



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FRANCISCO BRUNO REBOUÇAS DO NASCIMENTO

**UMA FERRAMENTA DE SEGMENTAÇÃO E ATRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS
PARA CONTRIBUIR COM ANÁLISES TERMOGRÁFICAS**

RUSSAS

2023

FRANCISCO BRUNO REBOUÇAS DO NASCIMENTO

UMA FERRAMENTA DE SEGMENTAÇÃO E ATRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS PARA
CONTRIBUIR COM ANÁLISES TERMOGRÁFICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação
do Campus Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Prof. Dr. Rosineide Fer-
nando da Paz.

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Nascimento, Francisco Bruno Rebouças do.

Uma ferramenta de segmentação e atribuição de temperaturas para contribuir com análises termográficas / Francisco Bruno Rebouças do Nascimento. – 2023.
61 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Ciência da Computação, Russas, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Rosineide Fernando da Paz.

1. Termografia. 2. Segmentação. 3. Patologia das Construções. I. Título.

CDD 005

FRANCISCO BRUNO REBOUÇAS DO NASCIMENTO

UMA FERRAMENTA DE SEGMENTAÇÃO E ATRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS PARA
CONTRIBUIR COM ANÁLISES TERMOGRÁFICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação
do Campus Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em: 08 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rosineide Fernando da Paz (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rosineide Fernando da Paz
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Luiz Carlos Magalhães Olímpio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os meus familiares e amigos que me apoiaram durante essa jornada, mas em especial aos meus pais, minha mãe Maria do Socorro Freitas Rebouças e ao meu pai, Francisco Aldoberto Vieira do Nascimento, que sempre me apoiaram e estiveram comigo em todos os momentos.

Agradeço à minha orientadora Rosineide Fernando da Paz por ter me dado a primeira oportunidade de fazer parte de um projeto da Universidade Federal do Ceará (UFC), o Medusa's Eyes, e logo em sequência me abriu portas para o Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB), ambas experiências enriquecedoras para minha vida profissional e pessoal.

Agradeço também ao professor Ezequiel Fernandes Teixeira Mesquita que me recebeu no LAREB, e abriu perspectivas de conhecimentos e rumos profissionais.

Agradeço também a todos os meus colegas que fizeram parte dessa jornada comigo, assim como a todos os professores pelos quais passei, que foram muito importantes durante este período.

RESUMO

No contexto da construção civil, o controle e a análise do estado de conservação das estruturas de concreto são de extrema importância. Os ensaios não destrutivos surgem como soluções eficientes para avaliar a qualidade das construções, tanto nas estruturas novas quanto nas estruturas antigas. Dentre esses ensaios, destaca-se a termografia infravermelha, uma técnica ágil e versátil que se baseia na análise indireta da temperatura da estrutura e dos materiais da fachada de um edifício, para identificar possíveis patologias. No entanto, há uma escassez de ferramentas prontas para a análise de imagens termográficas, o que implica em desafios na interpretação dos resultados. Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de segmentação de imagens termográficas. Essa ferramenta permite ao usuário definir cores específicas para a segmentação da imagem, visualizando as áreas de interesse em intervalos de valores nos espaços de cores RGB e HSV. Além disso, a ferramenta gera um arquivo que registra as cores segmentadas dos espaços citados, juntamente com as temperaturas máximas e mínimas, proporcionando uma visualização das cores e suas respectivas temperaturas.

Palavras-chave: termografia; segmentação; patologia das construções.

ABSTRACT

In the context of civil construction, monitoring and analyzing the state of repair of concrete structures is extremely important. Non-destructive tests have emerged as efficient solutions for assessing the quality of constructions, both new and old. Among these tests is infrared thermography, as an agile and versatile technique based on the indirect analysis of the temperature of a building's structure and façade materials to identify possible pathologies. However, there is a shortage of ready-made tools for analyzing thermographic images, which implies challenges in interpreting the results. Given this scenario, this study proposes the development of a thermographic image segmentation tool. This tool allows the user to define specific colors for image segmentation, visualizing the areas of interest in ranges of values in the RGB and HSV color spaces. In addition, the tool generates a file that records the segmented colors of the aforementioned spaces, along with the maximum and minimum temperatures providing a visualization of the colors and their respective temperatures.

Keywords: thermography; segmentation; construction pathology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Execução do Ensaio de Velocidade de Pulso Ultrassônico (VPU).	18
Figura 2 – Tomógrafo A1040 - MIRA.	19
Figura 3 – Imagem termográfica, obtida de uma câmera termográfica da FLIR, de uma fachada cerâmica localizada no interior do estado do Ceará, no Brasil, no período das 18h, horário de Brasília, Brasil.	20
Figura 4 – Câmera Termográfica.	20
Figura 5 – Fuga de ar quente para o exterior da estrutura.	22
Figura 6 – Sistema de coordenadas do RGB.	25
Figura 7 – Sistema de coordenadas do HSV.	26
Figura 8 – Imagem original segmentada a cor vermelha à esquerda e à direita a sua máscara.	27
Figura 9 – Diagrama de Casos de Uso da janela de segmentação.	32
Figura 10 – Diagrama de Casos de Uso da janela de Temperaturas.	33
Figura 11 – Diagrama de Casos de Uso da janela de Análises.	33
Figura 12 – Imagem original a ser segmentada.	35
Figura 13 – Imagem segmentada na cor laranja em HSV.	35
Figura 14 – Imagem segmentada na cor laranja em RGB.	35
Figura 15 – Imagem da tela <i>Segmentation Tool</i>	37
Figura 16 – Imagem da tela de Temperaturas.	38
Figura 17 – Imagem da tela de Análises.	38
Figura 18 – Imagem da tela <i>Segmentation Tool</i> enumerada.	39
Figura 19 – Caixa de seleção de cores e seus intervalos, em HSV, pre-definidos nos dicionários.	40
Figura 20 – Caixa de seleção de cores e seus intervalos, em RGB, pre-definidos nos dicionários.	41
Figura 21 – Janela de mostragem da imagem termográfica original, sem nenhuma alteração.	42
Figura 22 – Janela de amostragem da imagem original segmentada para um intervalo no vermelho.	43
Figura 23 – Janela de amostragem da mascara binária da segmentação criada.	43
Figura 24 – Janela de amostragem da imagem referente a porcentagem de cobertura da imagem original.	44

Figura 25 – Janela de amostragem da imagem referente a porcentagem de cobertura da imagem original, com um erro sendo informado.	46
Figura 26 – Apresentação proposital de um erro de sobreposição de intervalo de cores sendo apresentado.	47
Figura 27 – Informação sobre o erro encontrado nos intervalos das cores.	48
Figura 28 – Imagem da tela Temperaturas enumerada.	48
Figura 29 – Imagem Termográfica e suas temperaturas máxima e mínimas.	49
Figura 30 – Imagem Termográfica batida as 17h e com inclinação perceptível.	50
Figura 31 – Imagem Termográfica batida as 10h e sem inclinação perceptível.	50
Figura 32 – Imagem da tela para recorte da imagem termográfica.	51
Figura 33 – Imagem da tela para recorte da imagem termográfica.	51
Figura 34 – Exemplo de uma transformação de perspectiva.	52
Figura 35 – Exemplo de uma transformação de perspectiva.	53
Figura 36 – Imagem da tela Analises enumerada.	54
Figura 37 – Imagem termográfica uniforme a ser tratada.	55
Figura 38 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor vermelha.	56
Figura 39 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor laranja.	57
Figura 40 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor amarela.	57
Figura 41 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas em 3D.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Requisitos	30
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DCU	Diagrama de Casos de Uso
END	Ensaio Não Destrutivo
LAREB	Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções
MCU	Modelos de Casos de Uso
UFC	Universidade Federal do Ceará
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
VPU	Velocidade de Pulso Ultrassônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Desenvolvimento	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Ensaio Não Destrutivo	16
2.2	Tipos de Ensaio Não Destrutivo	17
2.2.1	<i>Velocidade de Pulso Ultrassônico</i>	17
2.2.2	<i>Tomografia Ultrassônica</i>	18
2.2.3	<i>Inspeção Visual</i>	18
2.2.4	<i>Termografia</i>	19
2.3	Fachadas	20
2.4	Termografia em Fachadas	21
3	TRABALHOS RELACIONADOS	23
3.1	Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura	23
3.2	A análise de patologias em paredes de concreto moldadas in loco utilizando a termografia como ensaio não destrutivo	24
3.3	Processamento de imagens digitais	24
3.3.1	<i>Pixeis em imagens digitais</i>	24
3.3.2	<i>Espaço de Cores</i>	25
3.3.3	<i>Segmentação por Limiarização</i>	26
3.3.3.1	<i>Limiarização</i>	26
3.3.3.2	<i>Máscaras</i>	27
4	METODOLOGIA	28
4.1	Definição da ferramenta	28
4.2	Lista de Requisitos Funcionais	29
4.3	Diagramas de Casos de Uso	31
4.4	Ferramentas Utilizadas	34
4.4.1	<i>Realização da segmentação</i>	34

4.4.2	<i>Associação de Cores e Temperaturas</i>	36
5	RESULTADOS	37
5.1	Definição de valores para segmentação	39
5.2	Definição do dicionário de temperaturas	48
5.3	Segmentação da cores e atribuição de temperaturas	53
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	59
6.1	Considerações finais	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o elemento estrutural mais utilizado na construção civil, e este fato conduz à necessidade de ferramentas de controle e análise de seu estado de conservação. Diante desse contexto, existe uma preocupação crescente sobre o estado de deterioração e segurança desse tipo de construção. Muitas vezes, em uma construção, é necessária a realização de testes de estruturas de concreto, após o seu endurecimento, para averiguar se a estrutura está adequada para o uso de forma segura. Porém, idealmente tais testes devem ser realizados de forma a não causar danos à estrutura analisada, e dentro deste contexto, os ensaios não destrutivos são de suma importância (SERIES, 2002).

Esse tipo de ensaio pode ser aplicado tanto em estruturas novas, quanto em estruturas antigas. Essa prática diz respeito ao controle de qualidade das construções ou ao esclarecimento de dúvidas acerca da qualidade dos materiais utilizados, ou da forma como se deu a construção (SERIES, 2002).

Considerando a necessidade de controle de qualidade das estruturas e a importância das edificações históricas de valor cultural, a investigação do estado de degradação das fachadas dessas edificações é de extrema importância. A utilização de ensaios não destrutivos para avaliar as manifestações patológicas é bastante útil para auxiliar na manutenção e conservação das edificações inventariadas (JUNIOR *et al.*, 2022). Dentre os ensaios não destrutivos, um que vem se destacando por ser ágil, versátil e eficaz é a termografia infravermelha. Nela, apenas a temperatura da estrutura e dos materiais que compõem a fachada de um edifício importa para a identificação de possíveis patologias visíveis ou não a olho nu (SOUSA, 2013).

Com a termografia é possível medir toda a temperatura de uma superfície, onde, caso exista alguma anomalia, a mesma será apresentada na imagem termográfica como alguma variação na intensidade de calor emitida e capturada pela câmera termográfica, ou seja, será representada por cores diferentes, respectivas a suas temperaturas medidas. Por meio da análise dessas imagens termográficas, é possível encontrar anomalias ou defeitos (SOUSA, 2013). Assim, fica evidente a necessidade de uma boa análise de imagens termográficas, porém ferramentas prontas para uso que ajudem na análise dessas imagens são escassas.

Buscando estudar e propor uma solução para tal problema, esta monografia propõe uma ferramenta para a segmentação de imagens termográficas em cores determinadas pelo usuário, e que serão representadas em intervalos de valores nos espaços de cores HSV. A ferramenta conta com a criação de um arquivo que guardará tanto as cores segmentadas, quanto

às temperaturas máximas e mínimas que são obtidas a partir de imagens coloridas, com o intuito de ser também uma ferramenta para visualização de todas as cores segmentada que uma imagem escolhida pelo usuário. Deste modo, são apresentados a seguir, e de forma mais detalhada, os objetivos deste trabalho.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é criar uma ferramenta na qual possa ser feita uma segmentação em cores de imagens termográficas, a partir de faixas determinadas pelo usuário, de valores que irão representar cores do espaço RGB e HSV. Além disso, deverá também permitir incluir as temperaturas obtidas naquele termograma, que será utilizado para criar uma visualização de cada cor segmentada, em forma de máscaras que estarão relacionadas a uma temperatura determinada.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o recorte da imagem para obter somente a área de estudo desejada;
- Realizar a padronização da imagem recortada;
- Determinar valores mínimos e máximos de H(Hue), S(Saturation) e V(Value), e determinar qual cor esse intervalo pertence, no espaço de cor HSV;
- Determinar valores mínimos e máximo de R(Red), G(Green) e B(Blue), e determinar qual cor esse intervalo pertence, no espaço de cor RGB;
- Criar e salvar arquivo com todas as cores desejadas e seus intervalos de valores, de ambos os espaços de cores;
- Criar e salvar arquivo com todas as temperaturas associadas às imagens obtidas com a câmera termográfica;
- Utilizar os arquivos criados para segmentar a imagem desejada em suas cores, e associar cada máscara com sua cor a uma temperatura específica calculada;

1.3 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento da ferramenta, duas etapas foram planejadas e executadas. A primeira diz respeito ao levantamento de requisitos. Os quais foram levantados a partir de observações do autor e conversas com profissionais, que realizam análises sobre imagens termográficas, sobre necessidades na análise tradicional de imagens termográfica. O resultado

foi uma lista de requisitos funcionais, utilizados para a criação Diagrama de Casos de Uso (DCU) que represam funcionalidades necessárias na ferramenta.

Na segunda etapa é realizado a implementação prática desses requisitos para criação da ferramenta, na qual esta foi conduzida completamente em *Python* (Python Core Team, 2019) versão 3.11.2, utilizando a biblioteca *TKinter* (FOUNDATION, 2022) para a interface gráfica e as bibliotecas *OpenCV* (BRADSKI, 2000) e *PIL* (CLARK; CONTRIBUTORS, 2022) para o processamento das imagens termográficas.

Com a implementação das funcionalidades, tem-se como resultado uma ferramenta que deve facilitar a análise de imagens termográficas. A sua capacidade de realizar a segmentação das imagens, tanto no espaço de cor HSV e RGB, para os intervalos de valores definidos pelo usuário é verificada. Assim como é demonstrada a capacidade de realizar o salvamento dos dados de temperaturas presentes nas imagens e o recorte das áreas de interesse das mesmas, e por fim é apresentada uma atribuição de temperatura a cada pixel da imagem, gerando assim as temperaturas para as cores presentes na mesma.

Portanto, com este desenvolvimento foi possível proporcionar uma ferramenta que proporciona auxílio para análises de imagens termográficas, com esta tendo a capacidade de realizar a segmentação de cores, associação com temperaturas e visualização de cada cor da imagem termográfica separada, que contribui para uma análise visual na busca de anomalias no material.

A estrutura deste trabalho encontra-se da seguinte forma. No Capítulo 2 é feita a fundamentação teórica necessária para embasamento do trabalho; No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos similares e que contribuíram para a contextualização da monografia; No Capítulo 4 foram apresentadas as metodologias utilizadas para a criação da ferramenta; No Capítulo 5 tem a apresentação dos resultados obtidos, que se referem a criação e utilização da ferramenta, assim como mostrando exemplos práticos de sua utilização; E por fim temos no Capítulo 6 o resumo do resultado, e possibilidades de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensaios Não Destrutivos

De acordo com SGS (2018), os Ensaios Não Destrutivos (END) são aqueles realizados em materiais, ou equipamentos, de modo a não alterar permanentemente as propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais do objeto analisado. Estes ensaios buscam detectar e avaliar falhas nos materiais. Tais falhas podem ser caracterizadas por trincas, poros, variações nas propriedades do material, dentre outras coisas que podem levar futuramente a uma falha do objeto.

Tem-se que o uso dos END tornou-se uma maneira de inspeção e avaliação de construções civis que muitas vezes são realizados de forma eficiente e econômica. Por esta razão, são técnicas utilizadas em vários âmbitos de trabalhos, desde engenharia civil a indústria automobilística e aeroespacial (LORENZI *et al.*, 2016). Com isso, a utilização dos ensaios não destrutivos são importantes para o controle de qualidade, podendo influenciar diretamente na redução de custos e aumento da confiabilidade do produto (SGS, 2018).

Neste contexto, por vezes, é necessária a realização de testes de estruturas de concreto, após terem endurecidas, a fim de determinar se estas foram construídas adequadamente, conforme o projeto proposto para a edificação. De forma ideal, esses testes devem proceder de maneira que não prejudiquem a integridade da estrutura, pois do contrário podem causar danos que sejam custosos financeiramente ou de difícil acesso para reparação. Isso pode ocorrer de forma a diminuir a vida da estrutura. Deste modo, podem ser aplicados os END, podendo ser feitos tanto em estruturas novas quanto antigas, e podendo ser uma forma de teste também preliminar para algum ensaio destrutivo (SERIES, 2002; LORENZI *et al.*, 2016).

Como pode ser visto em SERIES (2002), existem situações típicas nos quais o uso de END pode ser útil:

- na averiguação da qualidade de pré-moldados ou construção *in situ*;
- na identificação de materiais não conformes;
- no esclarecimento sobre a mão de obra envolvida na mistura, colocação, compactação ou cura do cimento;
- no monitoramento do desenvolvimento da resistência com foco na remoção de fôrmas, duração da cura, aplicação de protensão ou cargas, e retirada de escoramento;
- na localização de extensão de falhas, fissuras e vazios no interior do concreto;

- na determinação da condição da uniformidade do concreto;
- na determinação da quantidade, da condição ou da posição do reforço;
- no aumento do nível de confiança para uma quantidade menor de testes destrutivos;
- na confirmação de suspeita de deterioração do concreto diante de fatores como sobrecarga ou fadiga;
- na avaliação da durabilidade potencial do concreto;
- no monitoramento das variações nas propriedades do concreto;
- na geração de informações para determinar ações de mudanças para a estrutura.

Geralmente, as aplicações estão relacionadas à identificação e avaliação da localização, além da importância, das falhas e defeitos nas estruturas de concreto endurecido (LORENZI *et al.*, 2016).

2.2 Tipos de Ensaio Não Destrutivos

Nesta seção são mostradas algumas técnicas não destrutivas utilizadas na inspeção de construções de alvenaria.

2.2.1 Velocidade de Pulso Ultrassônico

De acordo com Lorenzi *et al.* (2016), temos que:

No ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico VPU, uma onda de som ultrassônica é projetada num material, sendo medida a velocidade de propagação da mesma, que vai depender da natureza do material, da sua porosidade e da presença de vazios ou de água no sistema de poros, entre outros fatores [...]

Segundo Lorenzi *et al.* (2016), a VPU pode ser considerada uma das técnicas mais promissoras para avaliação de estruturas de concreto. Este ensaio pode ser utilizado para verificar a homogeneidade do concreto, detectar eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições. Podemos achar essas falhas, pois, por exemplo, caso dentro do concreto tenha vazio, a velocidade de propagação vai diminuir e causar um atraso na propagação do pulso.

O uso do VPU gera vantagens bem claras, como o fato de ser rápido e ser um END, permitindo ao usuário fazer um controle dos elementos na estrutura, inclusive ao longo do tempo, de acordo com Lorenzi *et al.* (2016).

Figura 1 – Execução do Ensaio de VPU.



Fonte: (LORENZI *et al.*, 2016).

2.2.2 Tomografia Ultrassônica

Segundo Lorenzi *et al.* (2016), a tomografia ultrassônica é outro método de END que permite uma análise da estrutura do concreto, permitindo o controle da qualidade deste. O seu funcionamento se dá por meio da utilização de ondas de cisalhamento, que percorrem a estrutura e criam uma imagem 3D tomográfica dos elementos do concreto, podendo fazer a verificação de falha ou deformação interna. Porém, existe um problema neste método que é a necessidade de uma alta experiência para manuseio e análise no procedimento, o que dificulta a sua utilização.

O ensaio de ultrassom também apresenta outro problema que é o fato da propagação ultrassônica convencional ser deficiente, pois se trata de uma tentativa de expressar uma seção bidimensional em um grafo unidimensional.

2.2.3 Inspeção Visual

A inspeção visual é o método mais simples e pode ser tratada como uma vistoria inicial, que deve ser realizada se houver alguma demanda específica ou um problema na estrutura. Essa inspeção serve como um primeiro passo a ser dado, em busca de escolher um método que seja adequado às necessidades apresentadas.

Figura 2 – Tomógrafo A1040 - MIRA.



Fonte: (LORENZI *et al.*, 2013)

Segundo a SGS (2018), por mais que a inspeção manual seja simples e aplicável de forma inicial, tem vários fatores que influenciam em sua verificação, como acesso ao local e sua iluminação. O que faz com que, mesmo com sua aplicação, seja necessário um responsável minimamente capacitado para realizar as análises necessárias. Nela a principal ferramenta são os olhos humanos, que podem ser auxiliados por lupas, microscópios, computadores e, mais recentemente, drones.

2.2.4 Termografia

Segundo Lorenzi *et al.* (2016), o funcionamento da termografia infravermelha se baseia no princípio de que anomalias ou defeitos no interior das estruturas causam uma modificação no fluxo de calor do material analisado. E assim, por meio dessa mudança no fluxo de calor, é gerada uma mudança na temperatura da superfície da estrutura. É com a medição dessas temperaturas que podem ser localizadas anomalias no material. Pois, normalmente, uma área que contenha um defeito ou anomalia terá uma condutividade térmica diferente, onde se revelará como uma área resfriada ou manchas quentes, disconformes do resto da superfície da estrutura.

A forma de obtenção dessas informações, sobre as temperaturas nas superfícies, se dá por meio de imagens termográficas. Essas imagens são apresentadas em forma de termograma. Ou seja, o objeto é mapeado a fim de medir a intensidade de calor emitido, como mostrado na Figura 3. Imagens deste tipo pode ser obtida por meio de câmeras térmicas, como na Figura 4.

Figura 3 – Imagem termográfica, obtida de uma câmera termográfica da FLIR, de uma fachada cerâmica localizada no interior do estado do Ceará, no Brasil, no período das 18h, horário de Brasília, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 4 – Câmera Termográfica.



Fonte: (THERMASCAN, 2023)

2.3 Fachadas

Ultimamente tem ocorrido um aumento na preocupação com o monitoramento de fachadas, principalmente com aquelas de construções históricas. Isso se dá por envolver questões de preservação do patrimônio do histórico. Assim, têm sido realizados cada vez mais estudos relacionados a verificação de patologias sobre fachadas desse tipo de construção. Bem como também tem sido percebido o uso cada vez maior de métodos de monitoramento e manutenção

destas, como afirmado por Junior *et al.* (2022).

Segundo Freitas *et al.* (2014) a durabilidade de fachadas está diretamente relacionada com os fenômenos climáticos que a submetem, como chuva, vento, sol, poeira, dentre outras. A ação do clima pode resultar na manifestação de patologias nas fachadas, que vão desde simples comprometimentos estéticos, sem riscos, até fissuras, infiltrações, manchamentos acentuados, e até casos críticos como deslocamentos e descolamento dos revestimentos. Tais ocorrências podem deixar uma fachada completamente exposta a danos ainda maiores. Podendo, com isso, aumentar cada vez mais as alterações e modificações em sua estrutura.

Para Freitas *et al.* (2014), tendo em vista a diversidade de cenários que fachadas podem estar expostas, ou até mesmo pela falta de conhecimento sobre tais problemas pelos profissionais durante o projeto da obra, se torna essencial o monitoramento constante e preventivo da temperatura. Tais monitoramentos poderão gerar dados com informações para a criação de novos projetos e materiais voltados para o desempenho correto desses elementos, em situações em que estão expostos a tais intempéries. Com isso, os END são apontados como sendo os principais meios de estudos das fachadas, pois estes não geram deterioração ou danos a estas. Dentre essas técnicas, em muitos casos, tem-se o destaque da termografia infravermelha.

2.4 Termografia em Fachadas

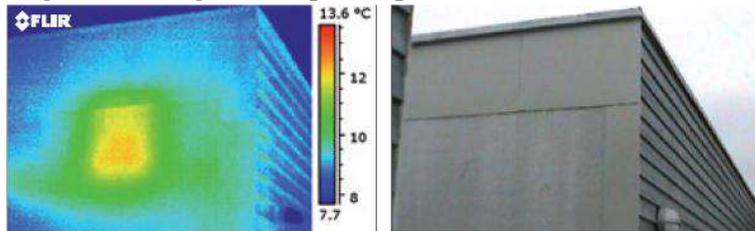
Conforme as pesquisas feitas por Sousa (2013), a termografia infravermelha é um ensaio eficaz e ágil o suficiente para, apenas com o uso da medição da temperatura da estrutura e dos materiais que compõem a fachada de um edifício, ser possível uma identificação de possíveis danos existentes em seu interior, que não são vistos a olho nu.

Ainda de acordo com Sousa (2013), foi verificado que inicialmente, principalmente pelo custo do equipamento e desconhecimento, essa técnica ficou mais restrita a Europa. Porém, com a diminuição dos custos e aumento de pesquisas, e até criação da norma ISO/EN 13187 para inspeção termográfica em edifícios, esta técnica começou a ser usadas em extensas aplicações, como identificação de infiltrações de ar ou água, danos ou anomalias em isolamentos, danos em revestimentos, dentre outros.

Como dito, na Europa, esse método de inspeção não destrutiva das edificações é bastante utilizado, pois tal região oferece condições climáticas propensa a seu uso, por ser na maioria das vezes frio ou úmido. Como um exemplo para tal situação, pode ser citado o caso onde é obtida uma imagem termográfica de uma construção composta por uma camada de

concreto, isolamento e mais uma de concreto, que são usadas para manter o ambiente interno mais quente. Na Figura 5 é possível observar que o isolamento térmico está sendo ineficiente, pois está permitindo que o ar quente escape, e isso. Além de fazer com que a estrutura não cumpra bem seu papel, pode causar outros problemas, como infiltração e gastos maiores de energia para manter a temperatura interna estável.

Figura 5 – Fuga de ar quente para o exterior da estrutura.



Fonte: (SOUSA, 2013).

Ressaltando esse benefício do uso da termografia em fachadas, tem-se também o estudo realizado por Freitas *et al.* (2014), no qual foi realizado um ensaio com uso de termografia e um ensaio visual, no qual, mesmo em boas condições, algumas anomalias e erros só foram possíveis de serem achadas por meio da imagem termográfica. Porém, também ressalta que não somente a imagem direta é útil, como também os softwares de apoio nas câmeras. Pois, com o uso de sobreposições das imagens digitais e termográficas, dando enfoque em pontos específicos, foi possível identificar pontos de manifestações patológicas que não foram visualizados por meio da escala de cores da termografia, tendo o fato da pequena diferença apresentada no local da falha.

Como a termografia vem cada vez mais sendo utilizadas em novas situações e sendo aprimoradas nas utilizações já existentes, tem aparecido cada vez mais resultados que a reafirma como uma ferramenta de elevado potencial a serviço das atividades de END para inspeções, avaliações e diagnósticos, muitas vezes confiáveis e rápidos, em problemas com revestimentos, em especiais fachadas de edifícios. Isso se dá pela necessidade de não destruição do objeto analisado e por vezes, devido ao difícil acesso à área danificada (SOUSA, 2013; FREITAS *et al.*, 2014). Portanto, se torna evidente que entender o funcionamento e uso de imagens termográficas é muito benéfico para tais situações, e a partir disso, faz-se necessário também softwares e ferramentas computacionais que ajudem a analisar melhor as informações contidas nas imagens, como as cores e suas relações com as temperaturas.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura

Freitas *et al.* (2014) propôs a aplicação de termografia infravermelha na avaliação de fissuras relacionadas à temperatura em revestimentos de fachadas. De modo específico, o estudo visa encontrar uma relação entre as imagens termográficas e os mapeamentos de fissuras e medições de temperaturas nas superfícies das fachadas de um edifício público, com dois pavimentos, além de investigar como as imagens termográficas podem contribuir para a identificação dessas fissuras.

A metodologia abordada no estudo, conforme descrito por Freitas *et al.* (2014), estruturou o trabalho a ser realizado em 3 etapas: na primeira foi realizada uma inspeção por meio de análise visual de parâmetros externos, visando identificar patologias existentes; na segunda etapa foi feita a medição da temperatura superficial de alguns pontos das fachadas dos edifícios; por fim, foram captadas imagens termográficas das fachadas.

Durante a realização das atividades propostas no trabalho, as análises visuais foram feitas com auxílio de máquinas fotográficas. As medições de temperaturas superficiais foram feitas em vários pontos dos revestimentos das fachadas e em horários e climas diferentes. Por fim, as imagens termográficas foram captadas durante dois dias, sendo um dele num período seco e o outro em um período chuvoso.

Com os resultados obtidos durante o trabalho de Freitas *et al.* (2014), foi possível calcular os índices de fissuração para as orientações dos edifícios de estudo, assim como descobrir que as maiores amplitudes térmicas diárias e sazonais da fachada de um determinado bloco corresponderam ao maior índice de fissuração da fachada. E por meio das imagens termográficas foi possível descobrir fissuras, como manchas com temperaturas mais elevadas, que visualmente não era possível de ser vistas a olho nu. Com isso, conclui-se que a termografia infravermelha foi uma ótima ferramenta para apoio na avaliação e diagnóstico de potenciais problemas em fachadas.

3.2 A análise de patologias em paredes de concreto moldadas in loco utilizando a termografia como ensaio não destrutivo

De acordo com Sousa (2013), a análise da integridade das construções com parede de concreto moldada in loco necessita de inspeção rigorosa, devido as instalações e esquadrias serem incorporadas durante a execução. Com isso, a identificação de patologias apenas após a sua aparição diminui as opções de tratamento ou minimização do problema. Com isso, técnicas não destrutivas que permitissem um diagnóstico rápido das patologias foram buscadas.

Dentro do contexto apresentado, Sousa (2013) observa que a termografia infravermelha é utilizada, principalmente, em países europeus, devido às condições climáticas serem muito favoráveis. Nesses países criaram até mesmo normas específicas para inspeções termográficas em edifícios.

Quanto aos estudos de casos realizados por Sousa (2013), foram escolhidos os empreendimentos Parque Riacho Fundo II e Via Solare. Durante o estudo a análise termográfica revelou a importância da presença de água na superfície para identificar patologias não visíveis a olho nu, pois a variação causada pelo contato com a água permitiu localizar fissuras, infiltrações e outros danos nas paredes de concreto.

Em conclusão, destaca que a termografia infravermelha é uma técnica viável e eficiente para o diagnóstico de patologias em paredes de concreto moldadas in loco, principalmente com a presença de água na superfície a ser analisada.

3.3 Processamento de imagens digitais

Para que se possa ter uma melhor compreensão de como se dá a relação entre as cores e as temperaturas de objetos dos quais são capturadas imagens termográficas, faz-se necessária a compreensão de alguns conceitos da computação gráfica, os quais são abordados nas seções seguintes.

3.3.1 *Pixeis em imagens digitais*

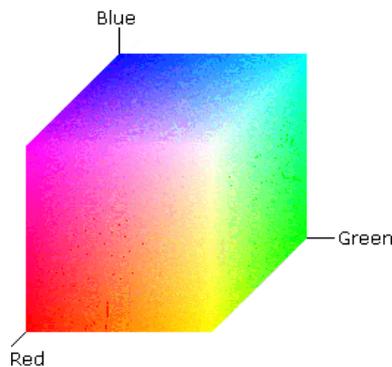
Um pixel é a menor unidade que compõe uma imagem digital. Cada pixel tem sua posição endereçada em uma imagem, com cada um representando um valor de cor. A partir do espaço de cor que estiver inserido (DICTIONARY,). Assim, segundo Freitas (2022), tem-se que uma resolução de uma imagem é definida pela quantidade de pixels na altura e na largura, e logo,

quanto maior a quantidade de pixel, maior a resolução.

3.3.2 Espaço de Cores

O espaço de cores tem como objetivo definir um padrão para representação das cores, definidas pelos pixels da imagem. O espaço de cores RGB (do inglês *red, green, blue*) é caracterizado por um sistema de coordenadas em três dimensões. Assim, as cores nesse espaço são definidas por um sistema de coordenadas, em que cada ponto do sistema considerado representa uma cor (FREITAS, 2022). O espaço em si, tem um formato de um cubo de lado R, comprimento G e altura B, representando, respectivamente, os eixos vermelho para o R, verde para o G e azul para o B (MIGUEL J. D.; RUFINO, 2000). Nesse sistema, cada pixel é composto pela combinação dos três canais de cores (R,G,B). Os valores dos pixels nesse sistema são definidos de 0-255, com 0 sendo a inexistência daquele canal na cor final, e 255 que na combinação final aquele canal vai estar totalmente presente na mistura (FREITAS, 2022). Na Figura 6 é apresentada uma amostra do sistema de coordenadas do espaço de cores RGB.

Figura 6 – Sistema de coordenadas do RGB.

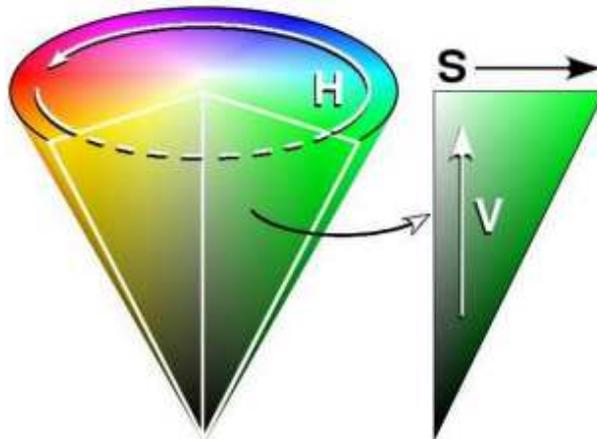


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Outro sistema de cor, é o HSV, que é um modelo de espaço de cor definido, também, por três componentes: *hue* (matiz), *saturation* (saturação) e *value* (valor). No espaço HSV, o *hue* define a cor predominante, sendo que os valores do pixel estão no intervalo 0-360. Esse espaço corresponde a um círculo, indo desde o vermelho até o magenta. O *saturation* define a pureza daquela cor e o *value* define o brilho da mesma, ou seja, ambas vão de 0-100, em que quanto maior o valor do *saturation* menos cinza é a imagem, e no *value*, quanto maior mais misturado com o branco a cor se torna. Vale fazer uma ressalva de que esses valores são para a teoria do HSV, mas em sua implementação o *Hue* tem valor de 0-180, e o *Saturation* e *Value* tem valores

de 0-255. Na Figura 7 é mostrado um exemplo do sistema de cores HSV.

Figura 7 – Sistema de coordenadas do HSV.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3.3.3 Segmentação por Limiarização

A segmentação de objetos ou regiões é um método extremamente útil em processamento de imagem, pois é uma forma de destacar um objeto de interesse em uma imagem digital. Uma das formas existentes para destacamento de objetos de interesse em imagens digitais é a segmentação. Uma das formas mais simples e conhecidas para segmentar uma região de interesse em uma imagem é a da limiarização. Neste método é escolhido um valor de limiar, que será usado como ponto de partida para a criação de novas imagens que satisfaçam aquele valor (STOCKMAN; SHAPIRO, 2001).

O método da limiarização agrupa pixels em duas ou mais classes. Esse agrupamento se dá a partir dos valores desses pixels, que podem mudar conforme a sua iluminação (JÚNIOR *et al.*, 2003). Tendo isso em vista, a seguir é explicado conceitos utilizados para a realização de segmentação das cores em imagens termográficas. Essa segmentação é necessária para que se possa estabelecer uma relação entre as cores da imagem e a temperatura do objeto que forneceu a imagem termográfica.

3.3.3.1 Limiarização

De acordo com MOURA (2018) a limiarização funciona da seguinte forma: caso a imagem esteja na escala cinza, é definido uma constante T , que será utilizada como valor do limiar, onde, esse limiar é comparado com o valor de cada pixel da imagem original, para buscar a criação de uma nova imagem. Porém, essa nova imagem é formada somente por valores

preto e branco, segundo os valores daquele pixel. Para entender melhor, considere o valor de T como 200, e que a imagem original está na escala de cinza, ou seja, cada pixel tem valor de 0 a 255. Com isso, é feita uma varredura na imagem, buscando cada pixel da imagem e fazendo a verificação se o valor daquele pixel (que vai de 0 a 255) é menor ou igual, ou maior, que o valor do limiar estabelecido. Assim, caso seja maior, o valor do pixel da nova imagem, na mesma posição do pixel que foi comparado da original recebe branco (ou valor 1), caso contrário recebe o preto (valor 0). Caso a imagem seja colorida, e esteja no sistema RGB, o limiar é composto por três coordenadas, uma para cada cor desse espaço.

3.3.3.2 Máscaras

Quando se busca realizar transformações ou alterações em uma imagem, são realizadas alterações em seus valores de pixels. Uma forma comum para tal é o uso de máscaras. Com isso, o conceito de máscara pode ser definido da seguinte forma: máscaras são imagens criadas a partir de uma imagem original, onde cada pixel é considerado como "ligado" ou "desligado", conforme ele pertence ou não a região do objeto segmentado na imagem. Deste modo, a nova imagem que contém a máscara possui somente pixels pretos ou brancos, conforme estes pertencem ou não a zona que descreve o objeto na imagem (JÚNIOR *et al.*, 2003). Com isso, com o uso de máscaras é possível fazer um destacamento claro de objetos ou áreas de interesse da imagem original, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Imagem original segmentada a cor vermelha à esquerda e à direita a sua máscara.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com as informações apresentadas sobre máscaras, limiarização e espaço de cores, é possível entender como deve ocorrer a segmentação na proposta de uma ferramenta projetada para facilitar a tarefa de separação de cores em imagens termográficas, a fim de associá-las a temperaturas.

4 METODOLOGIA

Neste Capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a criação da ferramenta de segmentação e visualização das segmentações de imagens termográficas. O capítulo é dividido em duas partes, sendo a primeira contemplando uma lista de requisitos funcionais e uma descrição de como tais funcionalidades devem estar presentes na ferramenta. Em seguida é apresentado o passo a passo para construção das funcionalidades neossárias para o software proposto.

4.1 Definição da ferramenta

Como mostrado anteriormente, o uso de imagens termográficas para detecção de anomalias em materiais é bastante frequente. Para a análise de tais imagens termográficas, um dos pontos importantes é o entendimento das cores da imagem. Pois, é a partir das cores que as análises são realizadas. Ou seja, a partir dos seus relacionamentos com as temperaturas aferidas pelo equipamento. Assim, consequentemente, informações desejadas sobre anomalias podem ser detectadas no material analisado.

Com isso, surge a necessidade de tratamento desse tipo de imagens, para consequentemente poderem ser feitas análises concretas nestes materiais. Para possibilitar um melhor enfoque nas cores que representam as temperaturas nas imagens, pode ser realizada uma segmentação das cores nas imagens termográficas analisadas. Com isso, é possível analisar cada cor da imagem, de forma individual.

Tendo essas necessidades em vista, uma forma encontrada para resolvê-las é com a criação de uma ferramenta de segmentação de cores e visualização de tais cores em imagens separadas, que é a ferramenta abordada nesta pesquisa. Com isso, a ferramenta deve funcionar apresentando três telas distintas para o usuário, com funcionalidades diferentes para cada uma.

Na primeira tela o usuário pode utilizar a ferramenta para realizar a segmentação das imagens em faixas de valores de cores. Mais precisamente, no espaço de cores RGB ou HSV. Também pode armazenar as informações sobre os limiares de cores em dicionários específicos, para a uso na ferramenta.

Na segunda tela o usuário pode relacionar as temperaturas máximas e mínimas, fornecidas pela leitura do equipamento termográfico, nas imagens termográficas. Assim, pode ser gerada uma lista de imagens e suas respectivas temperaturas, assim como realizar o recorte da área de interesse nas imagens analisadas.

Na terceira tela é onde é feita a relação entre as cores segmentadas, definidas na primeira tela, e suas respectivas temperaturas máximas e mínimas. Nesta tela a cor segmentada (ou cor separada em uma nova imagem, denominada máscara de cor) é associada a uma temperatura, que deve estar entre as temperaturas máximas e mínimas informadas na segunda tela. Com isto, é possível obter uma visualização de cada cor segmentada, com suas respectivas temperaturas. Isso vai permitir a realização de análises das relações entre cores e temperaturas, com o propósito de localizar anomalias dentro do elemento do qual a imagem foi capturada.

4.2 Lista de Requisitos Funcionais

Segundo BEZERRA (2015), é por meio do levantamento de requisitos que o desenvolvedor do software vai compreender melhor o problema a ser resolvido, fazer com que seja descrito corretamente e sem ambiguidades as necessidades dos futuros usuários do sistema. Com isso, foram levantando os seguintes requisitos funcionais, que servem para compreender a estrutura e quais funcionalidades a ferramenta necessita, que são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de Requisitos

Requisitos	Descrição
RF-001	A ferramenta deve permitir que o usuário possa carregar uma ou mais imagens por vez.
RF-002	A ferramenta deve permitir, que caso seja carregada mais de uma imagem, possa transitar por essas imagens livremente.
RF-003	A ferramenta deve permitir ao usuário carregar um JSON que quiser, contendo dentro dele a estrutura de dicionário de cores da ferramenta.
RF-004	A ferramenta deve permitir ao usuário criar seu próprio JSON com a estrutura de dicionário de cores.
RF-005	A ferramenta deve permitir ao usuário definir os intervalos máximos e mínimos dos valores do pixel em um espaço de cor para uma determinada cor, escolhida por ele.
RF-006	A ferramenta deve permitir ao usuário adicionar novas cores e seus intervalos máximos e mínimos dos valores do pixel para aquele espaço de cor.
RF-007	A ferramenta deve permitir ao usuário alterar os intervalos máximos e mínimos dos valores do pixel daquele espaço de cor de uma cor já presente no JSON carregado.
RF-008	A ferramenta, durante a segmentação, deverá mostrar em tempo real a imagem gerada pelos intervalos máximos e mínimos, daquele espaço de cor, selecionados.
RF-009	A ferramenta, durante a segmentação, deverá mostrar em tempo real, quando dois ou mais intervalos máximos e mínimos de uma cor estiver sobrescrevendo a área de outra imagem gerada por outra cor.
RF-010	A ferramenta deve permitir ao usuário criar seu próprio JSON que guardará o nome da imagem e sua respectiva temperatura máxima e mínima, obtidas durante a medição das temperaturas.
RF-011	A ferramenta deve permitir ao usuário adicionar novos valores máximos e mínimos de temperaturas ao JSON que conterà as temperaturas máximas e mínimas de cada imagem.
RF-012	A ferramenta deve permitir ao usuário alterar valores máximos e mínimos de temperaturas já presentes no JSON que conterà as temperaturas máximas e mínimas de cada imagem.
RF-013	A ferramenta deve mostrar ao usuário, todas as imagens criadas da segmentação da imagem original, a partir das cores do JSON de cores, e suas respectivas temperaturas pelo JSON de temperaturas.
RF-014	A ferramenta deve guardar a informação da cor de cada pixel, a partir da determinação dos valores de temperatura de cada cor na imagem, e gerar um gráfico 3D das temperaturas de todos os pixels na imagem.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

4.3 Diagramas de Casos de Uso

Modelos de casos de uso ele servem para representar funcionalidades observáveis no sistema, assim como a representação dos elementos externos que interagem com ele (BEZERRA, 2015). O Modelos de Casos de Uso (MCU) se mostra importante, pois ajuda a direcionar os passos posteriores para o desenvolvimento do software, assim como força os desenvolvedores a moldar o sistema conforme as necessidades do usuário.

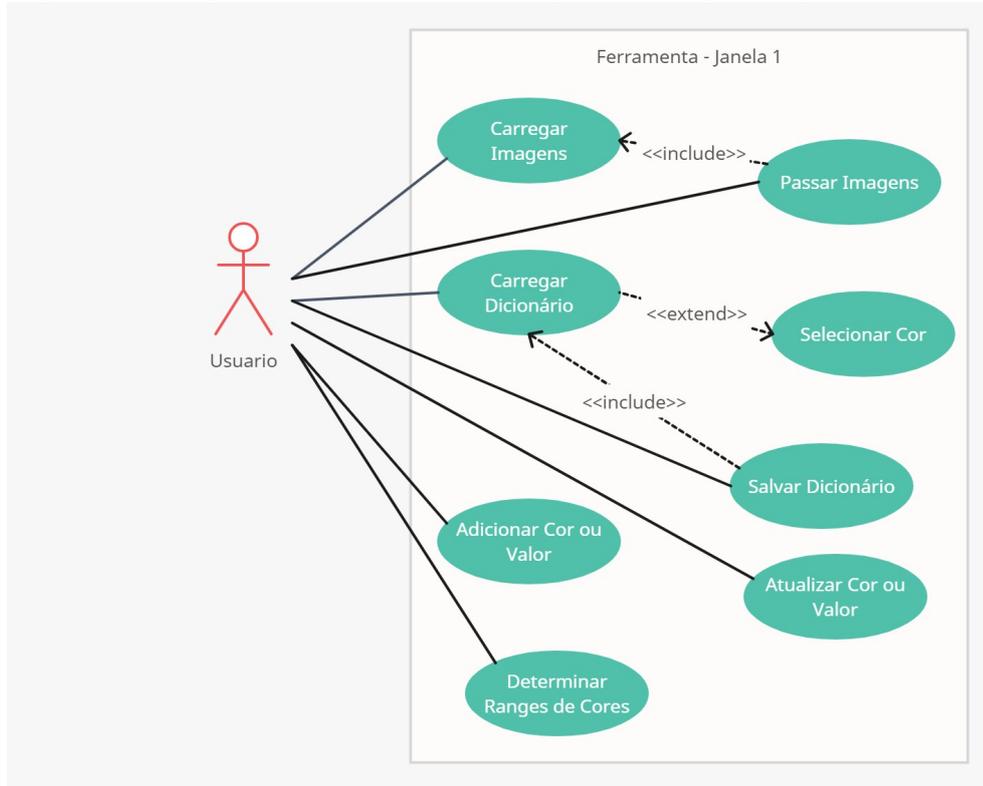
Segundo BEZERRA (2015), no MCU temos a perspectiva textual, que corresponde às descrições dos casos de uso, atores e o relacionamento entre eles, e para a perspectiva gráfica temos o diagrama de casos de uso.

Segundo ainda BEZERRA (2015), o DCU é um dos diagramas da Linguagem de Modelagem Unificada (UML) que representa graficamente uma visão externa e de alto nível do sistema, com os elementos como atores, casos de uso e relacionamento, graficamente demonstrados. O DCU visa fazer uma ilustração em alto nível de todas as interações dos elementos externos (atores) com as funcionalidades do sistema.

A seguir serão apresentados os diagramas de casos de uso referentes a cada uma das 3 janelas que estarão presentes na ferramenta.

Na Figura 9 temos o DCU da janela responsável pelas funções de segmentação das cores da imagem termográfica, a partir de intervalos de valores dos pixels nos espaços de cores determinados.

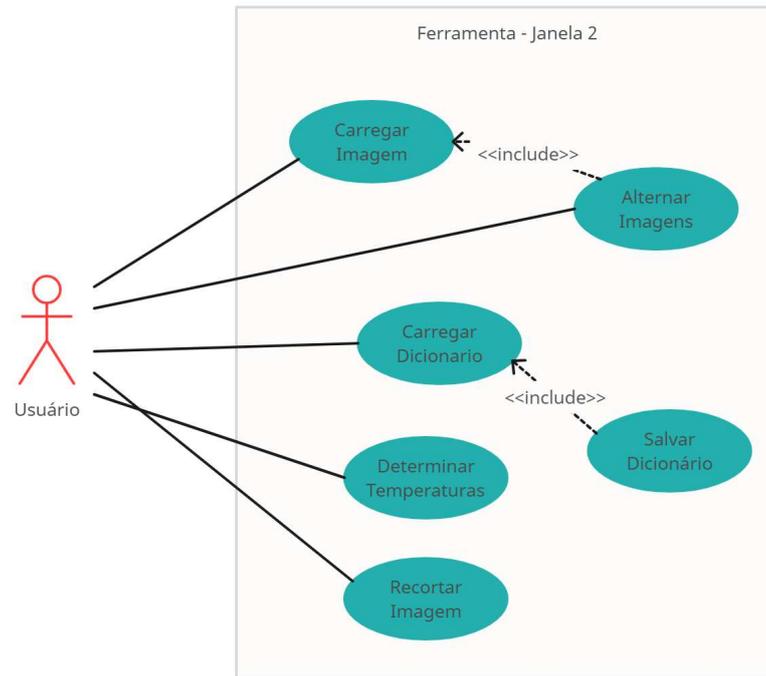
Figura 9 – Diagrama de Casos de Uso da janela de segmentação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Figura 10 temos o DCU da janela responsável pela criação do arquivo que conterà os nomes das fotos com suas respectivas temperaturas máximas e mínimas determinadas durante a aquisição da imagem pela câmera termográfica, assim como recorte da área de interesse da imagem termográfica.

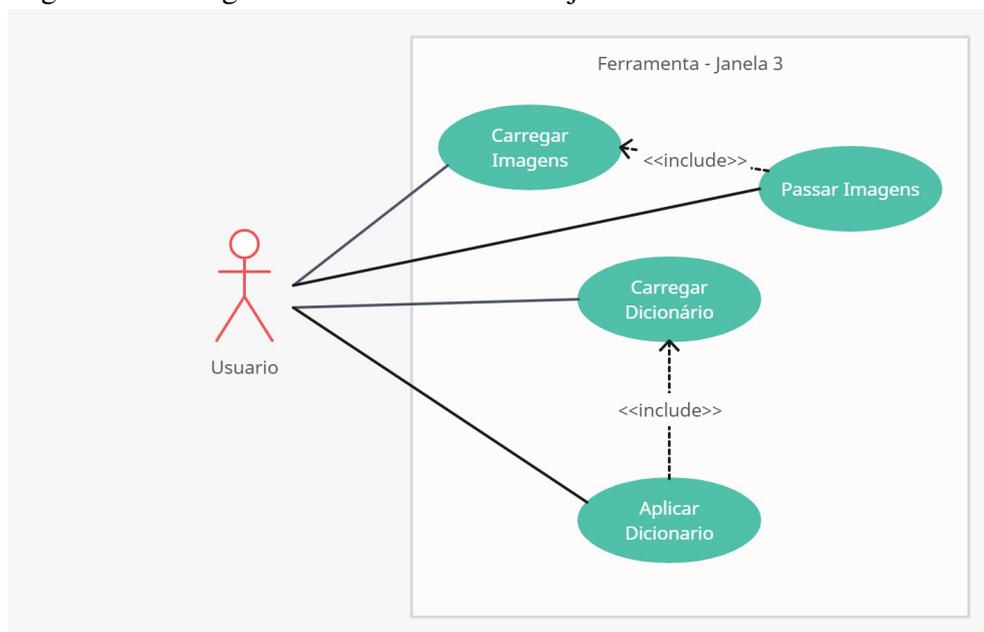
Figura 10 – Diagrama de Casos de Uso da janela de Temperaturas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Figura 11 temos o DCU da janela responsável pela visualização da imagem segmentada a partir dos intervalos de cores determinados no arquivo criado pela janela 1, e, com cada imagem tendo uma cor relacionada a uma temperatura, que estará entre os valores máximos e mínimos, determinados para aquela imagem.

Figura 11 – Diagrama de Casos de Uso da janela de Análises.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.4 Ferramentas Utilizadas

Aqui são abordadas as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta que deve auxiliar a análise de imagens termográficas, em problemas de investigação de avarias no interior de materiais.

4.4.1 Realização da segmentação

Um dos objetivos aqui é a segmentação das cores de uma imagem termográfica, e a forma como isso se dá é por meio da limiarização dos valores de cada pixel, dependendo do espaço de cor adotado. Aqui, é utilizada a função *inRange*, presente na biblioteca *OpenCV* na aplicação desses limiares para imagens no espaço de cor HSV, e uma função própria para o espaço de cor RGB.

Essa função trabalha no espaço de cor HSV, e tem como parâmetros a imagem de entrada, um intervalo inferior de valores, um intervalo superior de valores, e o seu retorno é uma máscara somente que terá branco nas posições em que o valor do pixel se encontra entre os valores dos intervalos inferiores e superiores, e preto para o resto. Para uma melhor compreensão de como essa segmentação irá ocorrer, vamos considerar que os intervalos são compostos por 3 valores (X,Y,Z), onde X representa um valor de *hue*, Y um valor de *saturation* e Z um valor de *value*. Com isso, digamos, que defino que entre os intervalos mínimo (0,150,50) e máximo (25,255,255) temos a representação da cor laranja, ou seja, cada pixel que tiver seu valor no HSV entre os intervalos mínimo e máximo, será considerado laranja, e sua posição será considerada válida para a máscara, sendo criado na máscara, naquela posição, um pixel de valor branco. E, ao fazer isso para pixel da imagem, conseguimos fazer a segmentação da imagem termográfica, em várias cores definidas pelo usuário, onde tais cores serão representadas pelos intervalos definidos pelo mesmo. Ao fim, faz-se uma multiplicação da máscara com a original, e obtemos a imagem somente com a cor desejada. Na Figura 13 temos a segmentação da cor laranja da imagem original na Figura 12.

Da mesma forma fazer isso também no espaço de cores RGB, porém, nele, os valores dos pixels são diferentes, e como dito, cada pixel tem 3 valores, sendo R,G e B ambos de 0-255. Com isso, novamente inferindo um intervalo inferior de (0,0,0) e máximo de (255,255,40) para a cor laranja, temos na Figura 14 a imagem segmentada em RGB da imagem original.

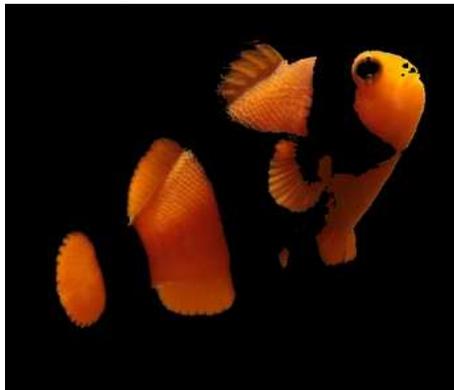
Para criação da ferramenta é utilizado como linguagem de programação *Python*,

Figura 12 – Imagem original a ser segmentada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 13 – Imagem segmentada na cor laranja em HSV.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 14 – Imagem segmentada na cor laranja em RGB.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

versão 3.11.2. Para a criação da interface gráfica é utilizado a biblioteca *TKinter*, que é uma ferramenta bem difundida para criação de interfaces gráficas, pois tem características de portabilidade e extremamente documentada, pode ser acessada em *python.com*. E por fim, para tratamento e alteração das imagens é utilizado a biblioteca *OpenCV* e *PIL*, onde ambas são muito difundidas no mundo da visão computacional, pois são bibliotecas livres para uso acadêmico e comercial,

com documentação rica, que são suficientes para os problemas a serem resolvidos.

4.4.2 Associação de Cores e Temperaturas

Com os arquivos gerados anteriormente, a ferramenta deve realizar a segmentação da imagem, com todas as cores do espaço HSV existentes nos arquivos, e fazer uma correlação dessas cores com as temperaturas, sendo que a partir das temperaturas máximas e mínimas, são determinados os intervalos de temperaturas para cada cor. Com isso, é estabelecida a relação do valor do pixel para sua temperatura final.

Para melhor entendimento, seja o seguinte caso: uma imagem termográfica tem presente, as cores verde, azul, laranja e vermelho. O que a ferramenta deve fazer é usar o arquivo com as cores, e a partir de seus intervalos, fazer a segmentação dessas cores, criando imagens segmentadas, ou seja, que só conterão um tipo de cor. Após isso, com base nas temperaturas máximas e mínimas, será atribuída uma temperatura aquela cor, com cores mais frias (verde e azul) recebendo valores menores de temperatura do que cores mais quentes (laranja e vermelho).

Vale ressaltar que quem define quais são as cores quentes e frias é a própria câmera termográfica, a ferramenta só vai buscar replicá-la durante a segmentação.

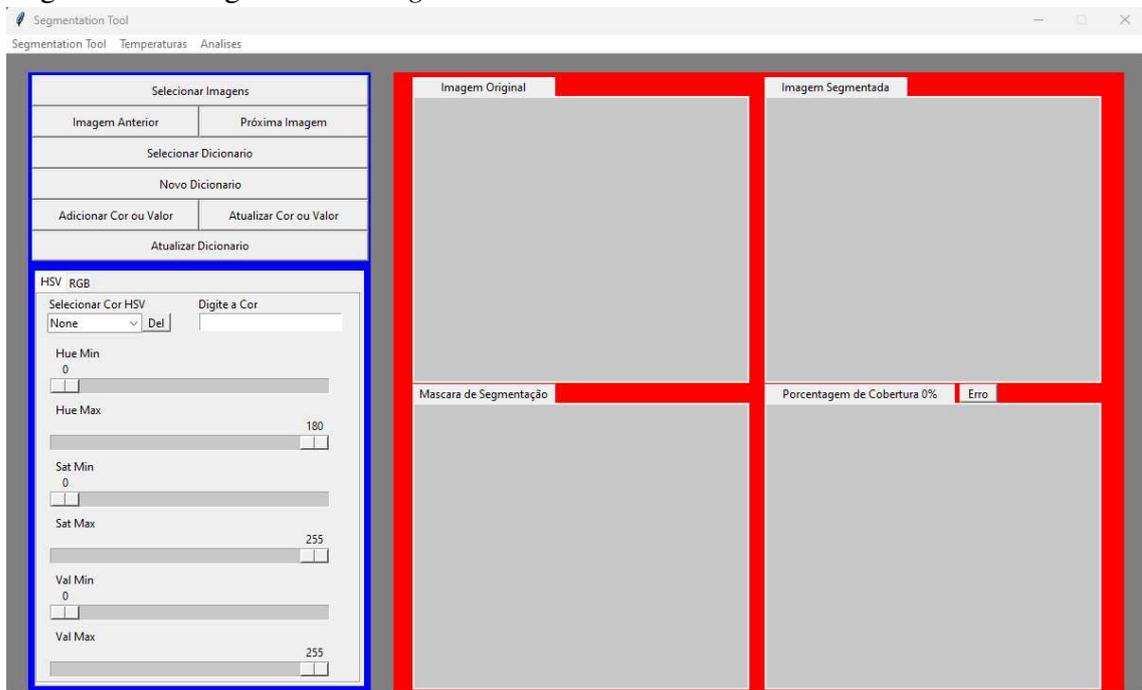
5 RESULTADOS

Neste Capítulo é apresentado a ferramenta de segmentação desenvolvida. O processo de criação da mesma foi feito com o objetivo de seguir toda a metodologia apresentada no Capítulo anterior sobre transformações que podemos realizar nas imagens termográficas para obter informações valiosas delas.

A mesma foi feita completamente em Python, com as imagens termográficas utilizadas sendo disponibilizadas pelo Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB) e tanto a motivação de sua criação, como os seus testes e melhorias foram feitos para sanar os problemas abordados durante o estágio obrigatório realizado pelo autor do TCC.

A ferramenta está dividida em 3 segmentos principais: primeiro referente a tela *Segmentation Tool*, onde tem-se a seção de definição dos valores para segmentação das imagens, como apresenta a Figura 15.

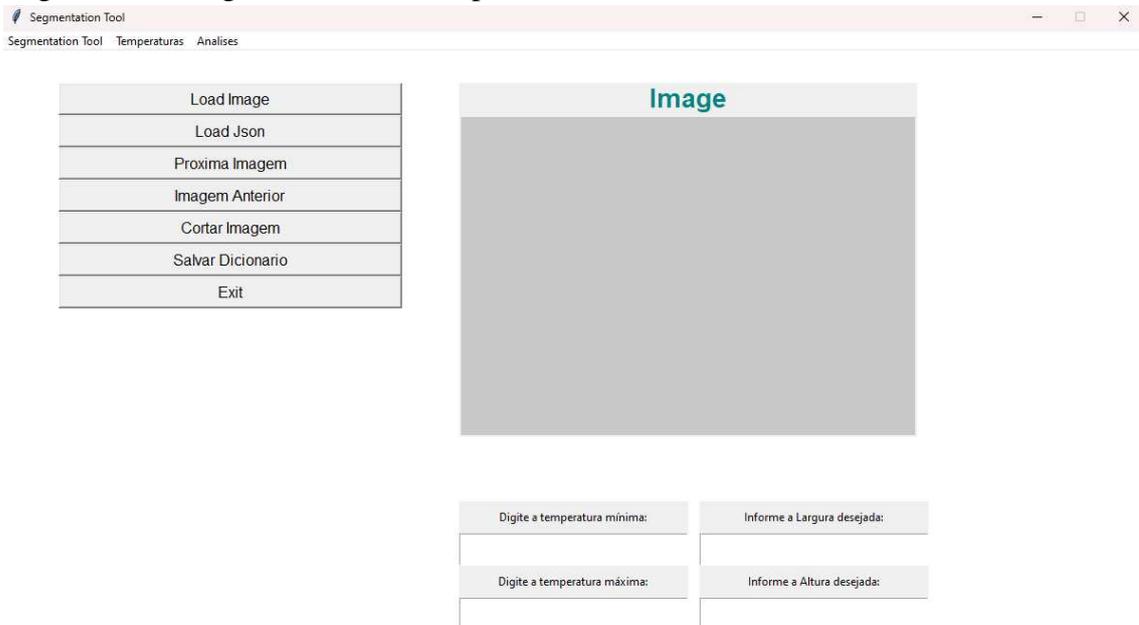
Figura 15 – Imagem da tela *Segmentation Tool*.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A segunda parte referente a tela *Temperaturas*, onde se tem a seção na qual o usuário pode guardar as informações sobre temperaturas disponibilizadas nas imagens termográficas, além de realizar o recorte da área de interesse a ser estudada, como apresenta a Figura 16.

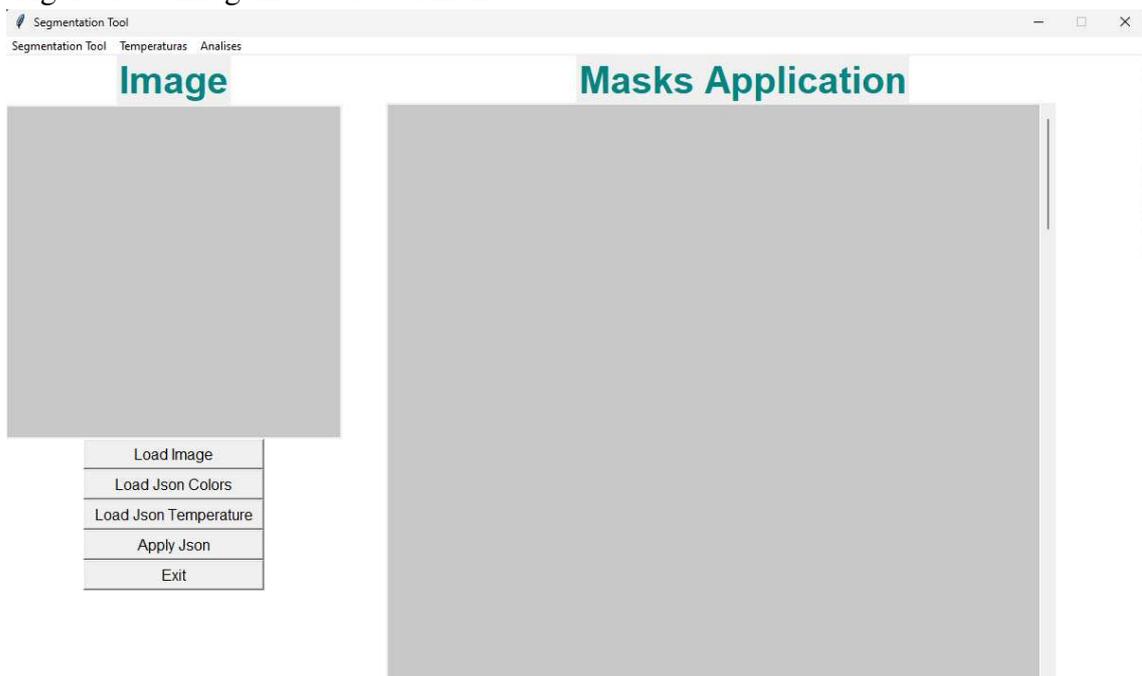
Figura 16 – Imagem da tela de Temperaturas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

E por fim, na terceira na tela, a de *Análises* tem-se a seção de análise da imagem termográfica, que é uma junção das funcionalidades anteriores, onde a imagem selecionada pelo usuário é segmentada e aplicada uma temperatura para a mesma automaticamente, como apresenta a Figura 17.

Figura 17 – Imagem da tela de Análises.



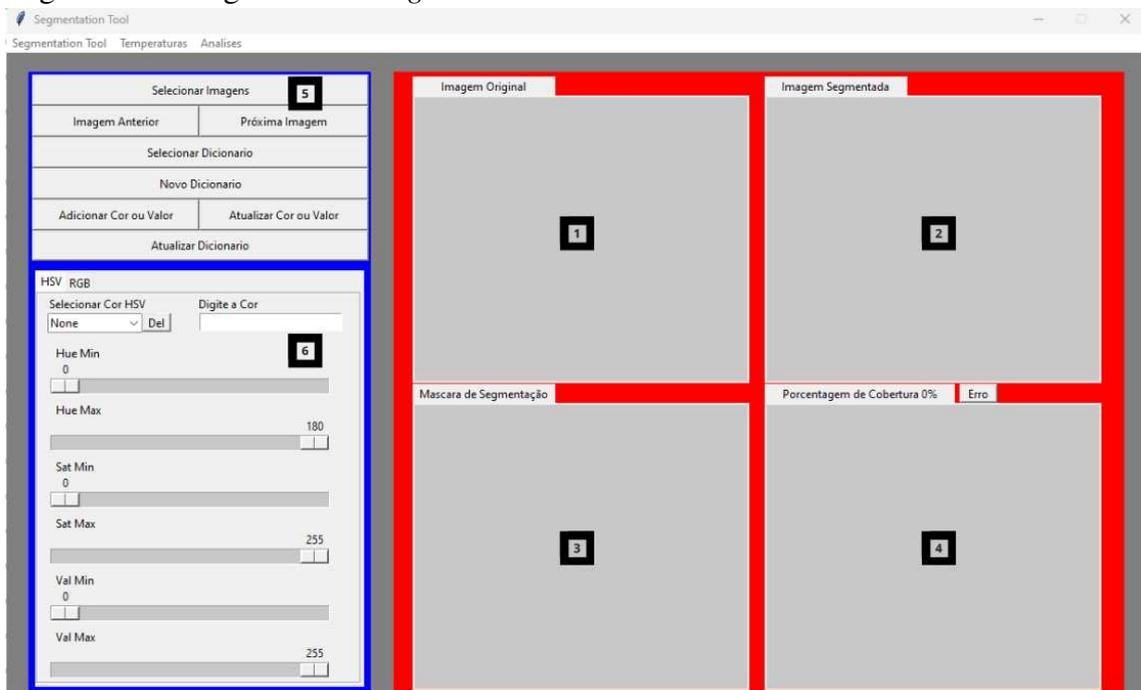
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com isso, são apresentadas a seguir detalhadamente as tela em funcionamento, assim como os resultados obtidos por elas.

5.1 Definição de valores para segmentação

Esta seção é focada na tela *Segmentation Tool*. Nesta é onde o usuário poderá selecionar uma ou mais imagens, e utilizá-las como guia para definição dos intervalos de cores desejados, como explicado na Seção 3.3.3. Para uma melhor visualização, temos a Figura 18, que conterà nela seções de 1 a 6, que servem de ajuda na descrição das funcionalidades.

Figura 18 – Imagem da tela *Segmentation Tool* enumerada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Usando de referência a Figura 18, é iniciado com as funcionalidades dos botões presentes nas áreas 5 e 6.

Durante o período de construção da ferramenta, foi observado que o volume de imagens que são trabalhadas durante essas análises de imagens termográficas são em grande quantidade, assim como a quantidade de cores possíveis que estas imagens podem carregar.

Com isso em vista, o programa foi criado para poder trabalhar com grande quantidade de imagens, assim ele permite o usuário carregar quantas imagens desejar por meio do botão "Selecionar Imagens" e transitar livremente pelas imagens, pelos botões "Imagem Anterior" e "Próxima Imagem", que ao já ter algum intervalo de cor carregado no programa, dará em tempo

real a segmentação daquela cor sobre a imagem determinada nas telas a direita, como será informado a frente.

O programa também permite carregar um dicionário já existente sobre cores e seus intervalos, presente no botão "Selecionar Dicionário", tanto no espaço HSV quanto no espaço RGB. Porém, caso não tenha nenhum dicionário com tais informações, o programa cria um novo arquivo com conterà um dicionário vazio pelo usuário, através do botão "Novo Dicionário". Ao ter carregado ou criado um dicionário com as informações, usuário irá salvar os intervalos definidos pelo mesmo com o botão "Adicionar Cor ou Valor", para uma cor já existente, ou para uma nova cor, assim como atualizar valores de intervalos já existentes com o botão "Atualizar Cor ou Valor", ou excluí-los do seu dicionário com o botão "Del", presente na área 6.

A seguir tem-se duas funcionalidades cruciais para a agilidade e praticidade da utilização da ferramenta pelo usuário. A primeira, como apresentado nas Figuras 19 e 20, se tem a caixa de seleção das cores para HSV e RGB.

Figura 19 – Caixa de seleção de cores e seus intervalos, em HSV, pre-definidos nos dicionários.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 20 – Caixa de seleção de cores e seus intervalos, em RGB, pre-definidos nos dicionários.

The image shows a software interface for selecting and defining color intervals in RGB. At the top, there are two tabs: 'HSV' and 'RGB', with 'RGB' being the active tab. Below the tabs, there are two main sections: 'Selecionar Cor RGB' and 'Digite a Cor'. In the 'Selecionar Cor RGB' section, a dropdown menu is open, showing 'Vermelho 0' as the selected option, with 'None' and 'Vermelho 0' as other visible options. A 'Del' button is located to the right of the dropdown. Below the dropdown, there are several sliders for defining color intervals. The 'Red Max' slider is set to 255. The 'Green Min' slider is set to 0, and the 'Green Max' slider is set to 135. The 'Blue Min' slider is set to 0, and the 'Blue Max' slider is set to 94. The 'Digite a Cor' section contains an empty text input field.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Essas caixas contêm as cores que já existem nos dicionários, e que serão adicionadas automaticamente nessa caixa ao usuário inserir uma nova cor no dicionário, ou ao carregar um dicionário que já contenha elas.

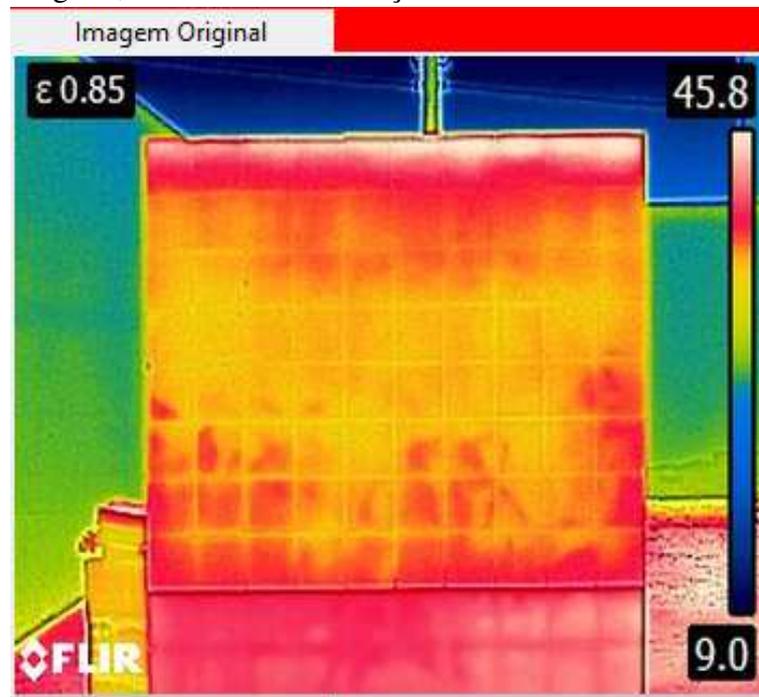
Essa função se tornou importante, pois como mostrado nas Figuras 19 e 20, ela separa todos os intervalos guardados pelo usuário na forma: "Nome da Cor" + "Índice". Isto serve para caso o usuário tenha definido 2 intervalos diferentes para uma única cor, como, por exemplo, no vermelho no HSV, pode ser definido como o intervalo (120,100,100) até (180,100,100), assim como no intervalo (0,100,100) até (10,100,100). Com isso, é possível o usuário verificar minuciosamente cada intervalo que deseja guardar, pois, por meio dela será possível analisar a imagem resultante da segmentação de cada intervalo de cor.

Tem-se também que ao usuário selecionar qualquer uma dessas cores, seu intervalo será automaticamente colocado nas barras abaixo, que são barras deslizantes, que representam respectivamente o limite inferior do HSV, respectivamente com as barras "Hue Min", "Sat Min" e

"Val Min", e o limite superior do HSV, respectivamente com as barras "Hue Max", "Sat Max" e "Val Max". O mesmo vale para o RGB, que conterà os limites inferiores do RGB, respectivamente com as barras "Red Min", "Green Min" e "Blue Min", e o limite superior do RGB, respectivamente com as barras "Red Max", "Green Max" e "Blue Max", como mostrado nas imagens 19 e 20, respectivamente.

Com isso, tem-se enfim a utilização desses valores para a segmentação que ocorre nas áreas 1 - 4. Na tela da área 1 tem-se a imagem termográfica original para que o usuário possa se guiar, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Janela de mostragem da imagem termográfica original, sem nenhuma alteração.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com a imagem carregada, ela é usada como base para determinar os intervalos de segmentação de cores desejado pelo usuário. Como dito anteriormente, a ferramenta guarda as informações fornecidas pelo usuário nas barras laterais que informam o (*Hue Min*, *Saturation Min*, *Value Min*), que é o limite inferior do intervalo desejado para uma certa cor, e o (*Hue Max*, *Saturation Max*, *Value Max*) para o limite superior do intervalo desejado para a mesma cor. E com esses valores informados, acontece a segmentação apresentada nas imagens 22 e 23, referentes respectivamente às áreas 2 e 3 da imagem 18.

Figura 22 – Janela de amostragem da imagem original segmentada para um intervalo no vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 23 – Janela de amostragem da máscara binária da segmentação criada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

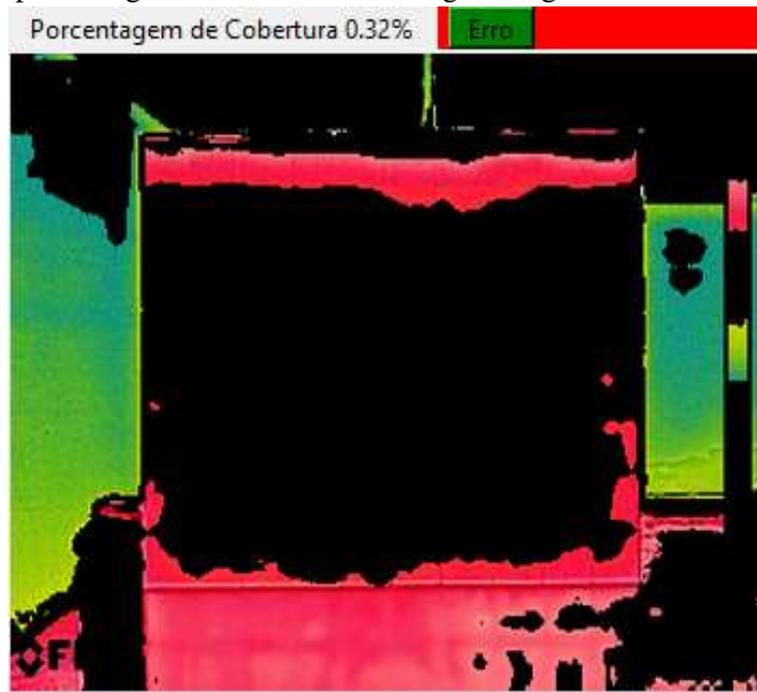
Explicando melhor o que cada uma faz, se tem que na imagem 22 uma imagem criada a partir da segmentação da imagem original a partir dos intervalos: (120,100,100) para

o limite inferior e (180,255,255) para limite superior, ou seja, a imagem criada será formada pelos pixels da imagem original que estejam com seus valores, entre o limite inferior e superior informado anteriormente. Logo, como está sendo verificado em HSV, os pixels que tem seu valor *Hue* entre 120 e 180, *Saturation* entre 100 e 255 e *Value* entre 100 e 255, serão utilizados para criação da nova imagem, e os pixels que não se encaixarem nesse valor, serão determinados como preto, de valor (0,0,0).

A mesma ideia vale para a imagem 23, onde ela irá verificar se o pixel está dentro do intervalo definido para a cor, porém, aqui estamos trabalhando com uma imagem que só tem 0 e 1, logo, os pixels que ficaram entre os limites determinados terão valor 1, e caso contrário, terão valor 0. E com isso teremos a máscara da imagem segmentada, que nos serve para realizar a análise de sobreposição de cores, que será informado a seguir.

Essa imagem binarizada tem o intuito de mostrar totalmente o que foi selecionado, pois gera um contraste muito maior, assim possibilitando o usuário perceber locais que foram segmentados, sendo que na imagem de segmentação a cor do pixel e o fundo preto ficam muito parecidos, assim dificultado de observar que o local foi também segmentado corretamente. A outra função da máscara de segmentação binária é para a determinação da imagem de porcentagem de cobertura, que é a Figura 24, na área 4.

Figura 24 – Janela de amostragem da imagem referente a porcentagem de cobertura da imagem original.

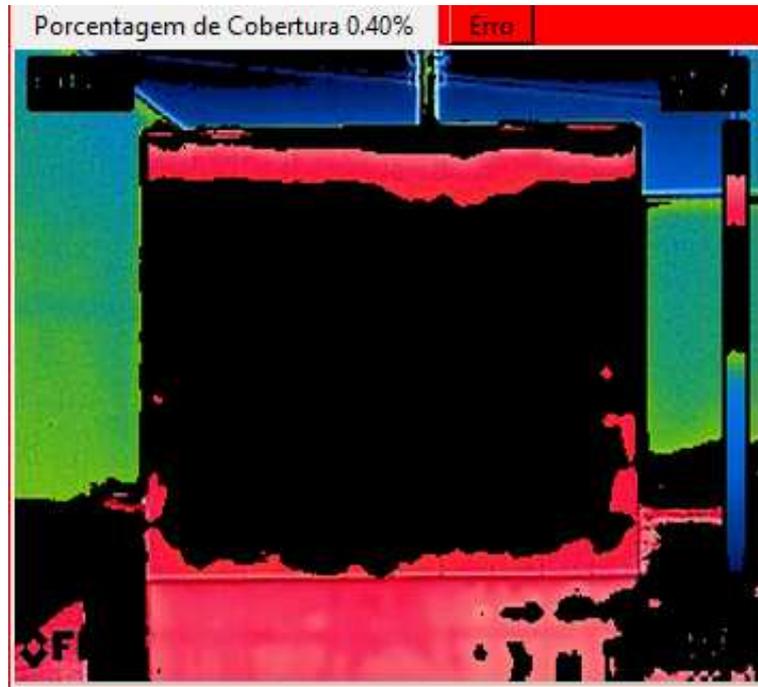


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Figura da porcentagem de cobertura, no caso a imagem 24, traz duas funcionalidades importantes para o usuário: primeiramente ela informa ao usuário o quanto da imagem original os intervalos de cores que ele já definiu, já cobriu a imagem. Ou seja, uma cobertura de 0.5% indica que, os intervalos superiores e inferiores de todas as cores determinados pelo menos, englobam 50% dos valores dos pixels presentes na imagem, logo, com os valores de cores já definidos, o usuário consegue determinar a cor de 50% dos pixels da imagem desejada. Essa funcionalidade se torna importante, pois consegue indicar ao usuário em tempo real o quanto falta ainda para o mesmo selecionar de intervalos de cores, ou novas cores, para que todos os pixels da imagem do mesmo possa ser completamente segmentada.

A segunda funcionalidade importante é o ícone ao lado da porcentagem, o ícone de "erro". Ele é uma funcionalidade que informa em tempo real ao usuário caso ele informe duas ou mais cores com intervalos de valores que irão se sobrepor, ou seja, irão criar uma segmentação em que um pixel será definido como duas ou mais cores, o que não pode acontecer jamais. O fato de um pixel poder ter somente uma cor se dá, pois as cores serão relacionadas a temperaturas em forma numérica, logo, caso um pixel possua mais de uma cor, ele poderá receber mais de um valor de temperatura, o que não é possível, pois cada pixel em uma imagem termográfica representa especificamente uma única cor. O funcionamento desse ícone ocorre da seguinte forma: ele sempre terá duas cores possíveis, o verde, como representa na imagem 24, que informa que não existe nenhum problema nos intervalos de cores selecionados, e o vermelho, como representa na imagem 25, que indica ao usuário que os intervalos de cores definidos pelo mesmo contem o problema de um mesmo pixel estar sendo designado para duas ou mais cores diferentes.

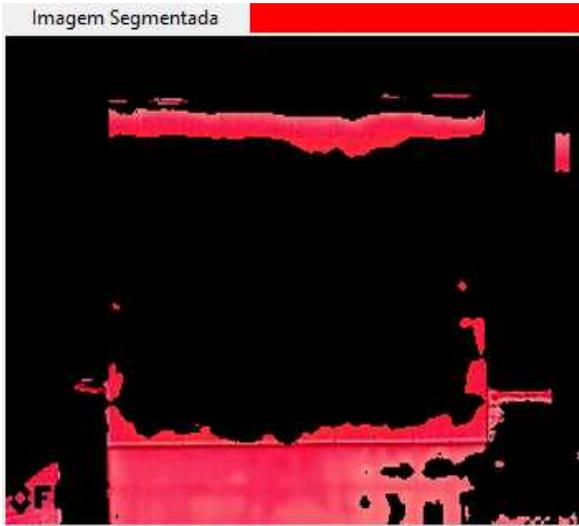
Figura 25 – Janela de amostragem da imagem referente a porcentagem de cobertura da imagem original, com um erro sendo informado.



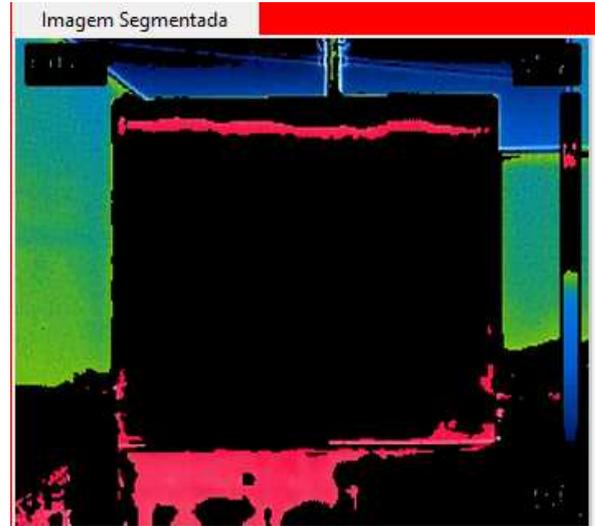
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A situação onde existe este tipo é mostrado nas Figuras a seguir, onde na Figura 26 (a) tem-se uma segmentação da cor vermelho, e na Figura 26 (b) existe uma segmentação da cor verde, porém, que propositalmente tem um intervalo fora somente do verde para abranger mais cores, e assim englobar nela também um pouco de vermelho. O intuito disto é para que no final essas duas cores tenham propositalmente pixels com mais de uma cor definida, e assim, o ícone de erro se torne vermelho, como apresentado na Figura 26 (c).

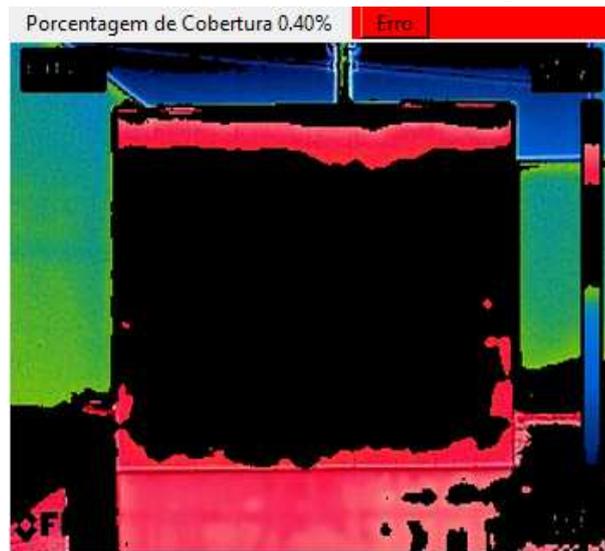
Figura 26 – Apresentação proposital de um erro de sobreposição de intervalo de cores sendo apresentado.



(a) Janela de amostragem da imagem original segmentada para um intervalo no vermelho.



(b) Janela de amostragem da imagem original segmentada para um intervalo no verde.

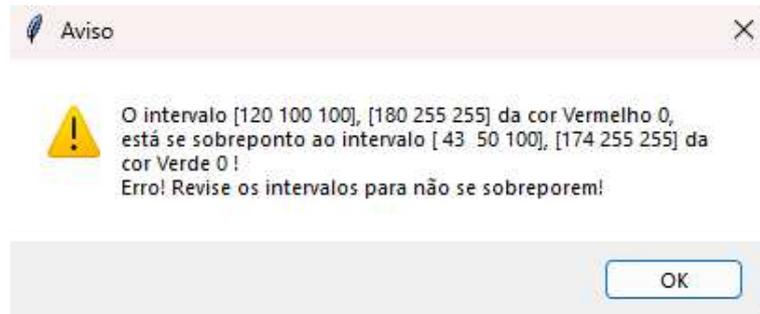


(c) Janela de amostragem da imagem referente a porcentagem de cobertura da imagem original, com um erro sendo informado.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Por fim, caso o usuário deseje, o mesmo pode clicar em cima do ícone de erro, que caso esteja vermelho, será apresentado para ele informações úteis para informar qual foi o erro. No caso, informa quais são as cores, com seus intervalos, que estão gerando tal problema, assim permitindo ao usuário mais facilmente fazer a correção, ao invés que ir manualmente procurar a segmentação de cada intervalo e fazer uma comparação entre elas, para determinar onde está o erro. Tal informação da situação descrita anterior é informada na Figura 27.

Figura 27 – Informação sobre o erro encontrado nos intervalos das cores.

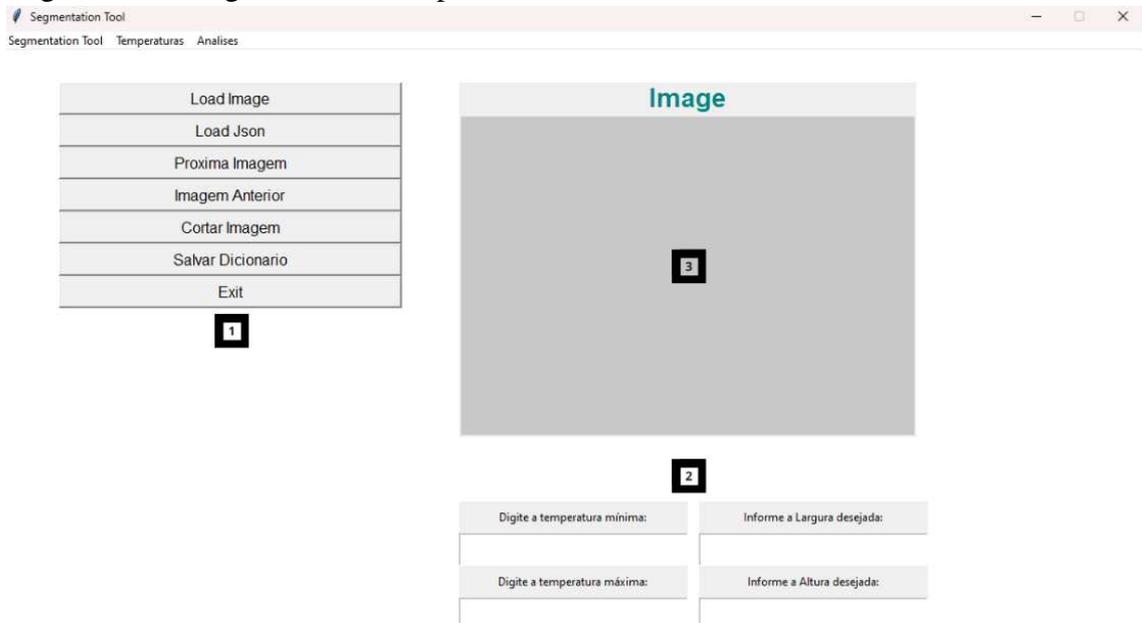


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

5.2 Definição do dicionário de temperaturas

Essa seção será focada na tela de *Temperaturas*. Nesta tela é onde o usuário pode selecionar as imagens termográficas, e guardar suas temperaturas. Nela é possível também fazer o recorte da área de interesse da imagem original, assim como sua padronização no recorte. Para uma melhor visualização, tem-se a Figura 28, que contém nela seções de 1 a 3, que servem de ajuda para a descrição das funcionalidades.

Figura 28 – Imagem da tela Temperaturas enumerada.



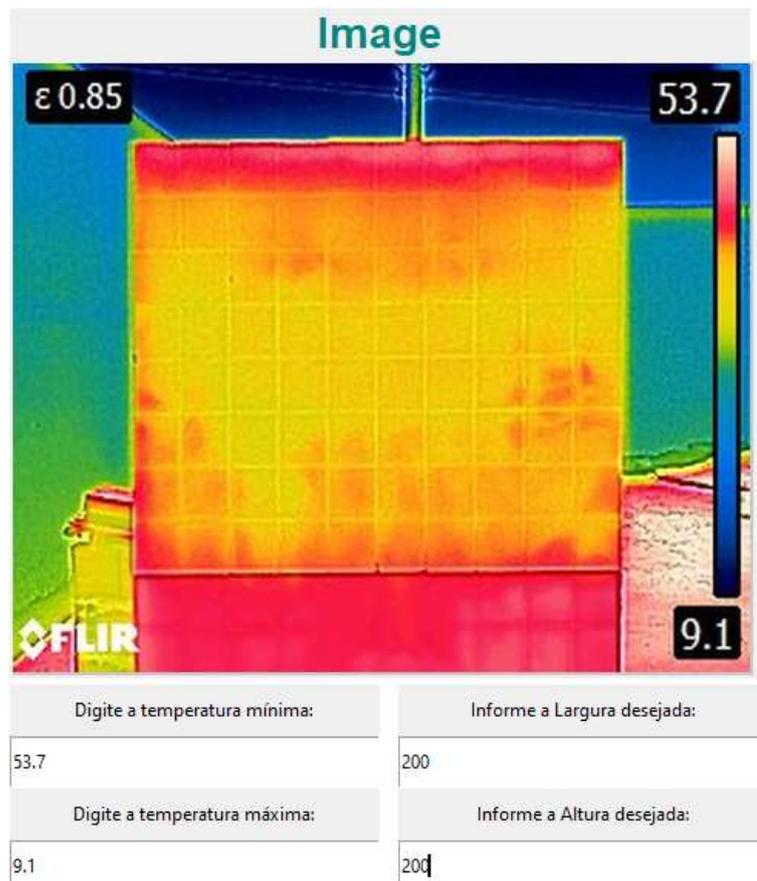
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A partir da Figura 28, é iniciado pelas funcionalidades dos botões presentes na área 1. Para a criação foi mantida inicialmente a mesma lógica usada na tela *Segmentation Tool*, onde o usuário pode carregar uma ou mais imagens simultaneamente com o botão "*Load Image*", e

transitar livremente entre essas imagens com os botões "Proxima Imagem" e "Imagem Anterior". Um ponto importante é que como na tela anterior, as informações definidas pelo usuário são salvas em dicionários, que são salvos em arquivos ".JSON" de forma local no próprio computador do usuário. Assim, é necessário o usuário fazer o carregamento de um dicionário para poder fazer o salvamento das informações no mesmo.

Com isso, é possível o carregamento da imagem termográfica original na área 3, e por meio dela, pode retirar as temperaturas máximas e mínimas presente na imagem original, e transpô-las para os campos de entrada de temperaturas máximas e mínimas, respectivamente, presente na imagem 29.

Figura 29 – Imagem Termográfica e suas temperaturas máxima e mínimas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com isso, o usuário pode salvar em um dicionário os valores originais das temperaturas máximas e mínimas das imagens termográficas originais, assim como salvar a qual imagem aqueles valores pertencem. Todo esse processo é necessário, pois como visto na Figura 29, as imagens termográfica vão cobrir bem mais do que somente a nossa área desejada.

Nesta Figura 29 de referência, foi feito uma medição de uma parede argamassada com placas cerâmicas 10x10 as cobrindo. Porém, na imagem existe informações também completamente desnecessárias, como chão, céu, muro, o que faz com que seja necessário fazer o recorte da nossa área de interesse, a área que realmente deseja realizar análises. E por causa disto que se deve realizar o recorte dessas imagens, em novas imagens somente com os locais que serão realmente utilizados, porém, na prática, isso se mostra algo bem complicado, pois a posição das imagens tendem a mudar.

Para exemplificar tal problema, tem-se as Figuras 30 e 31, que representam imagens termográficas retiradas em horários diferentes do dia, e tal inclinação se torna bem evidente com as linhas pretas colocadas propositalmente sobre as mesmas, como referência. Nelas é possível ver uma inclinação diferentes entre ambas, fazendo com que ao selecionar uma área de interesse, essa área será representada de forma diferente em cada imagem, pois cada área de interesse seria retirada de um local ligeiramente diferente de ambas as fotos, pelo fato de estarem com inclinações diferentes. Ter essas áreas de interesse representadas de formas diferentes, com ângulos diferentes, e até com tamanhos diferentes, caso a distancia da câmera até o objeto tenha sido modificado, não é correto para futuras análises, pois será necessário depois fazer um processamento para alinhar as áreas de interesse caso se queira, por exemplo, fazer uma análise temporal das temperaturas, que é algo comum para a descoberta de fraturas ou anomalias no objeto de estudo.

Figura 30 – Imagem Termográfica batida as 17h e com inclinação perceptível.

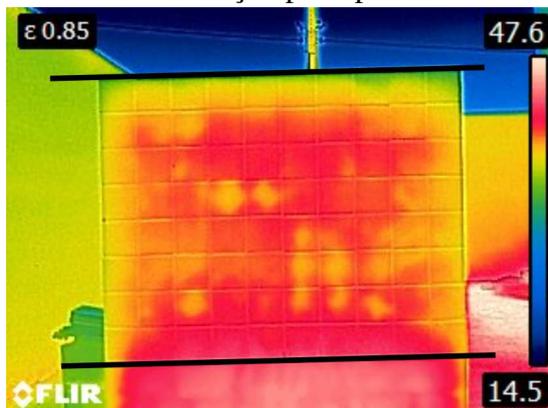
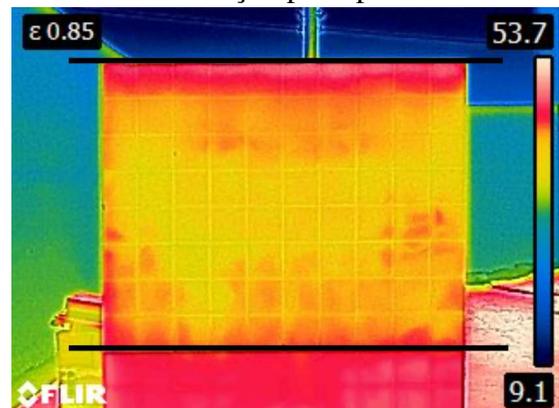


Figura 31 – Imagem Termográfica batida as 10h e sem inclinação perceptível.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para correção de tal problema, existe a funcionalidade do botão "Cortar Imagem". Ao clicar nele é aberta uma nova tela, representado na Figura 32, na qual é possível agora, sobre

a imagem original, o usuário escolher 4 pontos que são utilizados para delimitar o espaço que será recortado, como mostrado na Figura 33.

Figura 32 – Imagem da tela para recorte da imagem termográfica.

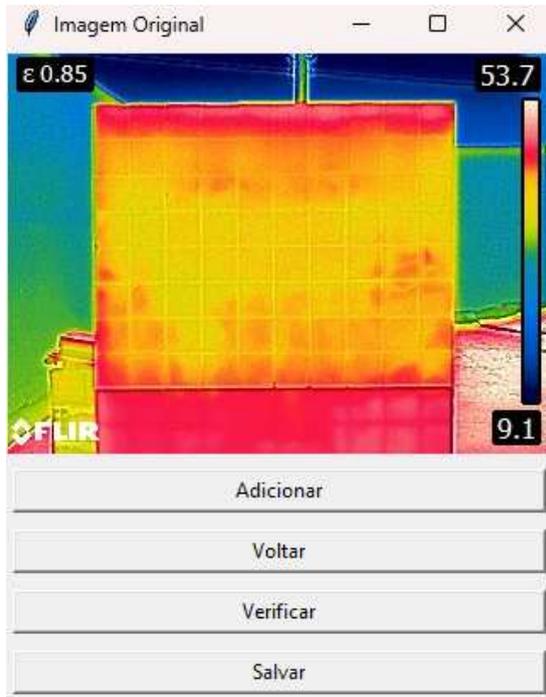
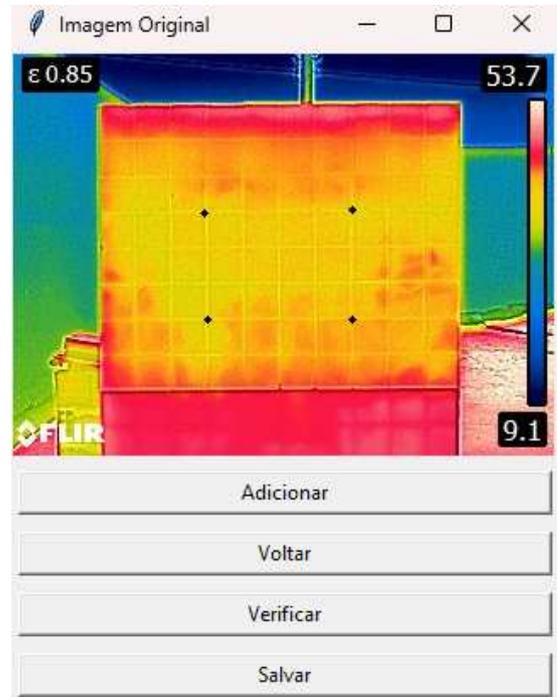


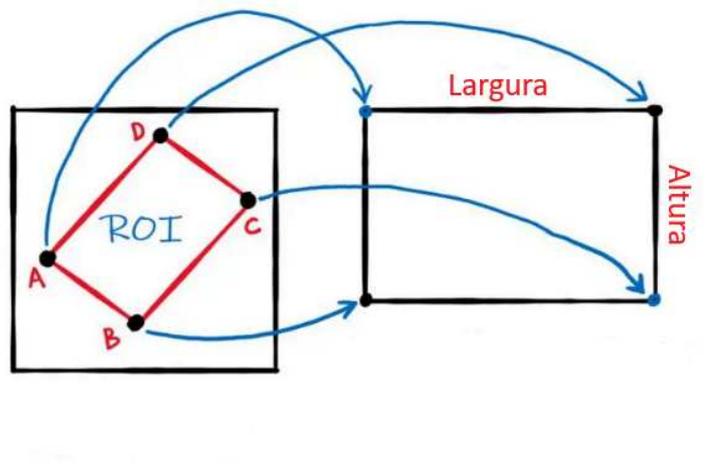
Figura 33 – Imagem da tela para recorte da imagem termográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A ideia central desse recorte é fazer uso dos 4 pontos para determinar a área interna aos mesmos, e assim, criar uma nova imagem. Essa nova imagem conterá os valores da área demarcada, porém, com as transformações desejadas como escala, rotação, translação ou cisalhamento, representando assim uma transformação de perspectiva. Com essa transformação é possível transformar a área anterior, que poderia ter tamanho ou forma aleatório, em uma imagem uniforme, como mostrado no exemplo da Figura 34.

Figura 34 – Exemplo de uma transformação de perspectiva.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Assim, com essa transformação, tem-se agora uma imagem uniforme, que conterà dentro de uma área definida os valores da área anterior de tamanhos não uniformes. Aqui também é uniformizado o tamanho da imagem final gerada, onde esse valores são definidos nos campos de entrada de valores de Largura e Altura, como mostrado na Figura 29. Com isso definido, então pode visualizar a imagem final, na Figura 35.

Figura 35 – Exemplo de uma transformação de perspectiva.



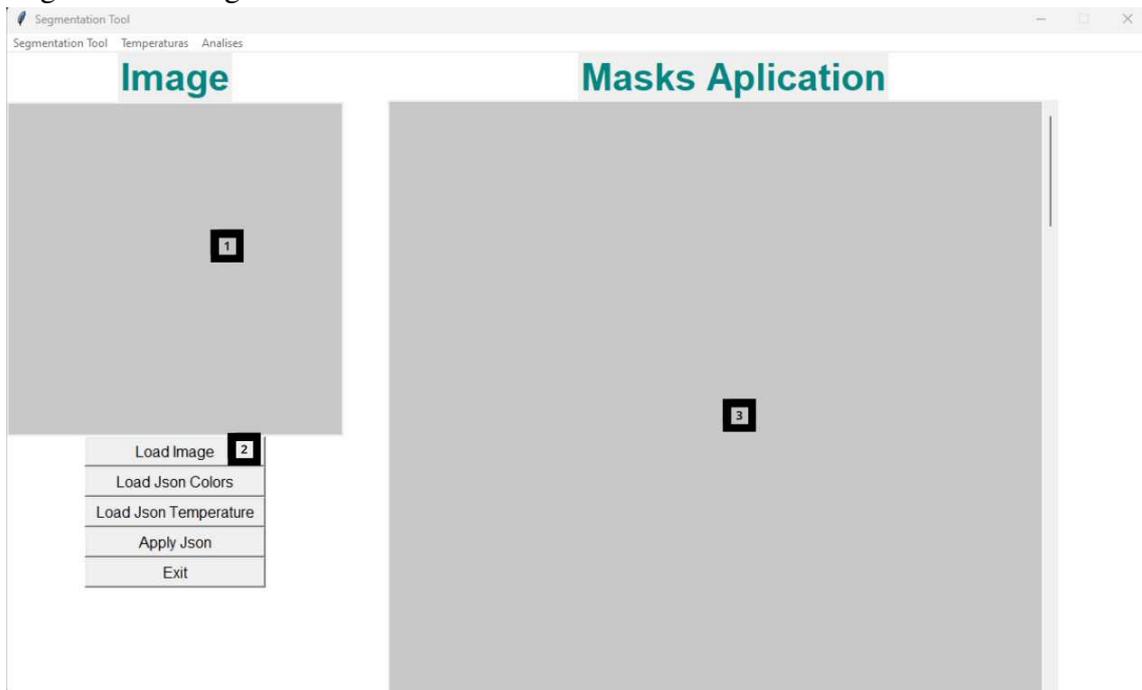
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com isso, tem-se no fim os valores máximos e mínimos daquela respectiva imagem termográfica, mesmo tendo feito a alteração da imagem para uma imagem final padronizada.

5.3 Segmentação da cores e atribuição de temperaturas

Por fim, tem a janela *Análises*, responsável por fazer a ligação entre a segmentação pelos intervalos de cores, e as temperaturas para essas cores. Como feito anteriormente, tem-se a Figura 36, que contém as áreas 1 a 3, para melhor exemplificação das funcionalidades.

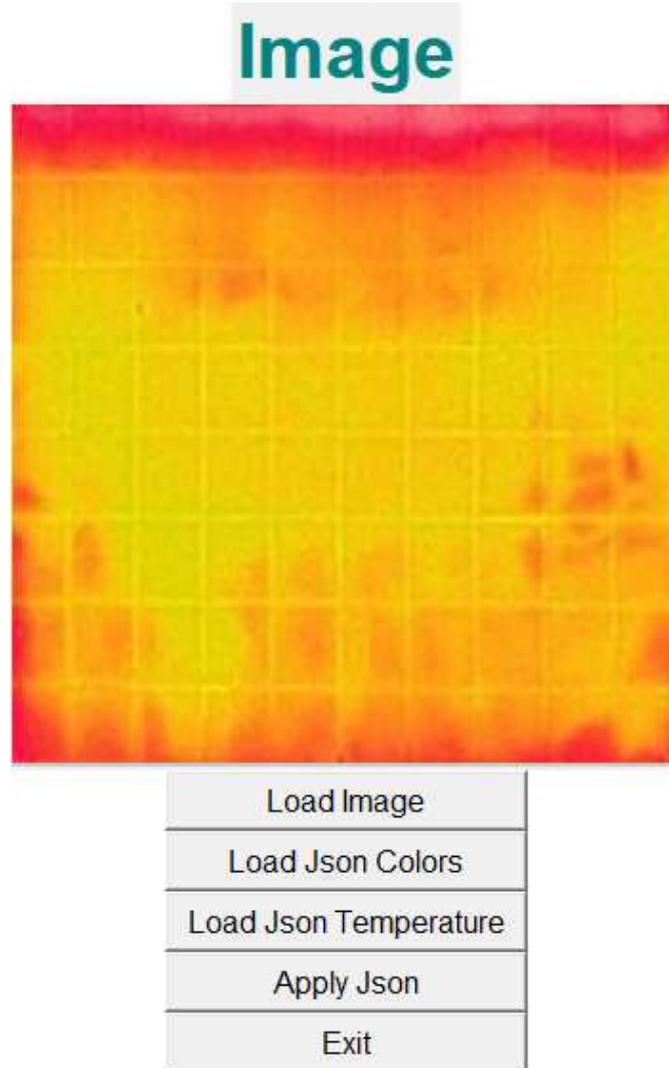
Figura 36 – Imagem da tela Analises enumerada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Aqui pode carregar uma imagem termográfica, que tem seus pixels segmentados pelos valores dos intervalos de cores determinados na primeira tela, e seus pixels terão temperaturas associados a eles, a partir do dicionario de temperaturas da segunda tela. Dando inicio na área 2, no botão "*Load Image*" ocorre o carregamento da imagem não segmentada desejada na área 1. Obrigatoriamente deve-se carregar nos botões "*Load Json Colors*" e "*Load Json Temperature*", os respectivos dicionários, que estão em arquivos *.JSON*, que como dito foram criados na primeira tela, a *Segmentation Tool* com todos os intervalos de valores de cores, e na segunda tela, a *Temperaturas* com os valores de temperaturas máximas e mínimas de cada imagem, como mostrado na Figura 37.

Figura 37 – Imagem termográfica uniforme a ser tratada.



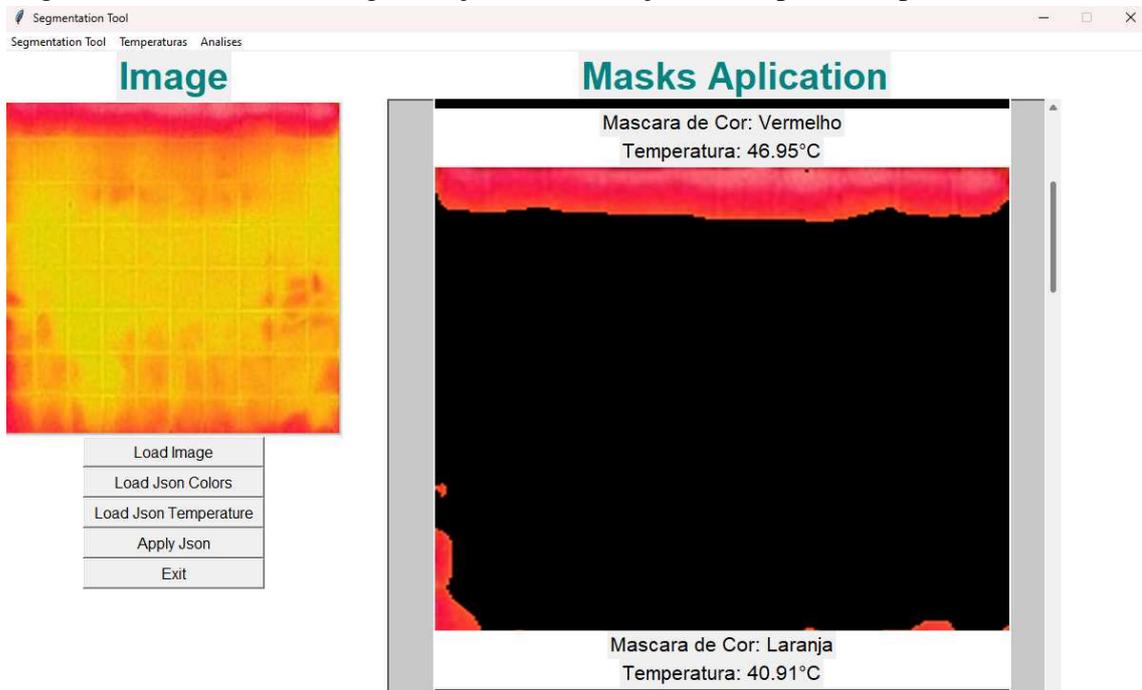
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Assim ao carregar a imagem, é carregado sua respectivas temperatura máxima e mínima no arquivo criado na janela de Temperaturas, e a imagem será submetida a segmentação para cada cor definida no dicionário de intervalo de cores no arquivo criado na janela de Segmentação. Agora é feito a definição das temperaturas das cores segmentadas, que ocorrerá da seguinte forma: é pego a quantidade de cores definidas no dicionário de cores, e é feito uma divisão do espaço entre a temperatura máxima e mínima pela quantidade de cores, logo, com cada cor ficando com um intervalo de temperatura. Ou seja, caso a temperatura máxima seja 30 graus Celsius e a mínima 10 graus Celsius, e tenhamos 4 cores, temos então 4 intervalos de

temperaturas, com as cores mais frias iniciando pela temperatura mínima, logo, a cor mais fria terá o intervalo 10-15 graus, a próxima terá o intervalo 16-20 graus, a próxima terá de 21-25, e por fim a mais quente terá a temperatura 26-30 graus. Vale ressaltar que a determinação das cores mais frias para mais quentes foram feitas de forma experimental, por análise das imagens termográficas da *FLIR* disponibilizadas.

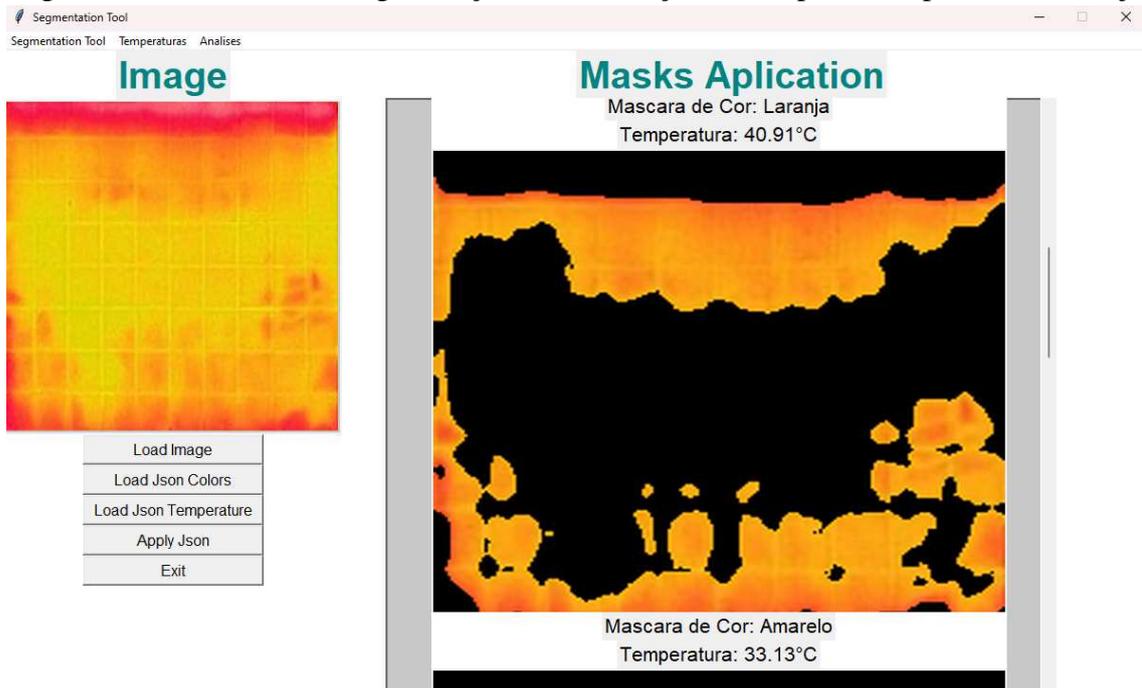
Com essa divisão feita, agora para cada cor, é feito a segmentação da imagem, ou seja, cada cor gera uma imagem com somente pixels que estão dentro de seus intervalos mínimos e máximos de valores. Com isso, é feito à atribuição de um valor de temperatura a cada pixel, por meio de uma regressão linear, no qual será pego o valor do *Hue* do pixel, e será determinado qual temperatura ele tem a partir do intervalo de temperatura daquela cor. Ou seja, o valor do *Hue* do limite superior daquela cor terá a temperatura máxima do intervalo de temperatura calculado anteriormente para esta cor, e o valor do *Hue* do limite inferior daquela cor terá a temperatura mínima. Após este processo, é possível determinar a temperatura de cada pixel daquela cor, e em seguida é feito uma média das temperaturas dos pixels daquela cor para ser apresentado para o usuário, como representado nas Figuras abaixo:

Figura 38 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor vermelha.



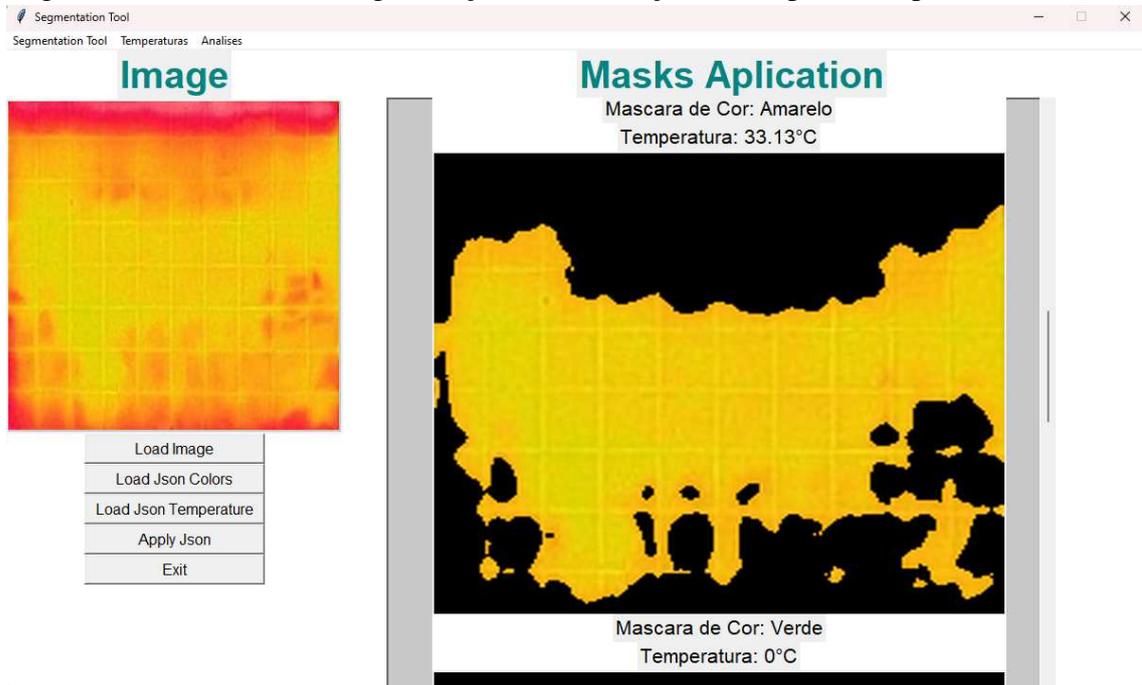
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 39 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor laranja.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 40 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas para a cor amarela.

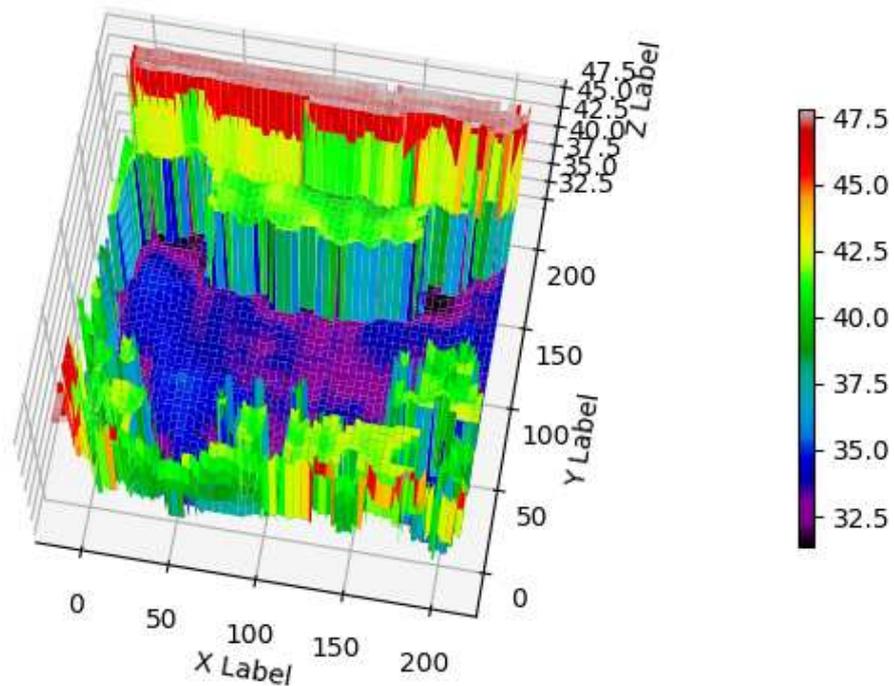


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Por fim, é criado também um gráfico 3D de representação da temperatura em toda a imagem, como mostrado na Figura 41.

Figura 41 – Resultado da segmentação com definição de temperaturas em 3D.

Grafico 3D das Temperaturas em °C



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Além da inspeção visual, é criado também um novo arquivo *.JSON* com uma matriz que representa todas as temperaturas de cada pixel da imagem.

Temos que ressaltar que a forma de atribuição de valores de temperatura só foi realizado em valores do HSV, pois não foi possível encontrar uma representação boa o suficiente da distribuição de temperatura em valores do RGB. Com isto, para valores RGB, é mostrado somente a parte visual, com a segmentação completo da imagem em todos os intervalos do RGB, porém, sem determinação de suas temperaturas exatas.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo apresenta um breve resumo dos resultados e de questões aprendidas acerca da criação da ferramenta apresentada neste trabalho.

6.1 Considerações finais

Este trabalho apresenta a criação de uma ferramenta para segmentação e determinação de temperaturas em imagens termográficas. Para tal a mesma foi dividida em três partes com finalidades bem específicas, que foram a determinação manual pelo usuário dos valores dos intervalos de cores em HSV e RGB e conseqüentemente a criação de seu arquivo *.JSON* contendo estes dados, que serão utilizadas para segmentar a imagem termográfica original.

Após isso foi feito o tratamento das imagens termográficas para recorte e padronização da área de interesse das imagens, assim como guardar as informações de temperatura das mesmas em arquivos *.JSON*, sendo que após o recorte elas seriam perdidas. E por fim foi feito uso dos arquivos criados na segmentação e no recorte, para segmentar a imagem de interesse em cores, determinar os valores de temperaturas para cada uma das cores, e conseqüentemente determinar as temperaturas de cada pixel, assim mapeando a temperatura de toda a imagem, e a mostrar tando de forma visual, com as máscaras das cores e imagem 3D, quanto na criação de um *.JSON* com todas as temperaturas da imagem completa.

Com este trabalho foi possível de forma prática realizar a determinação dos valores de temperaturas, de intervalos no espaço de cor HSV, de pixels de uma imagem termográfica. Algo que é de extrema necessidade para futuras análises mais abrangentes sobre as imagens, e sobre possíveis problemas que elas podem apresentar, pois para tal, o primeiro passo é a busca das temperaturas de todos os pixels.

Próximos passos que podem advir deste trabalho, é a implementação de mais pré-processamentos de imagens termográficas, como limpeza de ruídos ou retiradas de reflexos na captação da imagem, para tornar a ferramenta mais robusta. Assim como determinação de uma transformada para determinação de temperaturas no espaço de cor RGB.

Com isto, este trabalho pode apresentar para o usuário uma forma prática e rápida para auxílio de preparação para análises em imagens termográficas de forma gratuita, e que permita ao mesmo obter informações necessárias para realizar suas próprias análises desejadas.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, E. **Princípios De Análise E Projeto De Sistemas Com Uml-3a Edição**. Elsevier Brasil, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/35326870/Principios_De_Analise_E_Projeto_Eduardo_Bezerra_pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- BRADSKI, G. The OpenCV Library. **Dr. Dobb's Journal of Software Tools**, 2000. Disponível em: <https://docs.opencv.org/4.x/index.html>.
- CLARK, A.; CONTRIBUTORS. **Pillow (PIL Fork) Documentation**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/index.html>.
- DICTIONARY, C. **ENGLISH MEANING - COLLINS DICTIONARY**. Pixel. Disponível em: [https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/pixel#:~:text=\(%CB%88p%C9%AAks%C9%99I%20\),Collins%20English%20Dictionary](https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/pixel#:~:text=(%CB%88p%C9%AAks%C9%99I%20),Collins%20English%20Dictionary). Acesso em: 24 jun. 2023.
- FOUNDATION, P. S. **Python Documentation - Tkinter**. [S. n.], 2022. Disponível em: <https://docs.python.org/3/library/tk.html>.
- FREITAS, D. C. d. Aferição da porosidade do clínquer: uma solução automática. 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67449>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- FREITAS, J. G. d.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído, Poroto Alegre**, SciELO Brasil, v. 14, n. 1, p. 57–73, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/zKXXQ4rXd5sWZz7n4dkjWnw/>. Acesso em: 03 jun. 2023.
- JÚNIOR, D. G. d. S.; PINTO, F. d. A. d. C.; GOMIDE, R. L.; TEIXEIRA, M. M. Avaliação de métodos automáticos de limiarização para imagens de plantas de milho atacadas por spodoptera frugiperda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 7, p. 359–366, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dVNHZ6v5NQhtNq6WcLQvTZR/?lang=pt>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- JUNIOR, E. D. X.; BORDA, A.; AURICH, M.; TORRES, A. da S. Técnicas visuoespaciais para a detecção de manifestações patológicas em fachadas argamassadas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e59711528810–e59711528810, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28810>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- LORENZI, A.; PEDRON, F.; CHIES, J.; REGINATO, L.; FÁVERO, R. B.; FILHO, L. C. S. Análise de postes de concreto utilizando tomografia ultrassônica. In: . [S. n.], 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Tomografo-A1040-MIRA_fig2_283796221. Acesso em: 28 jun. 2023.
- LORENZI, A.; REGINATO, L. A.; LORENZI, L. S.; FILHO, L. C. P. d. S. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. **Revista de engenharia civil IMED [recurso eletrônico]. Passo Fundo, RS. Vol. 3, n. 1 (jan./jun. 2016), p. 3-13**, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143976>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- MIGUEL J. D.; RUFINO, S. O sistema de cores em computação gráfica: Rgb - cmyk. **Simpósio de iniciação científica e tecnológica e IX EXPO EDIF**, 2000. Disponível em: <http://bt.fatecsp.br/system/articles/119/original/trabalho9.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MOURA, J. C. d. C. Técnicas de limiarização em imagens de retinografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, p. 16–17, 2018. Disponível em: <https://eb.ct.ufrn.br/wp-content/uploads/2019/03/J%C3%BAlio-Moura.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

Python Core Team. **Python: A dynamic, open source programming language**. [S. l.], 2019. Python version 3.7. Disponível em: <https://www.python.org/>.

SERIES, T. C. **Guidebook on non-destructive testing of concrete structures**. 2002. 1-3 p. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20305546>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SGS, E. T. Ensaios não destrutivos. o que é preciso saber? p. 2–6, 2018. Disponível em: <https://www.sgs.com/pt-br/-/media/SGSCorp/Documents/Corporate/White-Papers/SGS-IND-Non-Destructive-Testing-PT-Brazil.cdn.en.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SOUSA, J. S. Análise de patologias em paredes de concreto moldado in loco utilizando a termografia como ensaio não destrutivo. Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/handle/10869/4677>. Acesso em: 03 jun. 2023.

STOCKMAN, G.; SHAPIRO, L. G. **Computer Vision**. Prentice Hall PTR, 2001. Disponível em: https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/artificial_intelligence/Computer%20Vision%20-%20Linda%20Shapiro.pdf. Acesso em: 24 jun. 2023.

THERMASCAN. **Why Facility Companies Should Hire Trained Thermographic Surveyors**. 2023. <https://www.thermascan.co.uk/blog/2023/11/1/why-facility-companies-should-hire-trained-thermographic-surveyors>. 29 jun. 2023.