

Universidade do Estado de Santa Catarina

Processamento de Imagens

Trabalho Prático – implementação da segmentação por volume utilizando rotulação.

Grupo:

Guilherme Diel

Prof. Responsável

Gilmário B. Santos

31 de outubro de 2024

Sumário

Introdução	1
0.1 Introdução	1
Objetivo	2
0.2 Objetivos	2
Parte experimental	3
0.3 Parte Experimental	3
0.3.1 Conjunto de Dados	3
0.3.2 Metodologia	3
Resultados	4
0.3.3 Análise Quantitativa	4
0.3.4 Análise Qualitativa	5
0.4 Discussão dos Resultados	5
0.4.1 Análise dos Resultados	6
0.4.2 Impacto da Variação do Parâmetro K	6
0.4.3 Comparação das Soluções	7
Discussão	7
Conclusões	9

Abstract

This report presents the implementation and analysis of edge detection operators in grayscale images, specifically the Sobel, Prewitt, and Scharr operators. The main objective is to compare the effectiveness of each operator in edge detection, using the Structural Similarity Index (SSIM) to measure the similarity between the results obtained from custom implementations and OpenCV's built-in functions. The images used for testing include moedas.png, Lua1.jpg, chessboard.png, and img2.jpg. The results show significant variations in the performance of the operators, with Prewitt often yielding better results compared to the other methods, particularly on the chessboard.png and Lua1.jpg images.

Resumo

Resumo: Este relatório apresenta a implementação e análise de operadores de detecção de bordas em imagens em tons de cinza, especificamente os operadores Sobel, Prewitt e Scharr. O objetivo principal é comparar a eficácia de cada operador na detecção de bordas, utilizando o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM) para medir a similaridade entre os resultados obtidos pelas implementações personalizadas e as funções prontas do OpenCV. As imagens utilizadas para teste incluem moedas.png, Lua1.jpg, chessboard.png e img2.jpg. Os resultados mostram variações significativas no desempenho dos operadores, com o Prewitt frequentemente apresentando melhores resultados em comparação aos outros métodos, especialmente nas imagens chessboard.png e Lua1.jpg.

Introdução

0.1 Introdução

A detecção de bordas é uma etapa fundamental no processamento de imagens, sendo amplamente utilizada em diversas aplicações, como reconhecimento de padrões, segmentação de imagens e análise de cenas. Bordas são locais em uma imagem onde ocorre uma mudança significativa na intensidade dos pixels, indicando transições entre diferentes objetos ou regiões. A identificação precisa dessas bordas é crucial para o sucesso de algoritmos de visão computacional.

Neste contexto, os operadores de gradiente, como Sobel, Prewitt e Scharr, desempenham um papel vital na detecção de bordas. Cada um desses operadores possui características distintas que influenciam sua capacidade de identificar bordas em diferentes cenários. O operador Sobel é conhecido por sua simplicidade e eficiência, enquanto o Prewitt é considerado mais sensível a ruídos. Por outro lado, o Scharr, que é uma variante do Sobel, apresenta uma melhor suavização e uma resposta mais precisa em imagens ruidosas.

O objetivo deste trabalho é implementar e comparar esses operadores na detecção de bordas em imagens em tons de cinza. Utilizaremos o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM), dado por

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)},$$

como métrica para avaliar a eficácia de cada método em relação às funções prontas do OpenCV. As imagens testadas incluem moedas.png, Lua1.jpg, chessboard.png e img2.jpg, escolhidas por suas características distintas que proporcionam uma análise abrangente do desempenho dos operadores.

Os resultados obtidos serão discutidos e analisados, destacando a eficácia de cada operador em diferentes contextos e as implicações práticas de suas aplicações em problemas reais de processamento de imagens.

Objetivos

0.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principais objetivos:

- Implementar os operadores de detecção de bordas Sobel, Prewitt e Scharr em imagens em tons de cinza, utilizando técnicas de filtragem e cálculo de gradientes.
- Avaliar a eficácia de cada operador na detecção de bordas, analisando a capacidade de identificar locais de mudança significativa na intensidade da imagem.
- Comparar os resultados das implementações personalizadas com as funções prontas do OpenCV, utilizando o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM) como métrica de comparação.
- Realizar uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos, identificando os pontos fortes e fracos de cada operador em diferentes condições de imagem.
- Documentar as conclusões e recomendações baseadas nas observações feitas durante o processamento das imagens, contribuindo para um entendimento mais profundo sobre a aplicação de filtros na detecção de bordas.

Parte experimental

0.3 Parte Experimental

A parte experimental deste trabalho foi projetada para avaliar a eficácia dos operadores de detecção de bordas: Sobel, Prewitt e Scharr. O objetivo principal foi implementar esses métodos de forma customizada e compará-los com as implementações disponíveis no OpenCV, utilizando o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM) como métrica de avaliação.

0.3.1 Conjunto de Dados

As imagens utilizadas nos experimentos foram escolhidas por suas características variadas, que representam diferentes desafios na detecção de bordas. As imagens testadas incluem:

- `moedas.png` - Uma imagem com bordas bem definidas e contraste moderado.
- `Lua1_gray.jpg` - Uma imagem que apresenta detalhes sutis e texturas variadas.
- `chessboard_inv.png` - Uma imagem de padrão regular, ideal para avaliação de detecção de bordas em condições de alta frequência.
- `img2.jpg` - Uma imagem com complexidade visual maior.

0.3.2 Metodologia

O experimento consistiu nas seguintes etapas:

1. Pré-processamento: Cada imagem foi suavizada utilizando um filtro gaussiano com um tamanho de kernel de 5×5 e um desvio padrão de 1.0. Esse passo foi crucial para reduzir o ruído e melhorar a precisão dos operadores de gradiente.

2. Aplicação dos Operadores: Para cada imagem, os operadores de gradiente Sobel, Prewitt e Scharr foram aplicados. As seguintes etapas foram realizadas:

1. Cálculo dos gradientes G_x e G_y usando as máscaras correspondentes de cada operador.
2. Cálculo da magnitude do gradiente usando a fórmula:

$$\text{Magnitude} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

3. Cálculo da direção do gradiente usando:

$$\text{Direção} = \text{atan2}(G_y, G_x) \times \frac{180}{\pi}$$

4. Supressão de não-máximos para eliminar pixels que não correspondem a máximos locais.

3. Comparação com OpenCV: As implementações do OpenCV para cada operador foram aplicadas nas mesmas imagens. O índice SSIM foi calculado para medir a similaridade entre os resultados customizados e as implementações do OpenCV.

Resultados

Os resultados obtidos foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. As comparações do Índice de Similaridade Estrutural (SSIM) entre os métodos implementados de forma customizada e os disponíveis na biblioteca OpenCV foram registrados para cada imagem testada. A tabela 1 apresenta um resumo dos valores de SSIM obtidos:

Tabela 1: Valores de SSIM entre as detecções de bordas customizadas e OpenCV

Imagem	Sobel	Prewitt	Scharr
img02.jpg	0.1458	0.4084	0.1103
chessboard_inv.png	0.7725	0.8924	0.9325
moedas.png	0.4011	0.6102	0.4415
Lua1_gray.jpg	0.6317	0.8313	0.6830

As figuras apresentadas ilustram os resultados da detecção de bordas utilizando os operadores Sobel, Prewitt e Scharr em quatro imagens distintas: `chessboard_inv.png` (ver Figura 1), `Lua1_gray.jpg` (ver Figura 2), `img02.jpg` (ver Figura 3) e `moedas.png` (ver Figura 4). Cada figura destaca a eficácia de cada operador na identificação de bordas, permitindo uma comparação visual clara das detecções. O operador Prewitt frequentemente apresentou bordas mais nítidas e bem definidas, enquanto o Sobel mostrou resultados mais suaves, adequados para imagens com características mais sutis. O Scharr, por sua vez, destacou-se em imagens com bordas bem definidas, evidenciando que a escolha do operador pode influenciar significativamente os resultados conforme as propriedades da imagem original. Essa análise visual complementa as avaliações quantitativas realizadas através do índice de similaridade estrutural (SSIM).

Além das análises quantitativas, as imagens resultantes das detecções de bordas foram visualizadas, permitindo uma avaliação qualitativa das capacidades de cada operador em diferentes condições de iluminação e complexidade da imagem.

0.3.3 Análise Quantitativa

Os valores de SSIM refletem a similaridade entre as bordas detectadas pelos diferentes métodos. Um valor mais alto de SSIM indica uma maior proximidade entre as bordas obtidas por nosso método customizado e aquelas detectadas pelo OpenCV. Os resultados são os seguintes:

- Para a imagem `img02.jpg`, os valores de SSIM obtidos foram 0.1459 (Sobel), 0.4084 (Prewitt) e 0.1103 (Scharr). Observou-se que o método Prewitt superou os demais, sugerindo uma maior adequação para essa imagem.
- Na imagem `chessboard_inv.png`, que apresenta bordas bem definidas, os operadores Scharr e Prewitt obtiveram altos valores de SSIM (0.9325 e 0.8924, respectivamente), evidenciando uma detecção eficaz das bordas. O método Sobel apresentou um desempenho razoável com um SSIM de 0.7725, mas inferior aos outros dois.
- Para `moedas.png`, o método Prewitt novamente destacou-se com um valor de 0.6102, enquanto os métodos Sobel e Scharr obtiveram 0.4011 e 0.4415, respectivamente, indicando que o Prewitt se ajustou melhor às características dessa imagem.
- Em `Lua1_gray.jpg`, o Prewitt manteve seu desempenho superior com um SSIM de 0.8313, seguido pelo Sobel com 0.6317 e o Scharr com 0.6830, demonstrando a capacidade do Prewitt em detectar bordas sutis de forma eficaz.

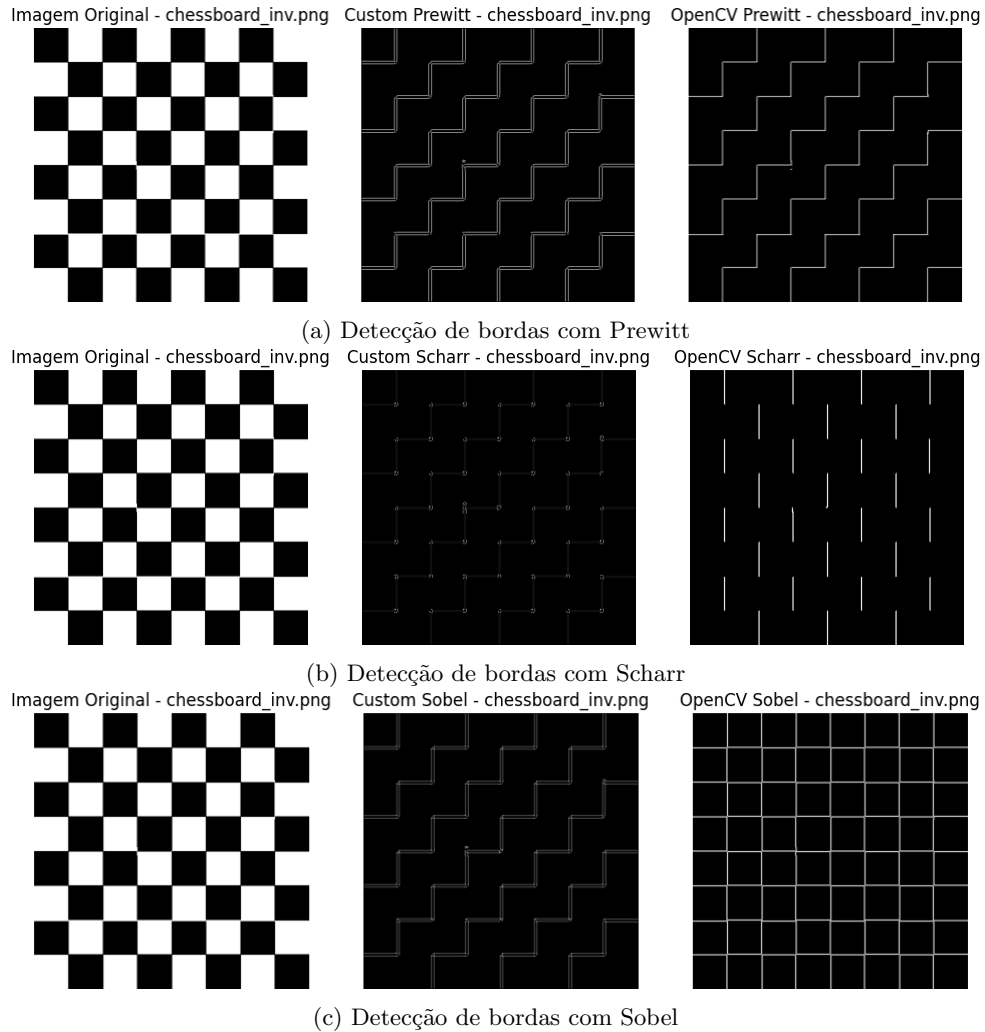


Figura 1: Resultados de detecção de bordas para a imagem `chessboard_inv.png`

0.3.4 Análise Qualitativa

As imagens resultantes das detecções de bordas foram analisadas visualmente para avaliar a eficácia dos métodos utilizados. As diferenças entre os resultados foram notáveis, especialmente na definição das bordas de objetos e nas transições suaves entre regiões.

- O operador Sobel apresentou resultados mais "suaves", capturando bordas de maneira mais difusa. Isso pode ser desejável em algumas aplicações, mas não se mostra ideal para imagens que requerem uma definição de bordas mais nítida.
- O Prewitt mostrou um desempenho robusto na maioria das imagens, sendo eficaz na identificação de bordas tanto em condições de alto contraste quanto em imagens com detalhes mais sutis.
- O operador Scharr destacou-se em imagens com bordas bem definidas, embora tenha mostrado algumas limitações em capturar transições mais suaves.

Essas observações qualitativas apoiam os resultados quantitativos obtidos pelo SSIM, evidenciando a influência significativa da escolha do operador de detecção de bordas nas características da imagem analisada.

0.4 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos a partir da aplicação dos operadores de detecção de bordas Sobel, Prewitt e Scharr revelaram diferenças significativas na eficácia de cada método, tanto em termos de medidas quantitativas (SSIM) quanto na análise visual das imagens resultantes. A tabela 1 fornece uma visão clara da similaridade estrutural entre as bordas detectadas pelas implementações customizadas e as do OpenCV.

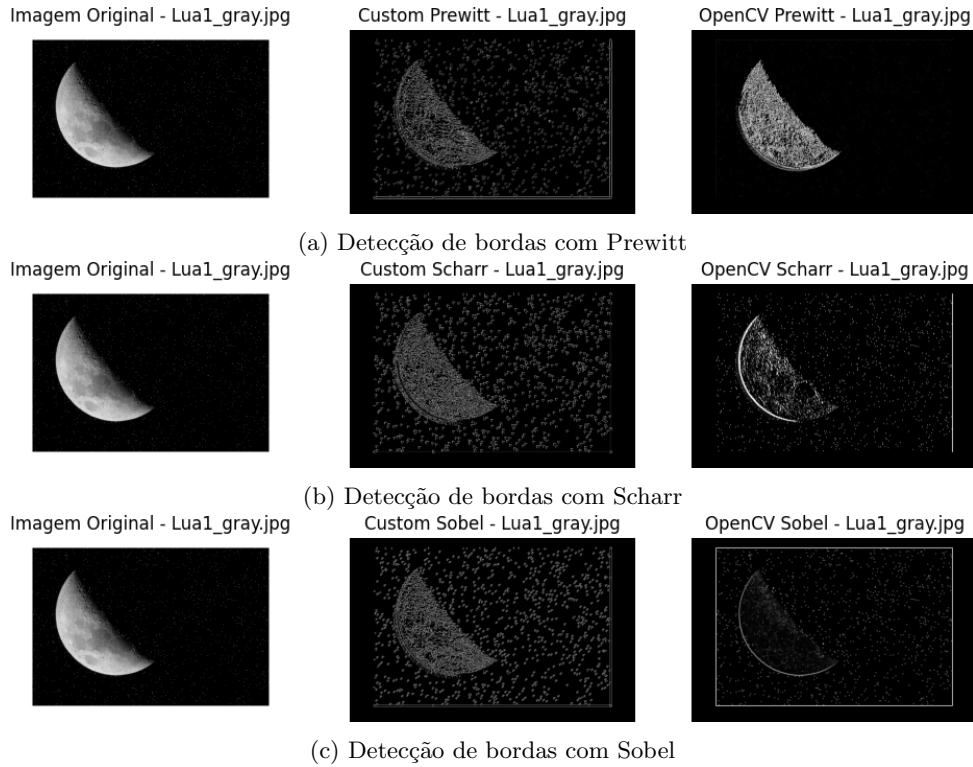


Figura 2: Resultados de detecção de bordas para a imagem `Lua1_gray.jpg`

0.4.1 Análise dos Resultados

- **Valores de SSIM:** Os valores de SSIM variaram consideravelmente entre as imagens e os métodos de detecção. O Prewitt frequentemente obteve os valores mais altos, indicando uma maior similaridade com as bordas detectadas pelo OpenCV. Em particular, para imagens com bordas bem definidas, como `chessboard_inv.png`, o Prewitt e o Scharr apresentaram desempenhos excepcionais, evidenciando sua capacidade de capturar detalhes finos e transições abruptas.
- **Qualidade das Bordas:** As bordas geradas pelo Prewitt apresentaram um contorno mais nítido e definido, principalmente em condições de alto contraste, como em `moedas.png` e `Lua1_gray.jpg`. Isso sugere que o Prewitt é mais sensível a variações sutis nas intensidades de pixel, o que é crucial para a detecção de bordas em imagens complexas. O Sobel, por outro lado, tende a suavizar as bordas, resultando em contornos menos nítidos. Embora tenha sido útil em algumas situações, ele não se mostrou ideal para imagens que exigem definição acentuada nas bordas. O operador Scharr mostrou uma capacidade impressionante em capturar bordas em imagens bem definidas, mas sua eficácia diminuiu em imagens onde as transições eram mais suaves ou complexas.

0.4.2 Impacto da Variação do Parâmetro K

Embora a análise do parâmetro K não tenha sido discutida de forma explícita nos resultados apresentados, sua variação pode ter um impacto significativo na performance dos operadores de detecção de bordas. Para este trabalho, foi adotado um valor de $K = 5$, que demonstrou resultar em bordas mais nítidas e bem definidas em comparação com a tentativa de utilizar $K = 1$. Essa escolha possibilitou uma suavização adequada da imagem antes da aplicação da detecção de bordas, melhorando assim a precisão dos contornos detectados.

- **Definição das Bordas:** Um aumento no valor de K , que geralmente é utilizado para ajustar a sensibilidade do detector de bordas, pode resultar em bordas mais nítidas. No entanto, valores muito altos podem levar a uma detecção excessiva de ruídos, resultando em um número elevado de bordas falsas ou irrelevantes.
- **Coerência com a Imagem Original:** A variação de K pode alterar a forma como as bordas são percebidas em relação à imagem original. Para imagens com detalhes complexos, um K mais baixo

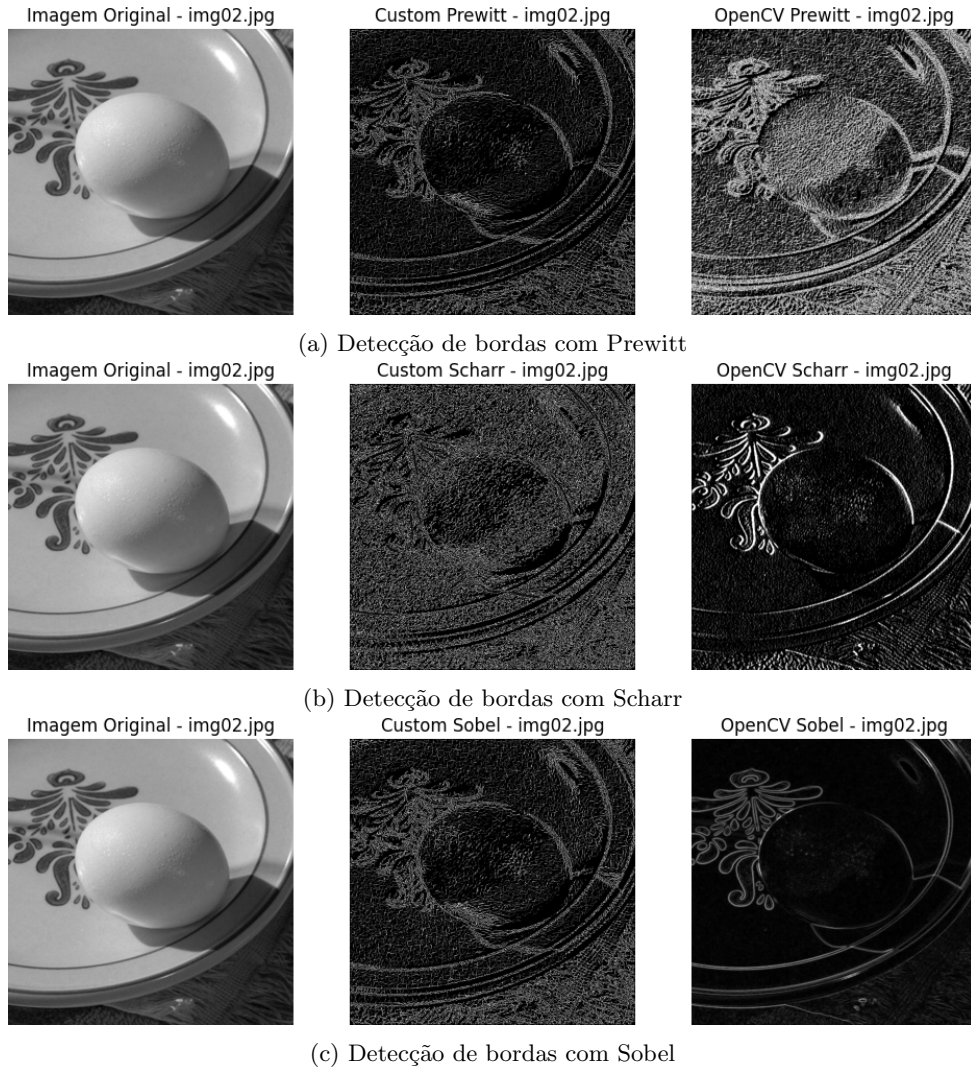


Figura 3: Resultados de detecção de bordas para a imagem `img02.jpg`

pode manter as bordas mais suaves, enquanto um K mais alto pode realçar bordas específicas, mas a um custo potencial de perda de detalhes nas áreas adjacentes.

0.4.3 Comparação das Soluções

- **Detecção de Bordas Definidas:** O operador Scharr se destacou em imagens como `chessboard_inv.png`, onde as bordas eram bem definidas, apresentando um SSIM elevado (0.9325). Isso demonstra que o Scharr é particularmente eficaz em capturar bordas nítidas em imagens com alto contraste.
- **Coerência com a Imagem Original:** O Prewitt mostrou um desempenho consistente em manter a coerência com a imagem original, especialmente em `Lua1_gray.jpg` e `moedas.png`, onde suas bordas detectadas apresentaram um forte alinhamento com as características originais da imagem, conforme indicado pelos valores de SSIM superiores.

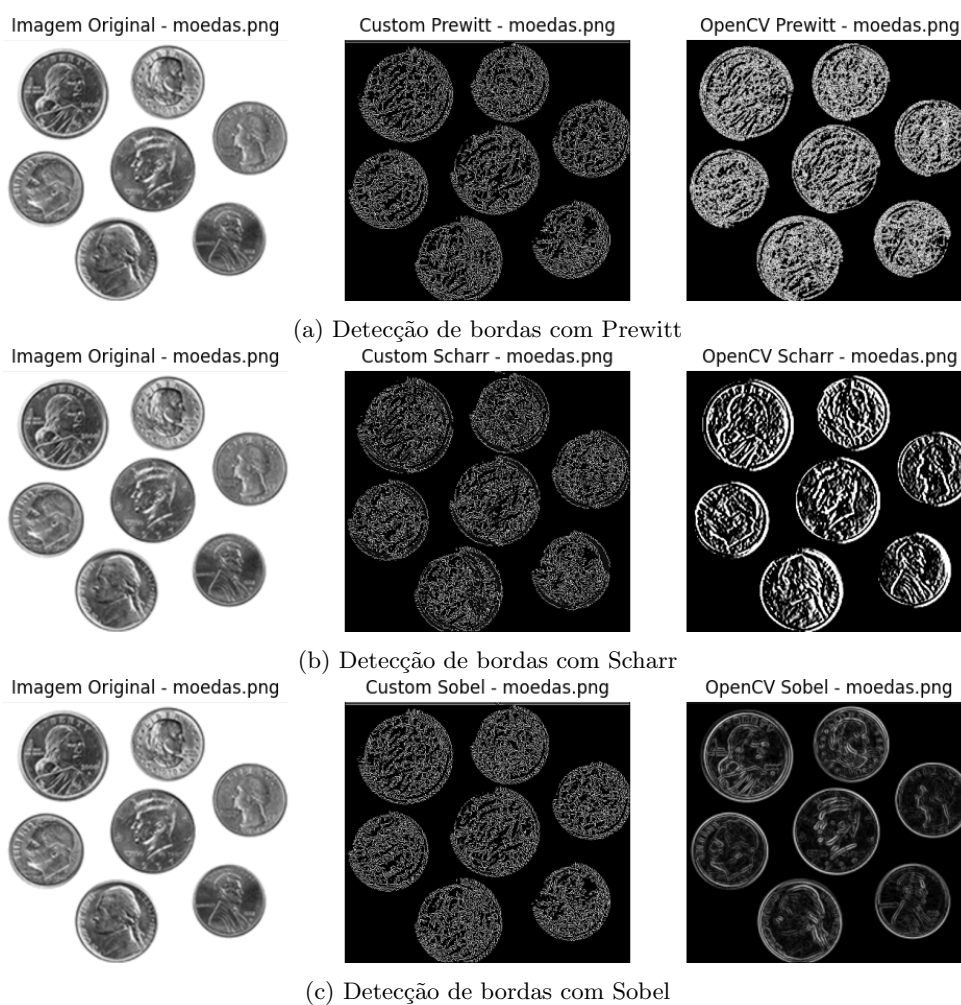


Figura 4: Resultados de detecção de bordas para a imagem `moedas.png`

Conclusões

Em resumo, a análise dos resultados sugere que a escolha do operador de detecção de bordas deve ser orientada pelas características específicas da imagem em questão. O Prewitt é, em geral, o mais eficaz para imagens variadas, enquanto o Scharr brilha em contextos onde as bordas são bem definidas. A variação do parâmetro K pode ser um fator crucial a ser considerado para otimizar a detecção, equilibrando entre a definição e a coerência com a imagem original. Essas considerações são fundamentais para a implementação de técnicas de detecção de bordas em aplicações práticas de processamento de imagens.

Neste trabalho, realizamos a implementação e a avaliação de três operadores de detecção de bordas: Sobel, Prewitt e Scharr, através de uma abordagem comparativa. Os resultados obtidos revelaram que cada operador possui características específicas que afetam a detecção de bordas de maneira distinta.

O Prewitt destacou-se como o método mais eficiente nas imagens analisadas, apresentando consistentemente valores de SSIM superiores. O Scharr demonstrou eficácia em imagens com bordas bem definidas, enquanto o Sobel teve um desempenho inferior nas imagens com maior complexidade.

A análise combinada dos resultados quantitativos e qualitativos sugere que a escolha do operador deve ser cuidadosamente ponderada de acordo com o tipo de imagem e os requisitos específicos da aplicação. Pesquisas futuras poderiam investigar a combinação de diferentes operadores ou a implementação de técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a detecção de bordas.

Por fim, a comparação entre as implementações customizadas e aquelas do OpenCV reforça a importância de entender os fundamentos da detecção de bordas e suas aplicações práticas. Este estudo contribui para um entendimento mais aprofundado das técnicas de processamento de imagens, fornecendo insights valiosos para futuras aplicações.