

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

CAUANE EMANUELA ANDRADE DOS SANTOS

**PROCESSAMENTO DE IMAGEM APLICADA A DETECÇÃO
DE MUDANÇA NO USO DA TERRA**

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Galende Marques de Carvalho

São José dos Campos
2021

SUMÁRIO

1	Introdução	3
1.1	Motivação	3
1.2	Definição do problema	4
1.3	Objetivos	5
2	Desenvolvimento	6
2.1	Fundamentação básica de PDI	6
2.1	Tecnologias Utilizadas	7
2.2	Descrição Geral das Operações do Sistema	7
2.2.1	Detalhamento	8
3	Resultados e Discussão	12
3.1	Resultados	13
3.2	Sugestões para trabalhos futuros	16

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2019, a humanidade utiliza mais de 70% da Terra sem gelo, e as atividades primárias, como agricultura, pecuária, extrativismo vegetal e mineral, são responsáveis por quase um quarto das emissões de gases de efeito estufa. Ainda, a utilização da superfície terrestre não coberta por gelo para fins de extração de madeira em florestas manejadas representa 20% do uso total. Dessa forma, é possível observar a influência do ser humano nas constantes mudanças no solo e o impacto socioeconômico.

As diversas formas de uso da terra e a crescente necessidade de melhoria da sua eficiência são respostas à evolução natural e às atividades do homem. A percepção dessas modificações na paisagem permite a compreensão do espaço como um sistema ambiental, físico e socioeconômico, com estruturação e dinâmica desses objetos.

Diversos estudos buscam caracterizar e descrever a relação entre o homem e o meio ambiente, os resultados desses trabalhos refletem um diagnóstico da paisagem e esquematizam o entendimento sobre essa causalidade, que se mostra um componente básico da própria existência humana. Como no trabalho “Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso”, Florenzano destaca que as tecnologias referentes ao Sensoriamento Remoto e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão cada vez mais interligadas e suas aplicações nos diferentes campos da ciência têm aumentado.

A utilização de dados geográficos, cada vez mais utilizado no setor comercial, consolida o uso dos Sistemas Geográficos como instrumento de apoio à tomada de decisão, mostrando-se urgente em frente as demandas sociais e geracionais.

Assim, destaca-se a importância dos SIGs no processo de monitoramento, processamento e análise dos dados espaciais e geográficos para controle de uso de solo, potencializando a redução dos impactos ambientais da utilização inadequada da superfície terrestre e auxílio na tomada de decisão. Fitz em “Geoprocessamento sem complicação” de 2008, classifica o SIG como sistema computacional, o qual integra dados com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados em um sistema de coordenadas.

No Sensoriamento Remoto, aplica-se técnicas de coleta de dados acerca de uma área de forma remota utilizando sensores. Sensores são sistemas optoeletrônico utilizados para gerar imagens ou outro tipo de informações sobre objetos distantes. Esses sistemas podem ser instalados em satélites artificiais, que orbitam em torno da Terra, e pela sua altitude permite que sejam obtidas imagens de grandes extensões da superfície terrestre de forma repetitiva e a um custo baixo.

Os satélites artificiais são plataformas estruturadas para suportar o funcionamento de diversos instrumentos e, por isso, são equipadas com sistemas de suprimento de energia, de controle de temperatura, de estabilização, de transmissão de dados e outros sistemas

eletrônicos. Satélite de observação terrestre contém sensores capazes de produzir imagens da superfície da Terra em várias bandas simultâneas, sendo a banda espectral o intervalo entre dois comprimentos de onda. As informações podem ser obtidas através de radiação eletromagnéticas, gerada por fontes naturais, classificados como sensor passivo, como o Sol, ou por fontes artificiais como o radar, definidos como sensores ativos.

As imagens da superfície terrestres permitem desenvolver aplicações para diferentes contextos, como o mapeamento e a atualização de dados cartográficos e temáticos, a produção de dados meteorológicos e a avaliação de impactos ambientais. Deste modo, as imagens geradas utilizando a técnica de sensoriamento remoto podem ser processadas de forma a auxiliar na identificação de áreas modificadas durante um período, pois agrega uma medida temporal à análise das informações contidas nas imagens.

Este processo pode ser aprimorado através da automatização, que contribui de modo expressivo para a rapidez da detecção de mudança na utilização do solo, além de possibilitar mais confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, bem como outros elementos que podem ocasionar mudanças no solo e, portanto, impactar o desenvolvimento econômico e social de uma região.

O método baseia-se em identificar alterações no solo através da utilização de dados geográficos em diferentes períodos e escalas temporais e espaciais, e fornece como *output* informações geográficas sobre a ocupação do solo e as suas alterações.

1.2 Definição do problema

A aceleração dos processos de urbanização, industrialização e as demais utilizações do solo impactam a cobertura da terra, potencializando a degradação e a alteração do ecossistema ambiental, social e econômico de determinada região.

Tais mudanças são causadas e acentuadas pelo interesse na instalação de atividades socioeconômicas que utilizam recursos naturais e geram impactos sobre o meio ambiente. O uso inadequado da terra provoca a deterioração dos recursos naturais causando prejuízos sociais, econômicos e ambientais que, em alguns níveis, são quase inconversíveis, este fato pode ser refletido tanto na queda dos rendimentos da produtividade agropecuária quanto na qualidade do meio ambiente. A persistência na situação de mudanças da cobertura e uso do solo é uma preocupação de nível local e até mesmo global.

Assim, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do uso da terra é fundamental, pois fornece informações acerca dos diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sendo essencial na compreensão das dinâmicas dos processos de mudanças no uso e na cobertura da terra. Tais informações atualizadas acerca de seu uso e cobertura servem como subsídio ao poder público e privado para o gerenciamento, planejamento e na execução de projetos de desenvolvimento econômico no âmbito global, continental, nacional, estadual e municipal.

Ainda, segundo a revista Pesquisa FAPESP, em sua edição 221, automatizar softwares para análise temporal de imagens é uma exigência da área de sensoriamento remoto. A detecção automática pode ser feita por meio da verificação de

mudanças dos padrões espectrais das áreas geográficas ao longo do tempo. Os produtos orbitais a partir de imageamentos em diferentes períodos permitem a discriminação e quantificação das mudanças ocorridas nas classes de cobertura e uso da terra.

Isto posto, a criação de *softwares* que auxiliam no processo de análise de imagens mostra-se de interesse social, econômico e ambiental.

1.3 Objetivos

O processo de detecção de alterações da cobertura e uso do solo consiste em identificar, localizar e qualificar as transformações que ocorreram na área de interesse em determinados espaços físicos e temporais, através das respostas espectrais registradas nos pares de pixels correspondentes, estes possibilitam a distinção entre a mudança e a não modificação de uma localidade.

Visando fornecer uma ferramenta de auxílio na detecção automatizada deste processo, neste trabalho foi utilizado processamento de imagens para comparar os pixels das imagens a fim de fornecer uma imagem binária que represente a alteração identificada na cobertura.

Os resultados deste processamento de regiões delimitadas ou sobre um ambiente mais abrangente, permitem relatórios eficientes, propõem soluções de baixo custo e criam alternativas para os desafios enfrentados face às mudanças expressivas que se pode observar na Terra.

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um *software*, aplicando técnicas de processamento digital de imagens (PDI), que detecta as mudanças no uso da terra de forma automatizada. As funcionalidades incluem:

- Funcionalidades para filtragem espacial
- Funcionalidades para registro.
- Funcionalidades para comparação de imagens.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fundamentação básica de PDI

A área de Processamento Digital de Imagens, de forma resumida, abrange operações realizadas sobre imagens matriciais e que resultam em novas imagens. Já a área de Visão Computacional inclui operações de alto nível sobre imagens e que resultam em significação ou tomada de decisão similar à que ocorre no processo cognitivo humano. A aplicação e escolha dessas técnicas depende dos objetivos a serem atingidos pelo sistema.

Uma imagem digital é, tipicamente, uma representação bidimensional e planar de objetos em uma matriz, sendo cada elemento denominado pixel, e corresponde a uma determinada intensidade da luz refletida pelo objeto. Do ponto de vista físico, a cor se refere à luz, que percorre o espaço, ora se comportando com onda, ora como partícula.

Assim, matematicamente uma imagem é uma função da forma:

$$I = f(x,y)$$

sendo I a intensidade e x e y as coordenadas do plano. Em uma imagem digital I , x e y assumem valores finitos e discretos.

O processo de digitalização de uma imagem envolve a discretização dos elementos contidos nesta. Esta etapa é realizada para a aplicar o plano da imagem sob forma de uma malha regular finita, cujos elementos têm um tamanho constante, os pixels. Para realizar a discretização da imagem, aplica-se funções matemáticas, que quando aplicadas no eixo do domínio é chamada de Amostragem, quando no contradomínio é chamada de Quantização.

A representação matricial considera que o espaço pode ser observado como uma superfície plana, o qual cada célula está associada a uma porção da superfície. A resolução de uma imagem é dada pela correlação entre o tamanho da célula e a área por ela coberta no terreno, assim, basta saber a razão entre o número de pixels e o tamanho real da imagem.

Define-se estrutura geométrica matricial como um conjunto de espaços localizados em coordenadas adjacentes, implementadas como uma matriz de dimensão 2. Cada célula é referenciada por índices de linha e coluna e contém um número representando o valor do atributo mapeado. O valor de cada pixel está limitado a um intervalo numérico, como por exemplo de 0 a 255 para imagens em 8 bits, ou valores associados a classes em caso de imagens temáticas.

Para a aquisição da imagem pode-se utilizar sistemas de captura, para este estudo utilizou-se imagens de satélites. Os satélites de observação terrestre possuem sensores capazes

de produzir imagens da superfície da Terra em várias bandas simultâneas. Após este processo, aplica-se métodos de realce e filtragem para facilitar as demais etapas de processamento da imagem. Exemplos de filtragem e realce incluem a limiarização e a aplicação de filtros derivativos.

A divisão de uma imagem em termos de partes constituintes é chamada de segmentação, que nada mais é do que agrupamento de pixels em regiões. Feita a segmentação pode-se aplicar técnicas para classificação e reconhecimento de objetos contidos na imagem.

Para comparar duas imagens e, conseqüentemente, haver a possibilidade de detecção de mudanças, é necessária a etapa de registro. O registro, por sua vez, é baseado na identificação de padrões ou elementos característicos de uma certa imagem. Na operação de registro busca-se alinhar as imagens que serão comparadas delimitando-se uma área de comparação. Os algoritmos que detectam tais padrões com frequência fazem uso de medidas de erro de casamento do padrão que é utilizado como referência em ambas as imagens (esses padrões contém os chamados pontos de controle – *tie points*).

2.1 Tecnologias Utilizadas

O *software* desenvolvido neste trabalho é um sistema para internet com persistência de dados. Para atingir este objetivo, no *front end* da aplicação utilizou-se a linguagem de marcação HTML (*HyperText Markup Language*), a linguagem de estilização CSS (*Cascading Style Sheets*) e a linguagem de programação *JavaScript*.

Para o *back end* utilizou-se o framework Flask que utiliza a linguagem de programação Python para o desenvolvimento das funcionalidades da aplicação e o banco de dados não relacional MongoDB para armazenar as imagens e o resultado da comparação.

2.2 Descrição Geral das Operações do Sistema

A partir da imagem matricial é possível fazer operações para extrair dados e informações sobre uma área de específica. Para a detecção de mudança no uso e cobertura da terra, busca-se identificar as possíveis alterações em duas imagens.

Neste processo, define-se um ponto de interesse e imagens multitemporais para realizar a comparação e gerar uma nova imagem que represente a diferença detectada. Dessa forma, o sistema desenvolvido realiza as operações de identificação de modificações nas imagens, este recebe 3 imagens como entrada. O primeiro parâmetro é a imagem da área em que se busca realizar a análise, a referência, uma pequena cobertura que deve inclusa nas imagens a serem processadas. A seguir o usuário seleciona as cenas em períodos distintos, o qual devem abranger a imagem de referência.

Após, um algoritmo para tornar as imagens temporais em escala de cinza é aplicado, a fim de tornar a imagem binária, este processo é feito pela ponderação da soma dos valores dos canais do pixel, o RGB (*red, green, blue*). Assim, realizar a médias das intensidades em cada faixa de frequência para transformá-la em monocromática. Ainda, na segmentação definiu-se níveis para alterar a cor do pixel, para cores abaixo de 0.3 torna-se preto e acima branco.

Em seguida, é realizado a etapa de identificação da área de interesse nas imagens da comparação, em um processo chamado de Casamento de Modelo (*Template Matching*). Para esta operação, assume-se que não há distorções nas imagens. O cálculo com base no número de linhas e colunas da imagem matricial retorna as coordenadas no plano cartesiano do deslocamento, que é usado para alinhá-las.

Por fim, com o alinhamento das imagens com a área de referência, realiza-se a comparação pixel a pixel das duas imagens temporais, destacando as diferenças entre os pixels e gerando uma nova imagem binária a partir disso. O resultado da comparação é uma imagem preto e branco referenciada em um plano, cujo a cor preta destaca a área modificada identificada.

2.2.1 Detalhamento

A figura 1 ilustra o funcionamento em alto nível da aplicação. No *front end* tem-se a interface acessível no navegador.

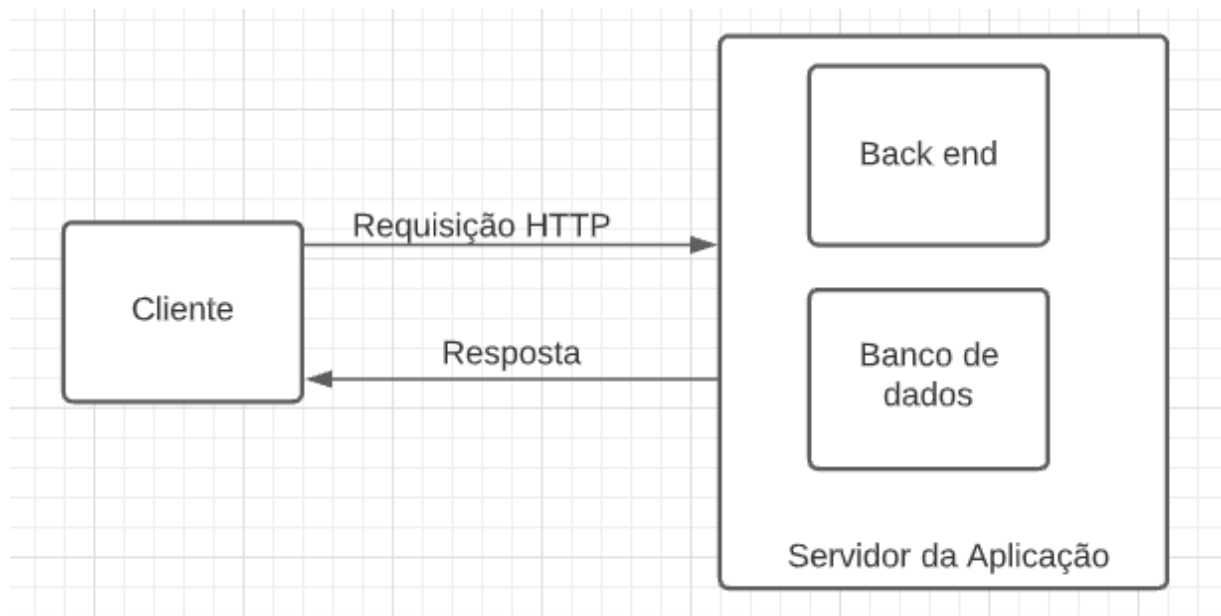


Figura 1. Diagrama de Implantação de alto nível.

O usuário pode submeter os seguintes *inputs*:

- *Template*: usado para o registro das imagens da comparação;
- Imagens multitemporais para a detecção de alteração da área de interesse.

No *back end* visualiza-se os módulos de Escala de Cinza (*Gray Scale*), *Thresholding* (técnica de limiarização, filtragem espacial), Registro das imagens (*Template Matching*) e Detecção de Mudança (*Change Detection*).

A figura 2 ilustra o código desenvolvido para converter uma imagem colorida para níveis de cinza, para isso utiliza-se o método de Gray Scale.

```
1. from .utils import qtd_row_col
2.
3. def gray_scale(img):
4.     n_rows, n_cols = qtd_row_col(img)
5.     for row in range(n_rows):
6.         for col in range(n_cols):
7.             v = img[row][col]
8.             new_gray_level = (v[0] + v[1] + v[2]) / 3
9.             for index in range(3):
10.                 img[row][col][index] = new_gray_level
11.     return new_gray_level
```

Figura 2. Função desenvolvida em Python para transformação da imagem original para escala de cinza.

Figura 2:

- A função definida na linha 3 transforma a imagem matricial em escala de cinza, monocromática
- Na linha 5 e 6 é feito uma iteração sobre a matriz (linhas e colunas) e, então calcula-se, na linha 8, a média dos canais de cores RGB. A média atribui pesos iguais aos canais para facilitar a tarefa de comparação das imagens, como é feito na linha 10.
- A média calculada é por fim reatribuída na matriz. Após, na linha 11, retorna-se a matriz da imagem modificada.

A figura 3 apresenta o código para aplicação do método *Thresholding*, este é o processo de filtragem espacial, o qual se classifica pixels.

```
1. from .utils import qtd_row_col
2. BRANCO = 1
3. PRETO = 0
4. def thresholding(img):
5.     n_rows, n_cols = qtd_row_col(img)
6.     level_1 = 0.3
7.     values = range(3)
8.     for row in range(n_rows):
9.         for col in range(n_cols):
10.            if img[row][col][0] < level_1:
11.                for index in values:
12.                    img[row][col][index] = PRETO
13.            else:
14.                for index in values:
15.                    img[row][col][index] = BRANCO
16.     return img
```

Figura 3. Função desenvolvida em *Python* para aplicação filtragem espacial na imagem em escala de cinza.

Figura 3:

- Na linha 6 define-se o tom de corte para a filtragem dos elementos.
- Nas linhas 8 e 9 é feito uma iteração sobre as linhas e colunas da matriz para fazer a comparação dos valores dos pixels.
- Após a comparação dos pixels na linha 10 e 13, é feito uma iteração sobre os canais do pixel e atribui-se um novo valor, preto ou branco. Aplicou-se a técnica com 1 único limiar de separação (binarização), para a separação entre as classes “claro” e “escuro”.
- Após, na linha 16 é retornada a matriz da imagem filtrada.

A figura 4 mostra o código desenvolvido para identificação do *template* na imagem. Este processo ocorre com ambas as imagens da comparação. O método apresentado é baseado no código fornecido pelo Professor Fabrício Carvalho.

```
1. def template_matching(src_img, template_img):
2.     src_xy = {'rows': len(src_img), 'cols': len(src_img[0])}
3.     template_xy = {'rows': len(template_img), 'cols':
4.         len(template_img[0])}
5.     max_x_disp = src_xy['rows'] - template_xy['rows']
6.     max_y_disp = src_xy['cols'] - template_xy['cols']
7.
8.     sum_abs_diff = [] # será uma array bidimensional
9.     for row in range(max_x_disp):
10.        sum_abs_diff.append([])
11.        for col in range(max_y_disp):
12.            sum_abs_diff[row].append(0) # erro 0, ainda não calculado
13.            for x in range(template_xy['rows']):
14.                for y in range(template_xy['cols']):
15.                    sum_abs_diff[row][col] += abs(template_img[x][y][0]
16. - src_img[x + row][y + col][0])
17.     min_error = sum_abs_diff[0][0] # SAD: sum of average difference
18.     delta_x = 0
19.     delta_y = 0
20.
21.     for row in range(max_x_disp):
22.         for col in range(max_y_disp):
23.             if sum_abs_diff[row][col] < min_error:
24.                 # nem sempre o sad vai dar tem que ser o menor
25.                 min_error = sum_abs_diff[row][col]
26.                 delta_x, delta_y = row, col
27.
28.     return (delta_x, delta_y)
```

Figura 4. Função desenvolvida em Python para aplicação de segmentação.

- O código da função *template_matching*, na linha 1, calcula o delta entre a imagem da área de interesse e a imagem multitemporal.
- Define-se nas linhas 4 e 5 a máxima área da comparação, para isto calcula-se a diferença das linhas e colunas na imagem *template*, área de interesse, com a imagem da comparação e obtém-se o deslocamento máximo.
- Na linha 7 e 9 itera-se sobre o *display* máximo que a área está contida, e na linha 8 cria-se uma array bidimensional.
- Com base nos valores das linhas e colunas da imagem *template*, é feito um *loop* percorrendo a imagem maior na ordem esquerda para a direita e de cima para baixo, como na linha 13. Ainda, calcula-se a soma da diferença absoluta da comparação com

o template, atribuindo o valor ao array **sum_abs_diff**. O resultado obtido identifica em qual posição há maiores chances de o padrão ter sido identificado (casamento).

- Na linha 17 e 18 itera-se sobre deslocamento máximo no eixo x e y, linha e coluna, e na linha 19 verifica-se qual coordenada tem o menor erro absoluto.
- Por fim, tem-se o resultado com as coordenadas X e Y com o menor erro de cálculo. O resultado obtido identifica em qual posição há maiores chances de o padrão ter sido identificado (casamento).

A figura 4 mostra o código para aplicação do algoritmo de detecção de mudança em imagens. Compara os pixels de 2 imagens e retorna uma imagem binária que representa a alteração observada.

```
1. import numpy as np
2. BRANCO = 1
3. PRETO = 0
4. def change_detection(img1, img2):
5.     img1_rows = len(img1)
6.     img1_cols = len(img1[0])
7.     new_image = np.zeros((img1_rows, img1_cols, 3), dtype=np.float32)
8.     for col in range(img1_cols):
9.         for row in range(img1_rows):
10.            for index in range(3):
11.                if img1[row][col][index] == img2[row][col][index]:
12.                    new_image[row][col][index] = BRANCO
13.                else:
14.                    new_image[row][col][index] = PRETO
15.     return new_image
```

Figura 5. Função desenvolvida em Python para aplicação de segmentação

- No método *change_detection* aplica-se operações para detectar as alterações nas imagens.
- Na linha 7 cria-se a imagem que será alterada para destacar a mudança.
- Itera-se sobre a matriz, nas linhas 8 e 9, e verifica-se os valores dos pixels correspondentes em ambas as imagens, na linha 11 e 13.
- Caso os valores dos pixels das imagens sejam iguais, na linha 12 altera-se o ponto para cor branca, simbolizando que são pontos que permaneceram inalterados; o contrário, na linha 14, ocorre se forem pixels diferentes, adiciona-se preto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

A partir dos resultados obtidos, evidencia-se observou-se que a automatização do processo de detecção de alteração em imagens de uso do solo facilita a visualização e detecção da mudança em uma área terrestre. O resultado gerado pelo sistema pode ser utilizado no auxílio da tomada de decisão quanto a utilização do solo.

A figura 6 é a interface de usuário para a submissão de imagem da área a ser comparada (*Tie Point*). Tal imagem é salva em um banco de dados e posteriormente usada na comparação.

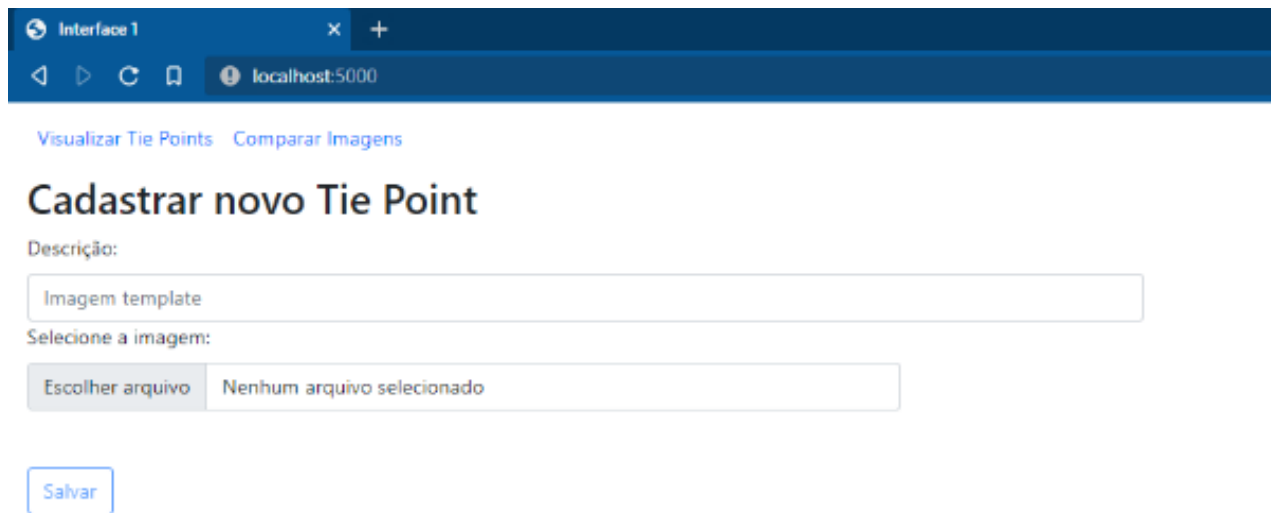
The image shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost:5000'. The page has a dark blue header with the text 'Interface 1' and navigation icons. Below the header, there are two links: 'Visualizar Tie Points' and 'Comparar Imagens'. The main heading is 'Cadastrar novo Tie Point'. Under this heading, there is a 'Descrição:' label followed by a text input field containing 'Imagem template'. Below that is a 'Selecione a imagem:' label followed by a file selection interface. This interface includes a button labeled 'Escolher arquivo' and a text box showing 'Nenhum arquivo selecionado'. At the bottom of the form is a blue 'Salvar' button.

Figura 6. Interface para cadastro do Tie Point, a área de interesse a ser identificada nas imagens para comparação.

A figura 7 apresenta a interface de usuário para listar, visualizar e excluir um *tie point* cadastrado. Nesta tela é exibido um link para visualizar a figura, uma descrição cadastrada previamente e botão para ação de excluir a imagem.

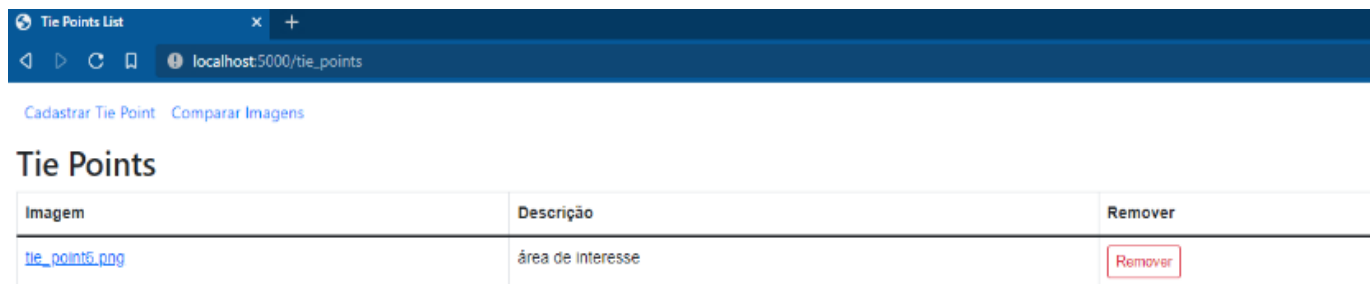


Figura 7. Interface para visualização e alteração de um Tie Point cadastrado.

A figura 8 apresenta a interface principal do sistema web, o qual o usuário pode enviar as imagens para processamento da detecção de alteração. O usuário seleciona o template da área que será identificada nas duas imagens de comparação e as imagens 1 e 2 que serão aplicados os métodos de identificação de mudança na cobertura do solo.

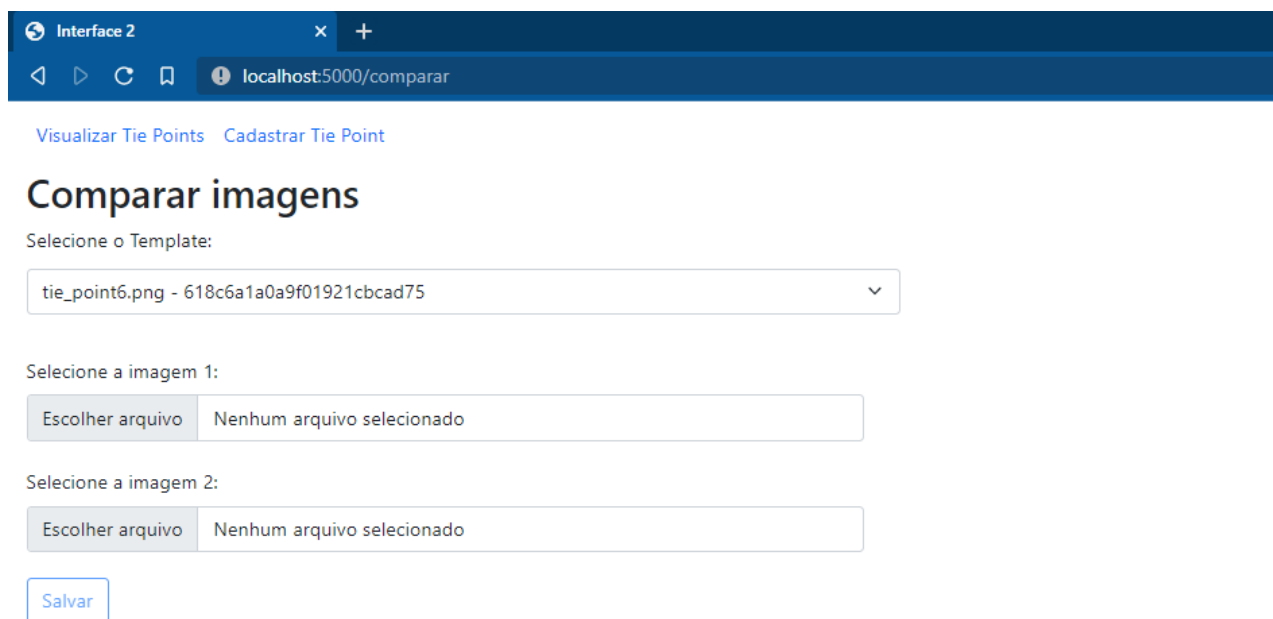


Figura 8. Interface para selecionar imagens da série temporal e Tie Point para a comparação.

Como última etapa, o programa exibe uma nova imagem representada no plano cartesiano, com a extração das áreas comparáveis e a marcação dos locais da imagem com as alterações encontradas, processo representado na figura 9.

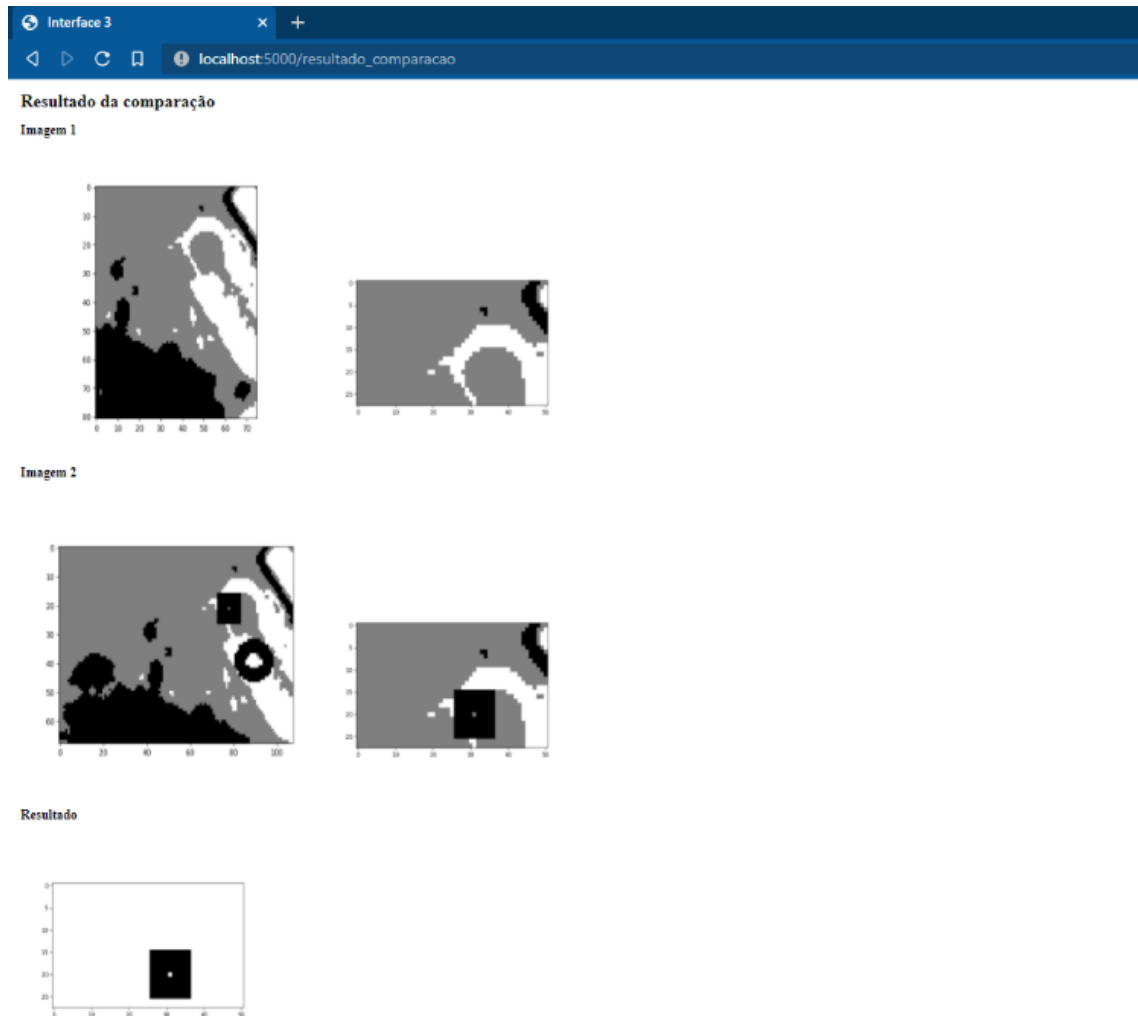


Figura 9. Saída do programa com resultado da comparação.

Cabe ressaltar que os resultados dependem da qualidade da imagem obtida, em dois principais aspectos: a resolução da imagem e o seu tamanho.

Ademais, dentro das limitações encontradas destaca-se que o programa não considera a possível rotação ou distorções de uma imagem para a comparação.

3.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como citado anteriormente, o sistema desenvolvido não contempla imagens com distorções geométricas. Essas distorções podem ser inerentes a plataforma e o instrumento utilizado para a captura da imagem real, ao modelo da Terra como os relevos, rotação e esfericidade.

Em função das limitações de tempo para a conclusão desse trabalho, sugere-se para pesquisas futuras a adição de métodos de identificação e correção de deformidade em uma das imagens de entradas para comparação. É necessário que se realize pré-processamento para a correção geométrica de imagens, o que permite ao usuário da aplicação maior flexibilidade quanto a fonte da imagem.