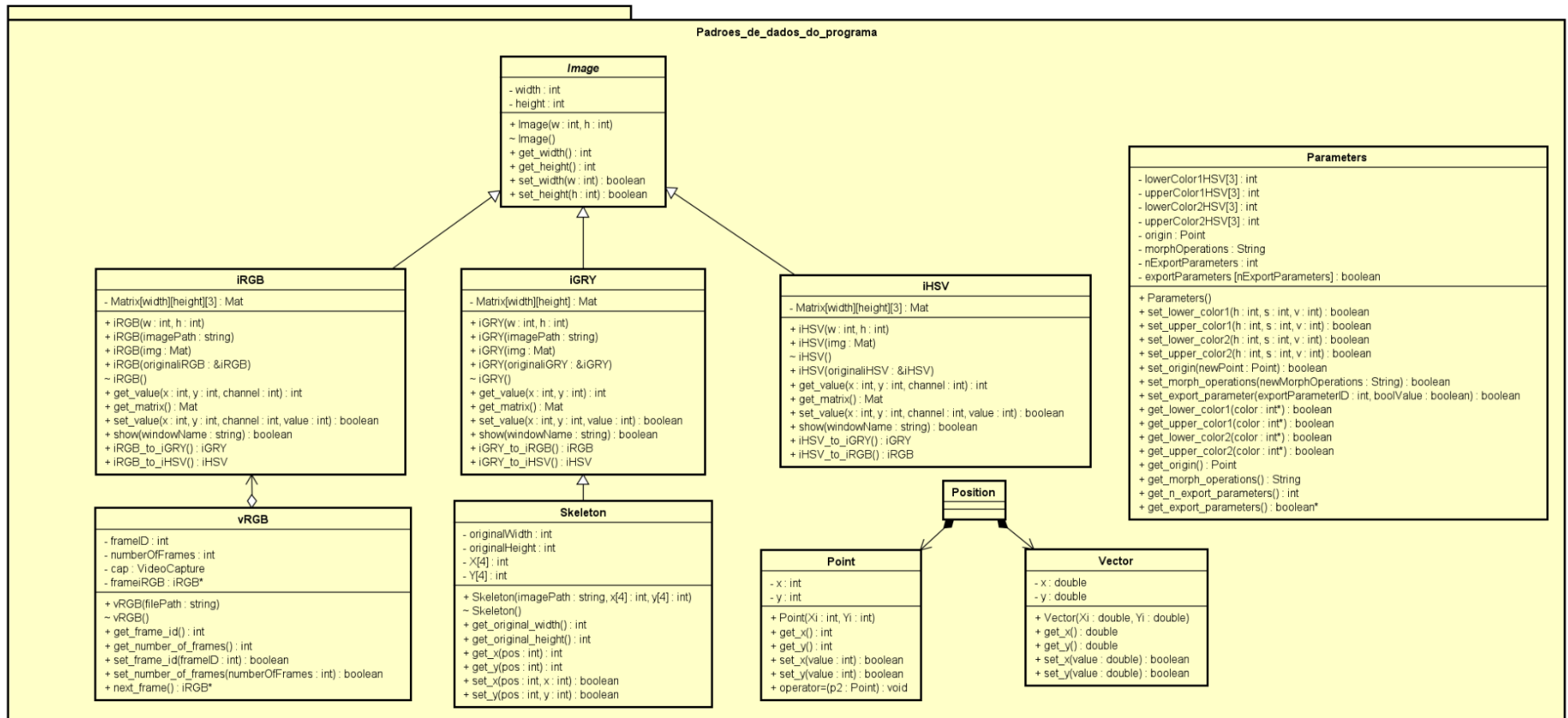


Figura 74: Diagrama de Classes dos padrões de dados do sistema de medição externa

Após a estruturação destes padrões de dados importantes para a implementação do sistema, pode-se prosseguir para o próximo passo do processo de implementação, o qual deve ser seguido por todos os serviços do sistema, seja ele individual ou majoritário.

Este processo será exemplificado por meio da documentação em progresso de dois dos serviços especificados para o sistema de medição externa.

3.8.2 Serviço S12 - Serviço de Salvamento de Parâmetros

O serviço S12 de Salvamento de Parâmetros é um dos serviços cobertos pelo Software Majoritário M5 - Gerenciador de Arquivos, sendo responsável por salvar todos os parâmetros de configuração do sistema de medição externa, com sua implementação usando o padrão de dados da classe Parameters da seção anterior.

O Documento de Requisitos, Documento de Demanda de Produção e Pseudocódigo estão inclusos na forma de Apêndices, sendo eles os Apêndices A , B e C respectivamente.

Os Diagramas detalhando o funcionamento do serviço estão contidos logo abaixo.

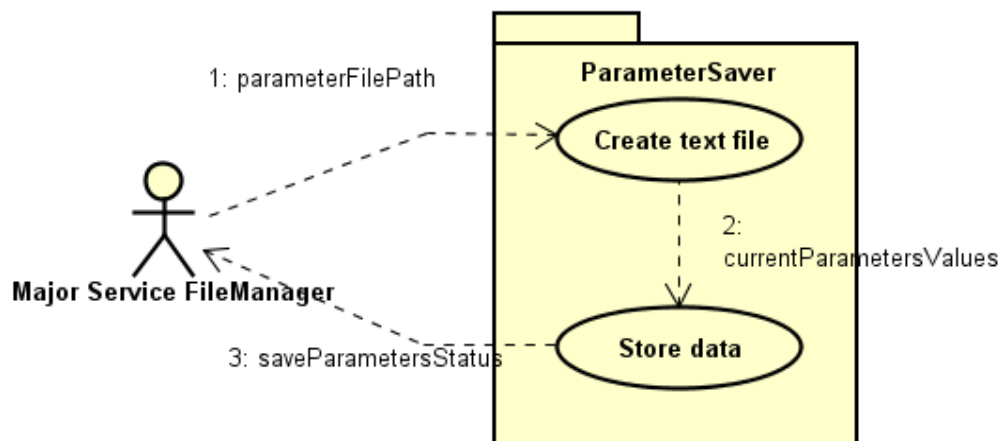


Figura 75: Diagrama de Casos de Uso do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros

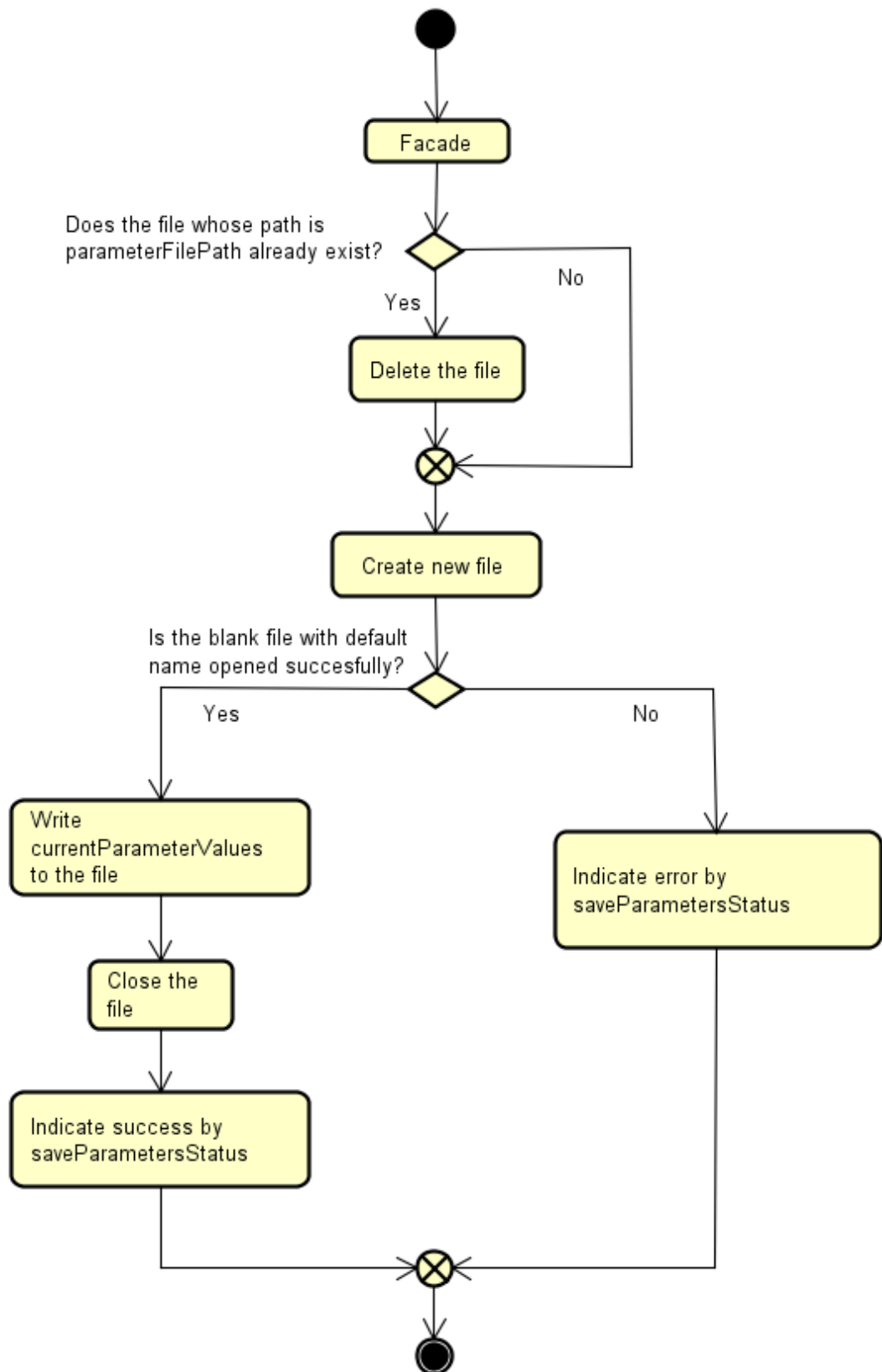


Figura 76: Diagrama de Atividades do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros

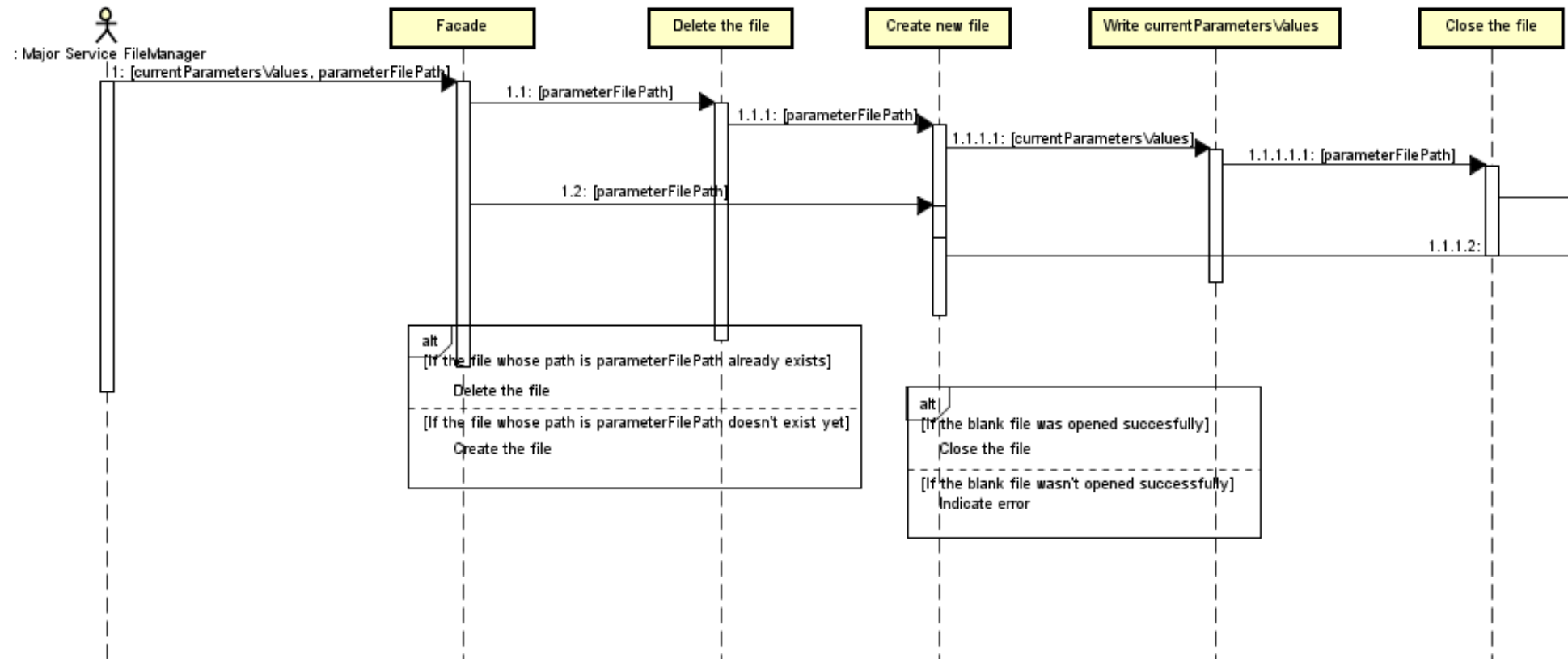


Figura 77: Parte esquerda do Diagrama de Sequência do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros

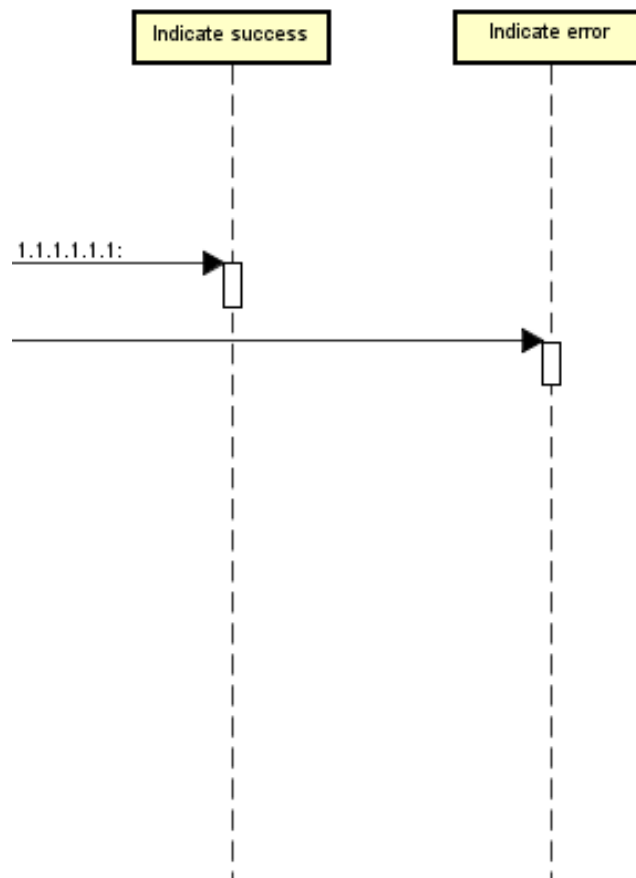


Figura 78: Parte direita do Diagrama de Sequência do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros

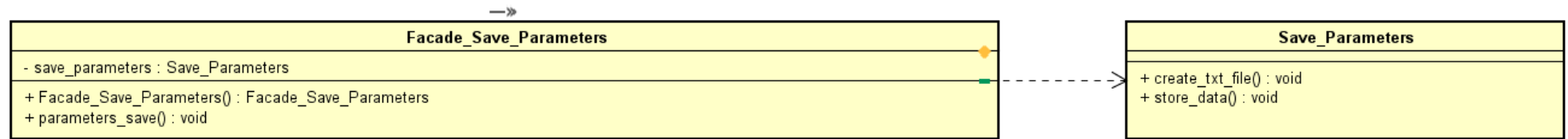


Figura 79: Diagrama de Classes do Serviço S12 - Salvamento de Parâmetros

3.8.3 Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

O serviço S13 de Identificação da Tag do AGV é um dos serviços chamados pelo Software Majoritário M3 - Medidor da movimentação do AGV, também conhecido como Ground Truth, sendo ele responsável por encontrar e identificar as tags coloridas do AGV por meio dos seguintes passos:

- Converter a imagem do formato RGB para o formato HSV;
- Aplicar um filtro gaussiano na imagem no formato HSV para suavizar e retirar ruídos da imagem;
- Conferir se as cores configuradas para as tags do AGV são iguais ou não
 - Caso sejam, basta aplicar uma única máscara para detectar ambas as tags;
 - Senão, será necessário aplicar duas máscaras na imagem original, sendo uma para cada cor, e juntar os resultados obtidos para detectar as duas tags do AGV;
- Aplicar as operações morfológicas configuradas no sistema para melhorar a qualidade da detecção das tags.

O serviço de Identificação da Tag do AGV está incluso nos serviços cobertos pelo Software Majoritário de Medição do Movimento do AGV, conforme detalhado na seção do Diagrama Geral de Arquitetura contida abaixo, enquanto os Diagramas detalhando o funcionamento do serviço de Identificação da Tag do AGV são apresentados a partir da Figura 79.

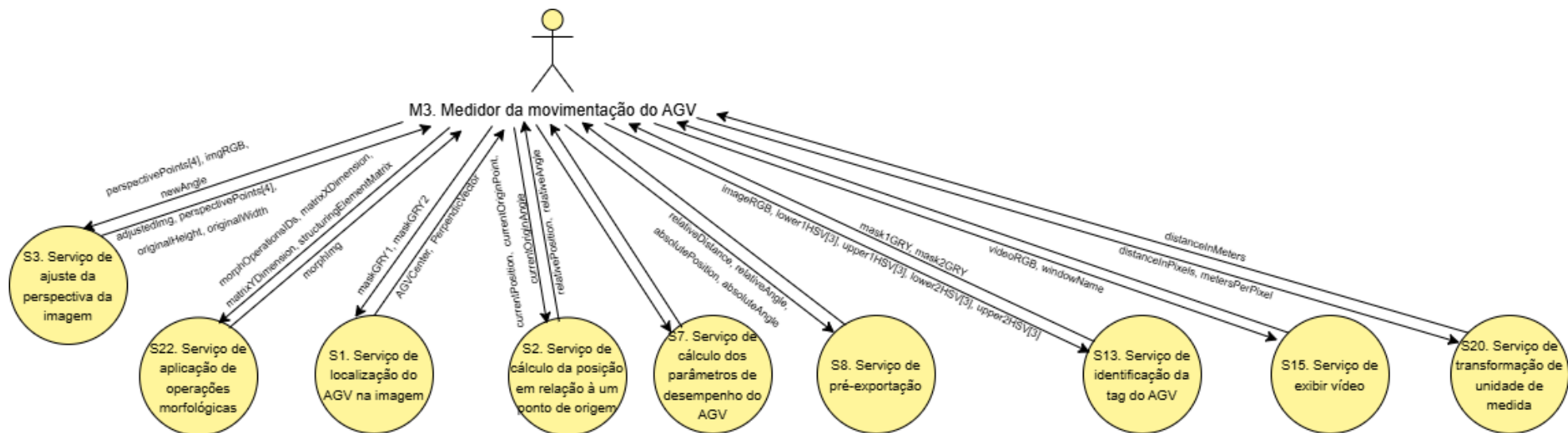


Figura 80: Parte do Diagrama Geral de Arquitetura mostrando os serviços do Software Majoritário M3 - Medidor da Movimentação do AGV

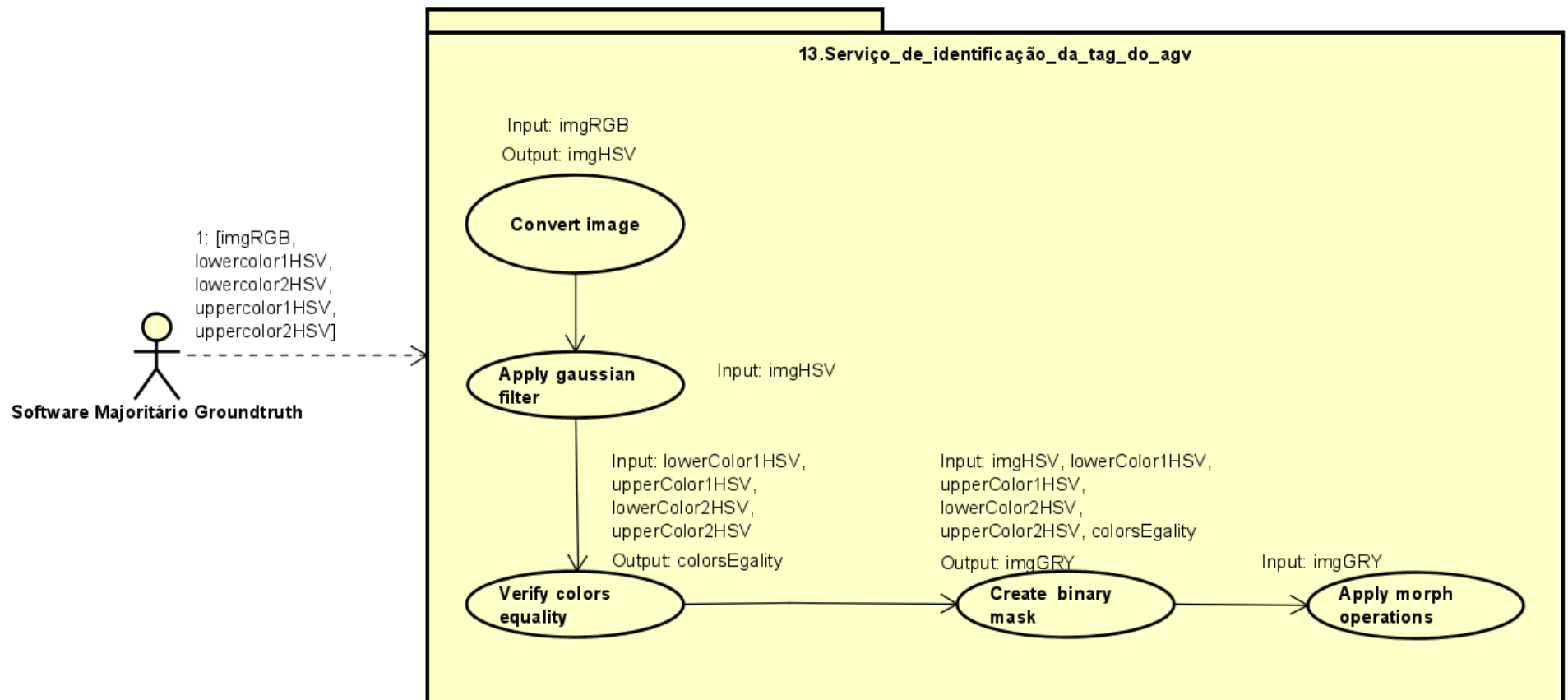


Figura 81: Diagrama de Casos de Uso do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

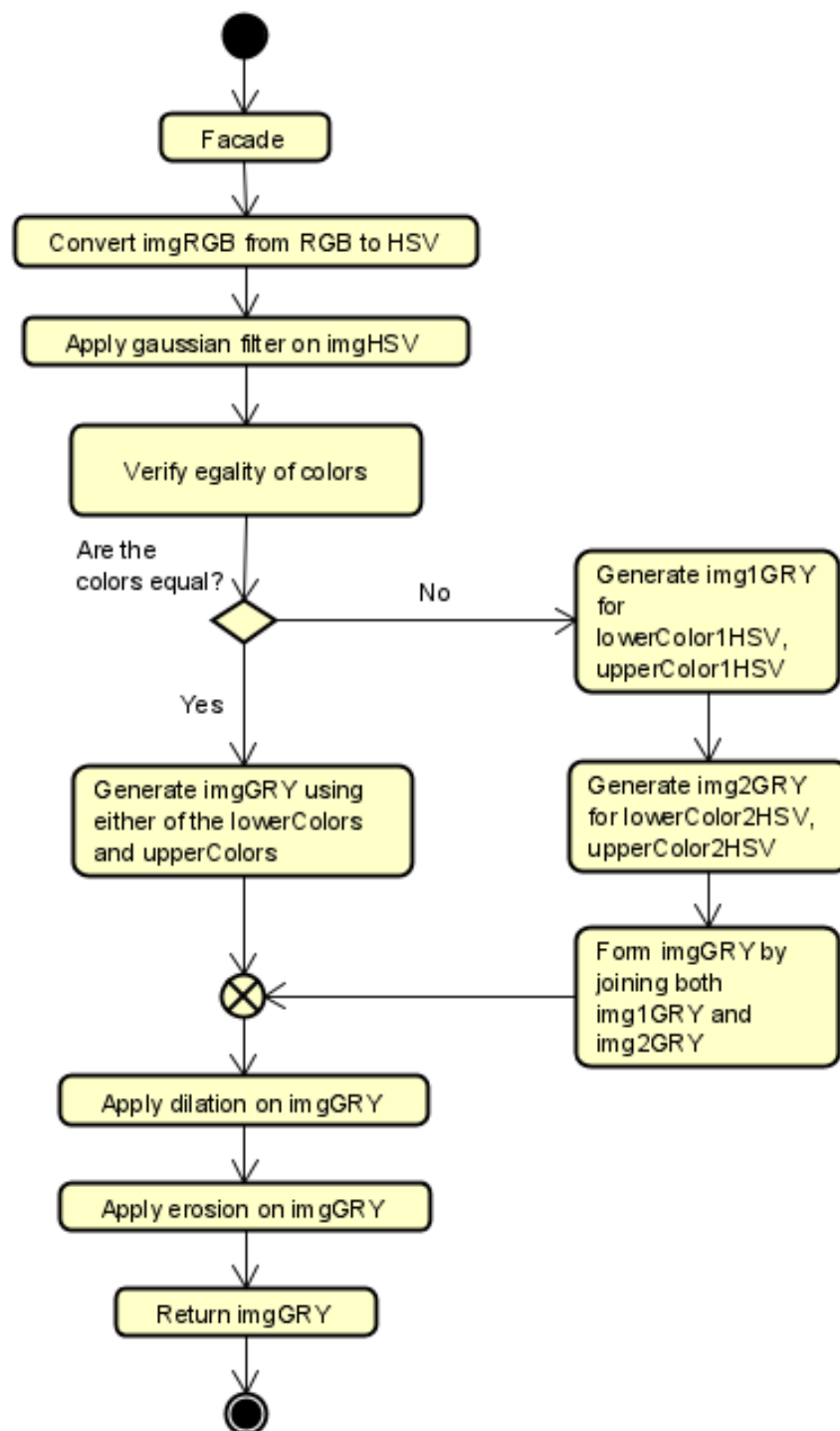


Figura 82: Diagrama de Atividades do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

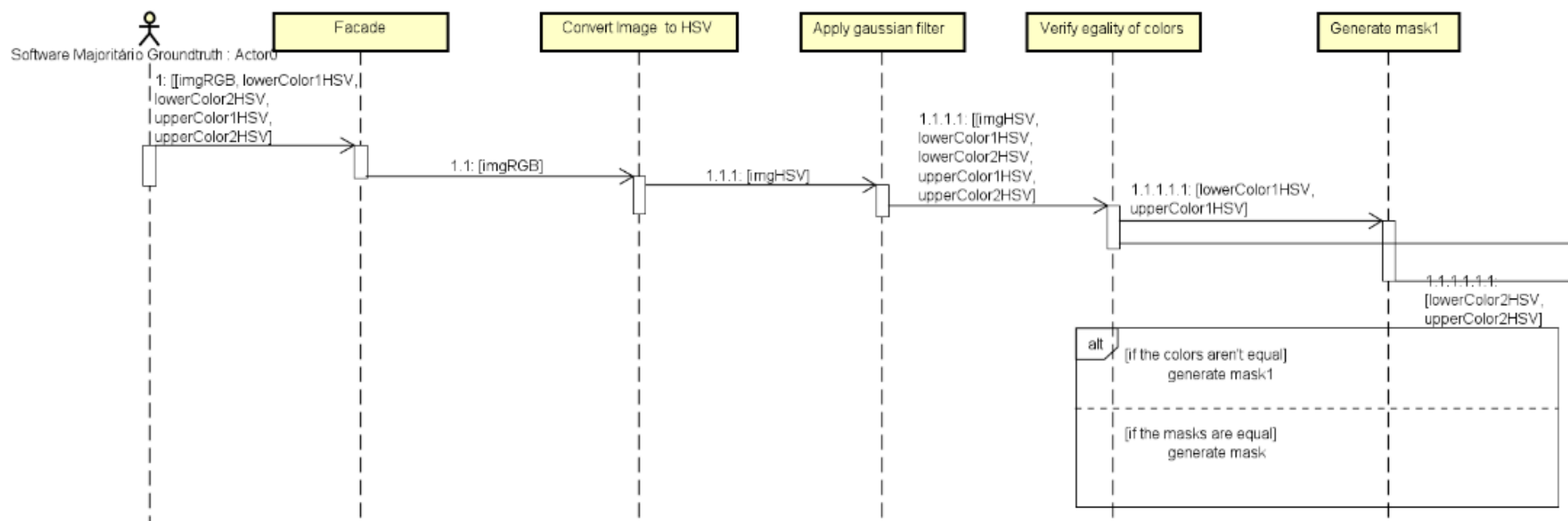


Figura 83: Parte esquerda do Diagrama de Sequência do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

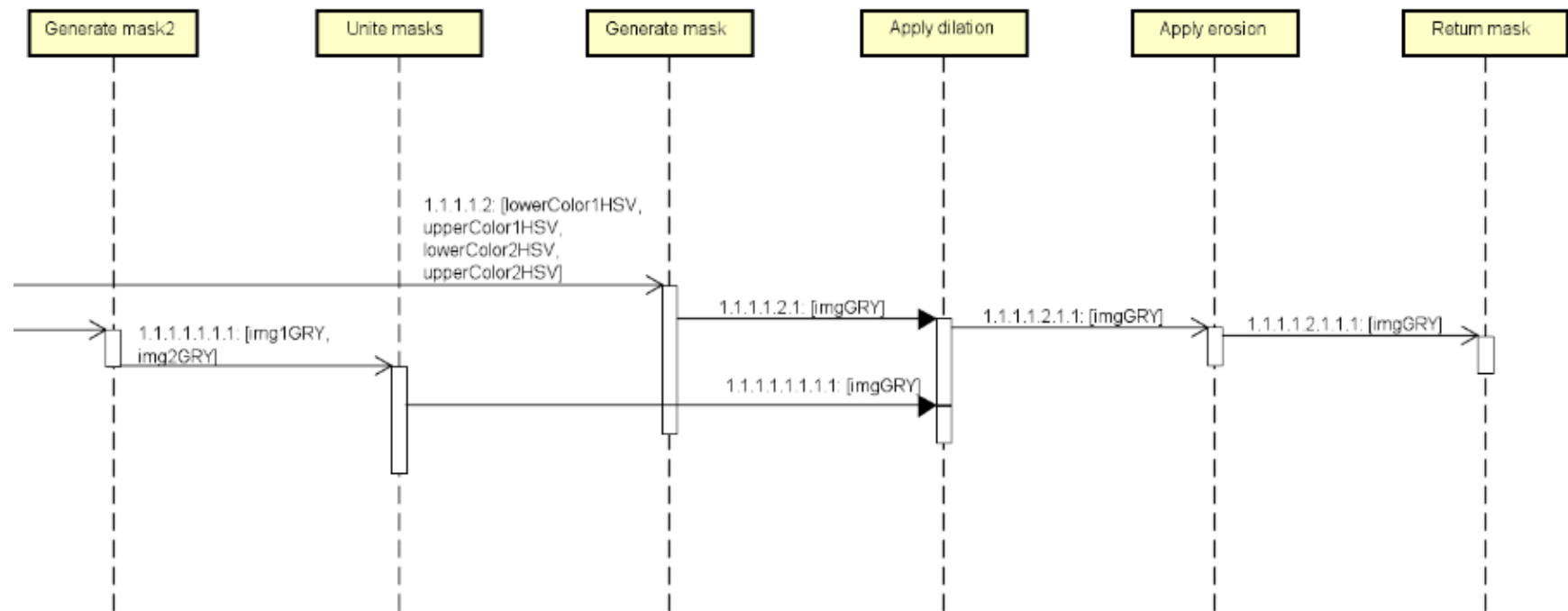


Figura 84: Parte direita do Diagrama de Sequência do Serviço S13 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

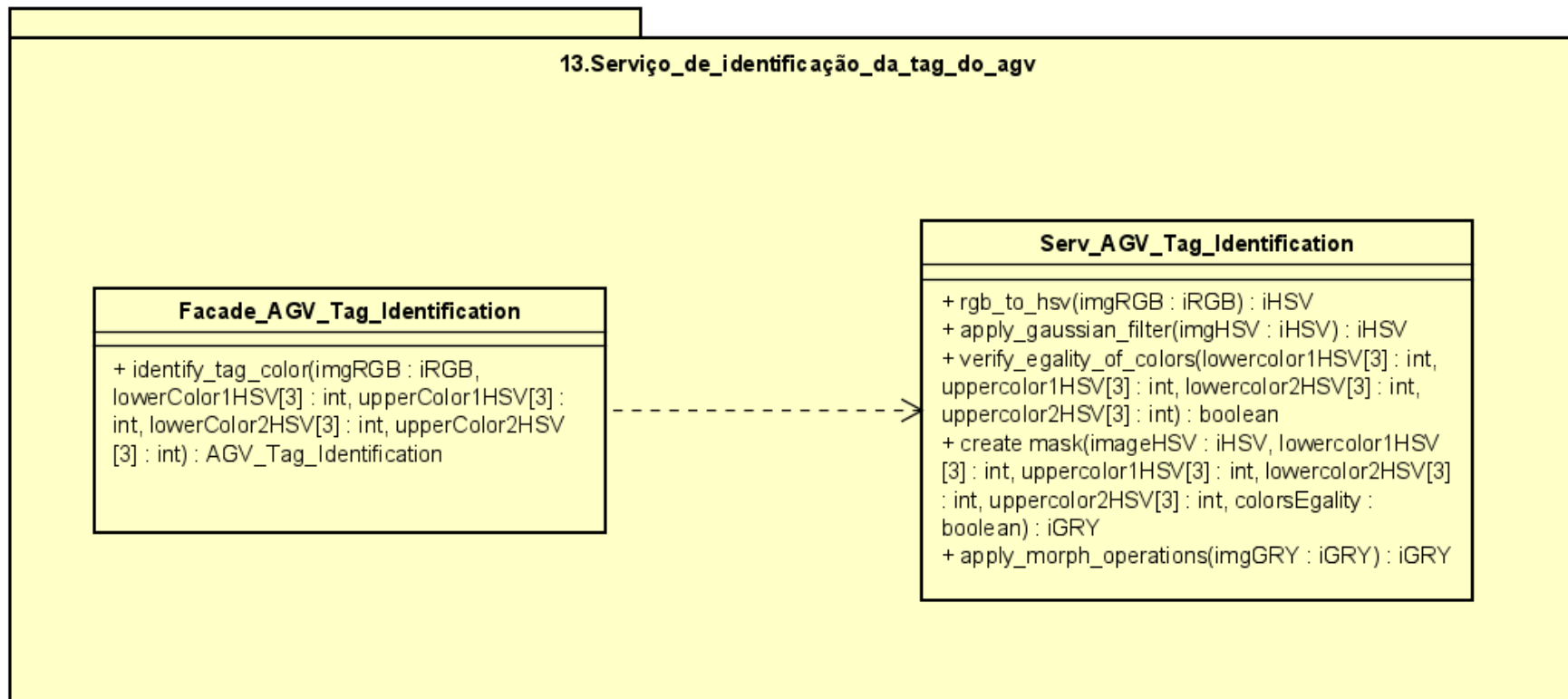


Figura 85: Diagrama de Classes do Serviço S12 - Serviço de Identificação da Tag do AGV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados da proposta de sistema medição externa apresentada, por meio do detalhamento de um caso de estudo aplicado no laboratório.

4.2 Caso de estudo

Pouco após a conclusão da proposta do sistema de medição externa por meio de um Documento de Requisitos Geral, foi organizado o início do desenvolvimento de serviços individuais do sistema de medição com os novos membros do laboratório TEAR, usando como base esta documentação junto do protocolo de desenvolvimento detalhado no capítulo anterior.

Os membros do TEAR foram se familiarizando com o protocolo até construírem a documentação dos dois serviços apresentados neste trabalho e a documentação de outros serviços, com esse processo sendo um bom ponto de partida não só para entenderem o processo de desenvolvimento de um software modular, mas também para compreender e documentar as especificações de cada serviço trabalhado, com a codificação do serviço ocorrendo apenas após a revisão de toda a documentação.

Isso gerou serviços com código robusto e legível, com baixo acoplamento, alta coesão e fácil manutenção apesar da alta rotatividade de membros do laboratório TEAR.

Além disso, o projeto do sistema de medição externa também passou por melhorias na interface, com suas telas sendo reformuladas não só para englobar funções que eram cobertas por várias telas em apenas uma tela, facilitando a navegação pelo sistema, mas também modernizar a interface com o uso de minimalismo, com o objetivo de ela se tornar mais atrativa e legível para o usuário.

As melhorias aplicadas na interface do sistema de medição externa podem ser vistas por meio das telas abaixo.



Figura 86: Tela atual de cadastro da pista do sistema de medição externa



Figura 87: Tela atual de medição da movimentação do AGV do sistema de medição externa

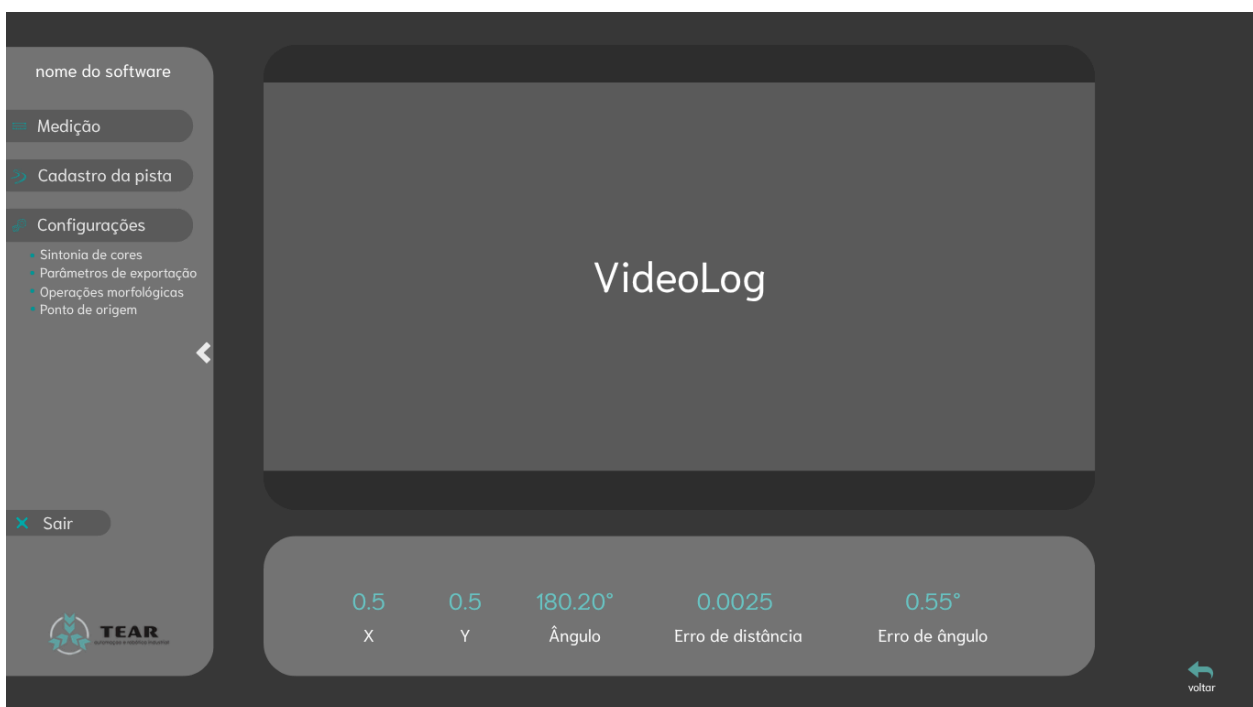


Figura 88: Tela atual de exibição do vídeo da medição do movimento do AGV do sistema de medição externa



Figura 89: Tela atual de configurações do sistema de medição externa



Figura 90: Tela atual de configuração de operações morfológicas do sistema de medição externa

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Como foi exposto nos capítulos anteriores, o sistema de medição externa da movimentação do AGV foi proposto e especificado de forma detalhada por meio de um Documento de Requisitos Geral com o objetivo não só de gerar legado para o laboratório TEAR, mas também para que seu desenvolvimento e manutenção fossem facilitados no contexto de uma equipe de alta rotatividade como a do laboratório.

Por meio dos resultados apresentados até o momento, tanto os contidos neste trabalho quanto os avanços do sistema no laboratório, pode-se afirmar que a proposta de sistema de medição externa gerou bons resultados, com a especificação do sistema e o protocolo de desenvolvimento do laboratório TEAR funcionando como bases importantes para a evolução de seus membros na documentação e codificação de software, além de contribuir para avanços na construção de um sistema de medição externa de baixo acoplamento, alta coesão, fácil manutenção e baixo custo, por meio de requisitos como:

- A compatibilidade do sistema de medição com webcams, que é uma câmera barata e fácil de obter;
- O uso da linguagem C++ e arquitetura SOA, com o objetivo de os serviços serem independentes um do outro e serem fáceis de serem substituídos por versões mais robustas e atualizadas no futuro, desde que usem as mesmas entradas e saídas para se comunicarem com seus serviços majoritários;

- Uso de versões específicas da biblioteca OpenCV e do SO Ubuntu, para que o sistema não possua problemas de compatibilidade com atualizações da biblioteca ou do SO.

Como parte dos trabalhos futuros, a proposta apresentada pode ser melhorada de três formas:

- Terminando as novas telas apresentadas da interface visual do sistema, simplificando os fluxos de telas e fazendo a navegação ser mais rápida e intuitiva para o usuário;
- Continuando a especificação e codificação dos serviços individuais e majoritários restantes do sistema de medição externa, seguindo o protocolo de desenvolvimento do laboratório TEAR;
- Especificação e execução dos testes unitários e de integração do sistema conforme o protocolo do laboratório, para que os serviços construídos sejam robustos, evitando que o usuário receba erros e fluxos inesperados ao usar o sistema.

Conforme o projeto do sistema de medição externa houver continuidade dentro do laboratório, ele continuará trazendo experiência na área de desenvolvimento de software para seus membros e os serviços finalizados poderão ser integrados no sistema até que todo o sistema esteja finalizado, o que tornaria possível sua execução em laboratórios e indústrias que desejam calibrar e validar o seu AGV seguidor de linha industrial.

REFERÊNCIAS

- A. Shatnawi et al. ReSIde: Reusable service identification from software families. **Journal of Systems and Software**, Amsterdam, v. 170, n. 110748, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110748>. Acesso em: 07/04/2026.
- A. Stan; D. M. Cotorobai. Centroid and Planar Rotation Calculus using Parallel Computation Geometry for Regular Shaped Objects. **International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics**, Online, n. 9, p. 186 - 191, 2021. Disponível em: https://ijomam.com/wp-content/uploads/2021/07/pag.-186-191_CENTROID-AND-PLANAR-ROTATION-CALCULUS-USING-PARALLEL-COMPUTATIONAL-GEOMETRY.pdf. Acesso em: 08/04/2026.
- C. Jiang; F. Zhang; Z. Wang. Image Processing of Aluminum Alloy Weld Pool for Robotic VPPAW Based on Visual Sensing. **IEEE Access**, Online, v. 5, p. 21567-21573, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2761986>. Acesso em: 09/04/2026.
- E. H. C. Mendes. **Medição de posição, velocidade e aceleração utilizando visão computacional em robôs móveis**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/160>. Acesso em: 14/04/2026.
- E. Lucet; A. Micaelli. A kinematic parameter estimator applied to a bi-directional vehicle. **IFAC-PapersOnLine**, Kidlington, v. 53, n. 2, p. 13916-13921, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.906>. Acesso em: 07/04/2026.
- H. Xu; Y. Li; Y. Lu. Research on Indoor AGV Fusion Localization Based on Adaptive Weight EKF Using Multi-sensor. In: **International Conference on Detection Technology and Intelligence System (DTIS)**, 2nd, 2022, Tianjin. Journal of Physics: Conference Series. Bristol: IOP Publishing Ltd., 2023, v. 2428. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2428/1/012028>. Acesso em: 06/04/2026.
- H. Zhang et al. Dynamic Continuous Online Compensation Method for Processing Robot Path Based on External Measurement. In: C. Min; G. Marco; L. Zhenzhe. **Advances in Machinery, Materials Science and Engineering Application**: Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Machinery, Materials Science and Engineering Application (MMSE 2022). 1ed. Amsterdam: IOS Press , 2022, v. 24. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/ATDE220449>. Acesso em: 07/04/2026.
- J. M. Font-Llagunes; J. A. Batlle. Consistent triangulation for mobile robot localization using discontinuous angular measurements. **Robotics and Autonomous Systems**, Amsterdam, v. 57, p. 931-942, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2009.06.001>. Acesso em: 06/04/2026.

- K. T. Al-Sarayreh et al. System performance requirements: A standards-based model for early identification, allocation to software functions and size measurement. **e-Infomatica Software Engineering Journal**, Breslávia, v. 14, n. 1, p. 117-148, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.37190/e-Inf200105>. Acesso em: 08/04/2026.
- M. Pau et al. A Service Oriented Architecture for the Digitalization and Automation of Distribution Grids. **IEEE Access**, Online, v. 10, p. 37050-37063, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3164393>. Acesso em: 17/03/2026.
- M. Scholz et al. Sustainable Intralogistics due to Uniform Software and Modular Transport Entities. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 80, p. 239-244, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.033>. Acesso em: 07/04/2026.
- P. Choi et al. Development of Mobile Robot-Based Precision 3D Position Measurement System. **Sensors**, Basel, v. 25, n. 11, artigo n. 3261, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s25113261>. Acesso em: 08/04/2026.
- R. Pungle; A. Andhare; D. Pungle. Experimental results on position and path control of an automated guided vehicle using fixed camera at ceiling and color markers. **IAES International Journal of Robotics and Automation**, Bantul, v. 13, n. 4, p. 391-400, 2024. Disponível em: <http://doi.org/10.11591/ijra.v13i4.pp391-400>. Acesso em: 09/04/2026.
- S. Ercana et al. Automated Localization of a Mobile Construction Robot with an External Measurement Device. In: **International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)**, 36th, 2019, Banff. 2019 Proceedings of the 36th ISARC. Banff: Curran Associates, Inc., 2019. p. 929-936. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0124>. Acesso em: 06/04/2026.
- S. H. Kim. Feedforward compensation of contour errors in robotic machining system using compliance model. **Journal of Manufacturing Processes**, Amsterdam, v. 89, p. 142-149, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.01.038>. Acesso em: 01/06/2026.
- S. Wang et al. Visual measurement method of crop height based on color feature in harvesting robot. **SN Applied Sciences**, Berlin, v. 5, artigo n. 59, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05287-x>. Acesso em: 01/06/2026.
- T. Feng; B. Jiao. The vision guidance and image processing of AGV. **Journal of Physics: Conference Series**, Bristol, v. 887, n. 1, p. 12093, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/887/1/012093>. Acesso em: 14/04/2026.
- W. A. Szulc; P. Czop. The Effectiveness of a Robotic Workstation Simulation Implementation in the Automotive Industry Using a Closed-Form Solution of the Absolute Orientation Problem. **Robotics**, Basel, v. 13, n. 11, artigo n. 161, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/robotics13110161>. Acesso em: 07/04/2026.

W. P. N. dos Reis et al. An extended analysis on tuning the parameters of Adaptive Monte Carlo Localization ROS package in an automated guided vehicle. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Berlin, v. 117, p. 1975–1995, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07437-0>. Acesso em: 01/06/2026.

Z. Zheng; Y. Lu. Research on AGV trackless guidance technology based on the global vision. **Science Progress**, London, v. 105, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/00368504221103766>. Acesso em: 09/04/2026.

DIAGRAMA GERAL DE ARQUITETURA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EXTERNA



DOCUMENTO DE REQUISITOS DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS

Introdução

O serviço tem como objetivo armazenar dados em um arquivo de texto, permitindo que outros serviços acessem as informações contidas nele posteriormente, com os dados sendo os parâmetros do sistema especificados logo abaixo:

- Os intervalos HSV para detecção de cores na imagem, com cada um deles tendo os canais H correspondente a cor (com valores de 0 a 179), S correspondente à saturação da cor (valores de 0 a 255) e V correspondente ao brilho da cor (valores de 0 a 255), com três valores H, S e V inferiores e outros três valores superiores para cada uma das cores das duas tags do AGV, usado no serviço 13 de identificação das tags do AGV;
- Ponto de origem (0, 0) e ângulo de origem 0° configurado para o sistema de coordenadas, usado no serviço 2 de cálculo de posição e ângulo em relação a uma origem;
- Elemento estruturante das operações morfológicas a serem aplicadas, sendo especificado por meio das coordenadas x e y da matriz, tendo portanto $x * y$ elementos binários dentro dela, usado no serviço 22 de aplicação de operações morfológicas;

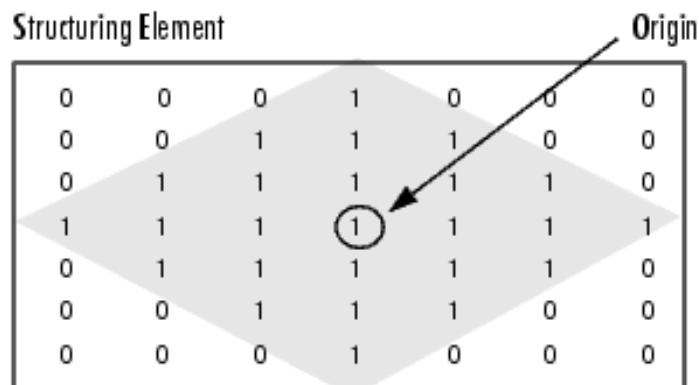


Figura 1: Elemento estruturante no formato de diamante ou losango

- Sequência de operações morfológicas a serem aplicadas no quadro do vídeo para alterá-lo e filtrá-lo, podendo melhorar a precisão da medição, usado no serviço 22 de aplicação de operações morfológicas;

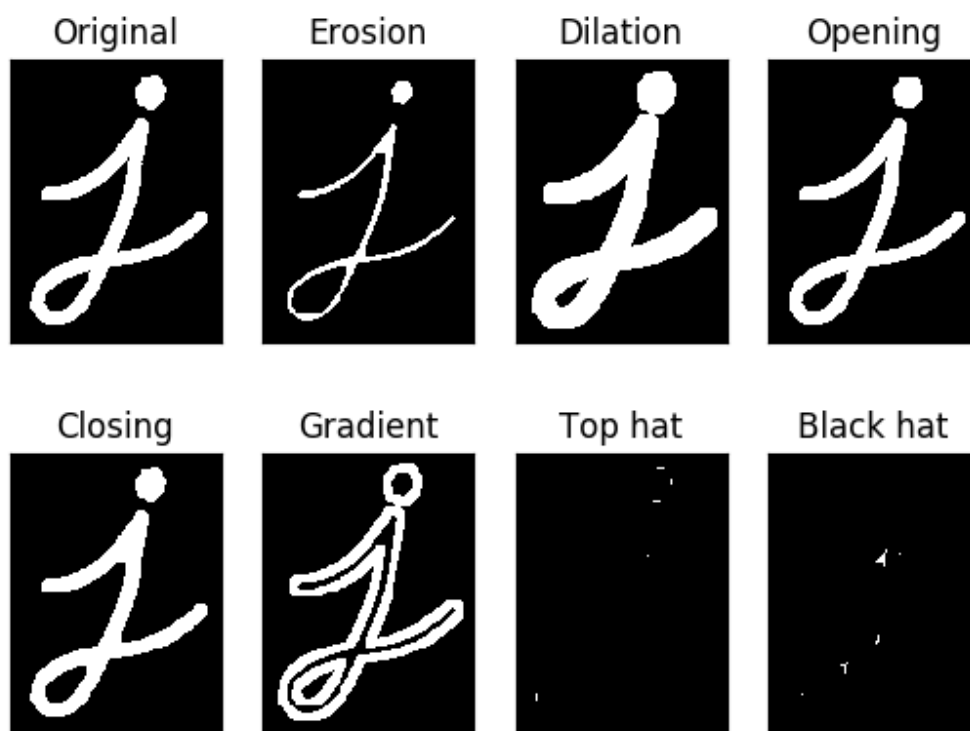


Figura 2: Exemplo de imagem processada pelas operações morfológicas básicas do OpenCV

- Número de parâmetros exportáveis disponíveis no sistema, com o padrão sendo quatro, usado no serviço 6 de criação de log de dados;
- Sequência de verdadeiro ou falso determinando quais parâmetros foram configurados pelo usuário para serem exportados, usado no serviço 6 de criação de log de dados.

Descrição Geral

Funções do Produto

Armazenamento dos dados recebidos em um arquivo de texto.

Características do Usuário

O presente serviço é consumido pelo Gerenciador de Arquivos..

Restrições Gerais

Não identificado.

Suposições e Dependências

- O sistema presume a existência de arquivos com os valores dos parâmetros necessários para o salvamento.

Requisitos Específicos

Requisitos Funcionais

RF1 - Criar um novo arquivo de texto sempre que for utilizado.

RF2 - Salvar os valores dos parâmetros no arquivo de texto criado.

Requisitos Não Funcionais

- **Desempenho**

- Não identificado.

- **Escalabilidade**

- As variáveis de interesse serão salvas em apenas um único arquivo de texto.

- **Confiabilidade**

- RNF1 - Terão variáveis do tipo string, int, float e bool.

- **Manutenibilidade**

- RNF2 - A manutenção, como parte do aprimoramento e da funcionalidade, pode ser implementada utilizando o formato JSON, XML, INI, TOML ou YAML.

DOCUMENTO DE DEMANDA DE PRODUÇÃO DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS

Descrição de métodos

Criação de arquivo de texto

Para a criação de um arquivo de texto, o serviço verifica se já existe algum arquivo de texto criado anteriormente com nome especificado(**parameterFilePath**). Se já existir, esse arquivo é excluído e um novo arquivo de texto em branco com o nome especificado é criado. O serviço exibe se a criação do arquivo de texto ocorreu com sucesso ou não.

Salvamento de dados

O armazenamento dos parâmetros(a serem especificados) ocorre somente se o conjunto de parâmetros recebidos do sistema (**currentParameterValues**) for considerado válido. Quando os valores são válidos e o arquivo de texto criado é aberto com sucesso, os parâmetros são armazenados nesse arquivo. Além disso, será avisado se os dados foram armazenados com sucesso ou se ocorreu algum erro durante o processo de armazenamento através do indicador (**saveParametersStatus**).

Exemplo de uso e serviço

1. Verifica-se a existência do arquivo de texto com nome "**ArquivoDeParametros**". Caso o arquivo este arquivo exista, ele será excluído, e um novo arquivo de texto. "ArquivoDeParametros" será criado.
2. Os seguintes dados serão armazenados no arquivo "**ArquivoDeParametros**".

O serviço receberá os valores padrão das cores das Tags do AGV

Os parâmetros HSV, com H entre 0 a 179, S entre 0 a 255 e V entre 0 a 255.

O ponto de origem(pesquisar sobre ponto de origem para estabelecer um valor) e ângulo de origem estando entre 0° a 360°.

Elemento estruturante apenas com valores binários.

Sequência de operações morfológicas como uma string que recebe o número das operações a serem realizadas.

Número de medidas exportáveis disponíveis no sistema igual a 4.

Sequência de verdadeiro ou falso determinando quais parâmetros foram configurados pelo usuário para serem exportados,

Referências

Histórico de alterações

- 16/10/2024 - A Documentação em questão foi atualizada para um novo template. As funções foram mais bem especificadas.
- 19/11/2024 - Atualização do comportamento de criação de arquivo de texto. Antes de criar o arquivo, é necessário verificar se já existe algum arquivo de texto criado anteriormente.
- 21/01/2025 - Atualização do documento para um novo template.
- 04/02/2026 - Alteração de nomes e adequação da lógica de retorno para variáveis globais.

PSEUDOCÓDIGO DO SERVIÇO DE SALVAMENTO DE PARÂMETROS

Save_Parameters

```
include: cstdio // To use the remove function

        fstream

        string

        parameters //classe Parameters

define:

//-----

//Does the file whose path is parameterFilePath already exist?

//If it does, delete the file.

//Create new file.

//-----

method create_txt_file ()

//The file already exists?

        if file exists then

                //Delete the file
```

```

        delete file

    endif

    //Create new file

    create the new file

end of method

//-----

//Is the blank file created successfully? If it is, write currentParametersValues

//to the file, close the file and indicate success by saveParametersStatus.

//Else,          indicate          error          by          saveParametersStatus
//-----

method store_data()

//Is the blank file with default name opened successfully?

    if the file was opened successfully and the attributes are valid then

        //Write currentParametersValues to the file

        Save the values of the variables of interest to the file

        //Close the file and indicate success by saveParametersStatus

        Close the file

saveParametersStatus = true

    else

        //Indicate error by saveParametersStatus

        saveParametersStatus = false

    endif

```

end of method

Facade_Save_Parameters

include: Save_Parameters

define:

variable: save_parameters // instance of the Save_Parameters class

method parameters_save()

save_parameters.create_txt_file()

 save_parameters.store_data()

end of method