

Trabalho 02 de Introdução ao Processamento de Imagem Digital

MARIANNA DE PINHO SEVERO

RA: 264960

I. INTRODUÇÃO

O processamento de imagens é uma importante atividade desempenhada dentro da área de Visão Computacional, sendo responsável pela captura, representação e transformação de imagens. Ele permite a extração de informações e a transformação de certas características de imagens, de maneira a facilitar tanto a percepção humana como a interpretação realizada por computadores [1].

Com respeito à transformação de imagens, diversas técnicas podem ser utilizadas, de acordo tanto com as necessidades do domínio de aplicação em que as imagens serão empregadas, como com os objetivos das transformações.

Neste trabalho, realizamos a filtragem de imagens com nove diferentes filtros no domínio espacial, pertencentes às classes de filtros passa-baixa e passa-alta. A filtragem é uma importante etapa da transformação de imagens, utilizada para diversas finalidades, como redução de ruídos, redução de detalhes irrelevantes e realçamento de bordas e de pequenas descontinuidades.

Dessa maneira, os resultados obtidos pela aplicação de filtros permite a utilização de processamento de imagens para diversas aplicações do mundo real, como inspeção industrial, imagiologia médica, direção automática, detecção de objetos, entre muitas outras [2].

Na Seção 2 são apresentadas as bibliotecas utilizadas neste trabalho; na Seção 3 são descritas a saída e entrada de dados; na Seção 4 apresenta-se as técnicas empregadas para a aplicação dos filtros; na Seção 5 são apresentados os resultados e discussões; por fim, na Seção 6, apresenta-se a conclusão.

II. DEPENDÊNCIAS

Para a implementação dos algoritmos utilizados neste trabalho, as seguintes bibliotecas foram empregadas:

- numpy: usada para a manipulação dos *arrays* que representam as imagens.
- opencv: utilizada para a leitura e escrita de imagens, e para a aplicação dos filtros, por meio do método `filter2D`.
- scipy: utilizada para a aplicação de filtros por meio do método `convolve2d`.
- matplotlib: empregada para a apresentação das imagens.

III. ENTRADA E SAÍDA DE DADOS

As imagens utilizadas para os testes neste trabalho foram retiradas do [Site da Disciplina](#) e do Google Imagens, estando todas no formato PNG (*Portable Network Graphics*). Elas foram armazenadas em um diretório chamado `input_images`.

Para utilizá-las, em cada questão elas foram carregadas utilizando o trecho de código 1, em que o primeiro parâmetro indica o caminho da imagem e o segundo informa o formato para o qual queremos carregá-la, neste caso, 0 indica que carregaremos uma imagem no formato monocromático. A função empregada retorna um *array numpy* em que cada elemento representa a intensidade de um pixel da imagem.

```
image = cv.imread('input_images/name_image.png', 0)
```

Código 1: Carregar uma imagem com OpenCV.

Por sua vez, as imagens geradas - que também são representadas por *arrays numpy* no programa - são armazenadas, também no formato PNG, em dois diretórios, de acordo com a operação utilizada para filtragem: `output_images/open_corr_images`, para os resultados da correlação; e `output_images/scipy_conv_images`, para os da convolução. Para salvar as imagens, utilizamos o trecho de código 2, em que o primeiro argumento é o caminho onde salvaremos a imagem, sendo `subdir` um dos subdiretórios citados, e o segundo é a estrutura de dados que a representa.

```
cv.imwrite('output_images/subdir/name_image.png',  
          image)
```

Código 2: Salvar uma imagem com OpenCV.

Os algoritmos implementados neste trabalho foram escritos utilizando-se a plataforma [Jupyter Notebook](#). Dessa forma, o arquivo onde os algoritmos foram escritos possui a extensão `.ipynb`.

IV. QUESTÕES E SOLUÇÕES

Neste trabalho, foi pedido que aplicássemos nove filtros e explicássemos o efeito de cada um. A seguir, apresentamos os métodos empregados para a aplicação de cada filtro e descrevemos os tipos de filtro utilizados.

A. Construção e aplicação dos filtros

Na implementação deste trabalho, cada filtro foi construído como um *array numpy*. No trecho de código 3 pode ser visto um exemplo, em que a primeira linha apresenta a construção do filtro e as linhas restantes apresentam o resultado.

```
filter_h3 = np.array([[-1, 0, 1], [-2, 0, 2], [-1, 0, 1]])  
  
array([[ -1, 0, 1],  
       [ -2, 0, 2],  
       [ -1, 0, 1]])
```

Código 3: Implementação de um filtro.

Conforme visto na disciplina, um filtro pode ser aplicado por dois processos: a convolução e a correlação. Neste trabalho, aplicamos os dois processos para a comparação de resultados. Assim, para realizar a correlação, empregamos o método **filter2D** da biblioteca *opencv* e, para a convolução, utilizamos o método **convolve2d** da biblioteca *scipy*. Além de variar o tipo de operação de filtragem, também adotamos dois tipos diferentes de borda (ou *padding*): a constante, preenchida por zeros, e a reflexiva. Por fim, testamos cada combinação de filtro, operação e borda em três diferentes imagens e analisamos os resultados.

O método **filter2D** recebe como entrada, dentre outros parâmetros, a imagem sobre a qual queremos aplicar o filtro, a profundidade que queremos que a imagem de saída possua, o filtro e o tipo de borda que queremos utilizar (*padding*). No trecho de código 4, podemos observar um exemplo de filtragem realizada utilizando esse método. Um detalhe importante sobre ele é que os valores de intensidade das imagens resultantes são limitados à escala de cinza de [0,255]. Assim, resultados menores que zero são substituídos por zero, e aqueles maiores que 255, por 255.

```
filtered_images['image_h1'] = cv.filter2D(image, -1,
                                         filter_h1, borderType=cv.BORDER_CONSTANT)
```

Código 4: Exemplo de filtragem usando o método *filter2D*.

Já o método **convolve2d** recebe como parâmetros a imagem, o filtro, o tipo de borda e o tipo de resultado (se a imagem gerada terá as mesmas dimensões da original ou não). No trecho de código 5, podemos observar um exemplo de sua utilização. É importante destacar que, ao contrário do que acontece com o *filter2D*, o *convolve2d* pode gerar imagens com valores negativos, além de valores positivos bem maiores do que 255. Isso acontece porque ela gera imagens com tipo de dados *int64*.

```
filtered_images['image_h1']=signal.convolve2d(image,
                                              filter_h1, boundary='fill', mode='same')
```

Código 5: Exemplo de filtragem usando o método *convolve2d*.

As imagens geradas são armazenadas em dois dicionários chamados *open_corr_images* e *scipy_conv_images* – também de acordo com o tipo de operação de filtragem –, em que a chave indica o tipo de operação, o filtro empregado, o tipo de borda e a imagem filtrada. Um exemplo pode ser visto no trecho de código 6. Como realizamos o *padding* da imagem original, a imagem resultante possui as mesmas dimensões da primeira e também é armazenada na forma de um *array numpy*.

```
scipy_conv_images['conv_filter_h1_const_seagull']
open_corr_images['corr_filter_h5_symm_window']
```

Código 6: Exemplo dos dicionários e suas chaves.

B. Filtros passa-baixa

Filtros passa-baixa, ou de suavização, são empregados para a diminuição da presença de transições de intensidade abruptas em imagens. Isso permite que eles sejam utilizados para

o borramento de imagens, de maneira a reduzir detalhes irrelevantes e facilitar a extração de objetos, para a redução de ruídos e para o preenchimento de lacunas. Entretanto, como um efeito colateral indesejado está o borramento das bordas, que são características importantes de uma imagem e também são representadas por transições nítidas de intensidade [2].

Neste trabalho, dois filtros passa-baixa foram propostos, sendo um conhecido como filtro espacial da média e o outro como filtro gaussiano, mostrados na Figura 1.

$$h_6 = \frac{1}{9} \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad h_2 = \frac{1}{256} \begin{matrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{matrix}$$

(a) Filtro da média 3x3.

(b) Filtro gaussiano 5x5.

Figura 1: Filtros passa-baixa utilizados no trabalho.

O filtro da média tem a característica de atribuir a um determinado *pixel* na posição (x,y) a média de seus vizinhos, sendo ele incluído nessa operação. Essa média também pode ser ponderada, em que pesos diferentes são aplicados a coeficientes distintos do filtro, de forma que determinados pixels da vizinhança tenham mais influência do que outros para o cálculo do novo pixel. É importante lembrar que, como estamos falando de média, os coeficientes do filtro são divididos pela soma de seus pesos.

Já o filtro gaussiano é construído baseando-se na função gaussiana para as variáveis espaciais x e y, em que o desvio padrão σ determina o grau de suavização da imagem - quanto maior o valor de σ , maior a suavização. Assim, é possível observar, pelos coeficientes de um determinado filtro gaussiano, que quanto mais próximos os vizinhos estão do *pixel* central, maior é sua importância (coeficiente maior), que essa influência vai diminuindo com a distância e que, quanto maior forem as dimensões do filtro, maior será a suavização.

C. Filtros passa-alta

Os filtros passa-alta, ou de nitidez, são utilizados para destacar regiões de transição de intensidade, enfatizando bordas e outras descontinuidades, e eliminando áreas em que as intensidades mudam lentamente [2].

Os filtros desse tipo costumam gerar descontinuidades acinzentadas sobre fundos pretos (sem informação). Uma maneira de recuperar a informação contida no fundo, é somar a imagem resultante da filtragem à imagem original [2].

Neste trabalho, foram utilizados os filtros laplacianos 5x5 e 3x3, os operadores de Sobel, o gradiente e os filtros de diagonal principal e secundária 3x3. Eles são mostrados na Figura 2, exceto o gradiente, que é obtido pela combinação dos operadores de Sobel.

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

(a) Filtro laplaciano 5x5.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

(b) Filtro laplaciano 3x3.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(c) Operador de sobel vertical.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(d) Operador de sobel horizontal.

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

(e) Filtro de diagonal secundária. (f) Filtro de diagonal principal.

Figura 2: Filtros passa-alta utilizados no trabalho.

D. Problemas durante a implementação

No trabalho, foi pedido que combinássemos os resultados dos filtros h_3 e h_4 , através da operação $\sqrt{h_3^2 + h_4^2}$. De acordo com o que entendi nas aulas, isso poderia ser feito de duas maneiras: a primeira seria fazer a combinação dos filtros conforme a expressão indicada e aplicar o resultado à imagem a ser filtrada; e a segunda seria realizar a operação sobre as imagens resultantes da filtragem por cada um dos filtros separadamente.

Ao tentar a primeira abordagem, não houve sucesso. Primeiro tentamos filtrar a imagem original, o que resultou em uma imagem aparentemente branca. Depois, tentamos normalizar a imagem de entrada e obtivemos uma imagem com a maioria dos valores muito próximos de zero (escura). Então, tentamos normalizar apenas a imagem de saída. Empregando a convolução, obtivemos uma imagem próxima à original. Já, com a correlação, o resultado ficou aparentemente branco, provavelmente devido ao ajuste de escala de cinza que o método *filter2D* realiza sobre a imagem resultante. Por fim, tentamos normalizar as imagens de entrada e de saída e o resultado, tanto para a convolução como para a correlação, foi próximo à imagem original, o que não era desejado.

Tendo falhado na primeira abordagem, tentamos a segunda. Primeiramente, filtramos as imagens originais e ambas apresentaram resultados semelhantes aos esperados. Para o cálculo

da correlação, foi preciso converter o tipo de dados da imagem de entrada para *float*, pois estava dando erro para mostrar e salvar a imagem resultante. Depois, testamos normalizar a imagem de entrada, resultando em imagens aparentemente pretas. Então, testamos normalizar apenas a imagem de saída e obtivemos um resultado próximo aquele quando empregamos a imagem original, mas com intensidades menos elevadas. Por último, tentamos normalizar as imagens de entrada e saída, também obtendo valores próximos dos esperados.

Dessa maneira, escolhemos empregar a segunda abordagem: realizar as operações com as imagens resultantes da aplicação de cada filtro separadamente. Para isso, passamos para o método de convolução a imagem original e, para o de correlação, a imagem com o tipo de dados convertido para *float*.

Essa combinação foi escolhida por fornecer resultados próximos do esperado e exigir menos operações sobre as imagens. Entretanto, ainda resta a dúvida de por que a primeira abordagem não funcionou.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos próximos parágrafos, apresentamos os testes realizados e os resultados obtidos para cada uma das combinações de filtro, operação e tipo de borda. Eles foram agrupados em subseções, de acordo com algumas características em comum entre os tipos de filtro.

A. Filtros h_1 e h_5

O filtro h_1 é um Laplaciano de dimensões 5 x 5. Filtros laplacianos são classificados como passa-alta e são empregados para destacar mudanças abruptas de intensidade em uma imagem, sendo muito bons no realce de detalhes finos. Isso o dá a propriedade positiva de destacar detalhes em imagens, tornando-as mais nítidas, ao passo que tem o efeito colateral negativo de também destacar ruídos.

Como o Laplaciano é baseado nas propriedades de diferenciação, regiões com intensidades constantes, ou com uma mudança gradual e constante de intensidade, são levadas a zero, formando fundos pretos. Além disso, os coeficientes negativos do filtro também contribuem para a formação de fundos pretos, uma vez que eles podem gerar valores de *pixel* negativos. Já, como as regiões como bordas e ruídos possuem *pixels* próximos com grande diferença de intensidade, elas recebem valores mais altos após a filtragem, fazendo com que seus *pixels* possuam maior intensidade que o restante.

Ademais, assim como acontece com os outros filtros, a magnitude de seus coeficientes aumenta ou diminui a importância dos *pixels* da imagem que são multiplicados por eles. Além de que seus valores determinam a direção em que as descontinuidades serão mais destacadas.

Como o filtro h_1 é simétrico em relação à rotação de 180 graus, as imagens geradas pela convolução e pela correlação devem ser semelhantes. E, de acordo com seus coeficientes, deve-se destacar descontinuidades em todas as direções: vertical, horizontal e diagonal.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram as imagens originais utilizadas para os testes, enquanto as Figuras 6 e 7 apresentam os resultados da correlação e da convolução na aplicação do filtro $h1$, respectivamente.



Figura 3: Imagem original 1 - *Butterfly*.



Figura 4: Imagem original 2 - *Seagull*.

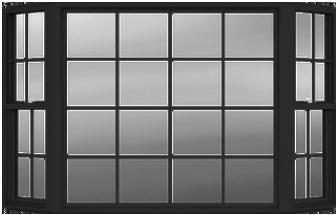
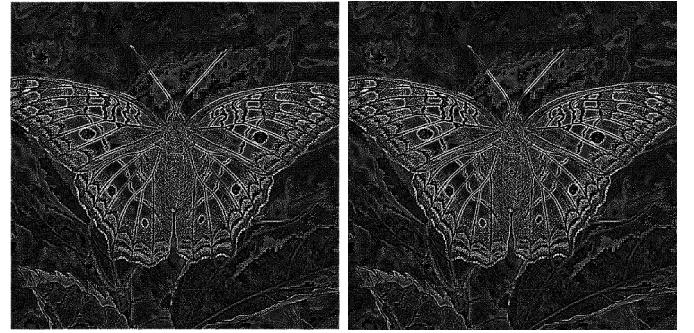


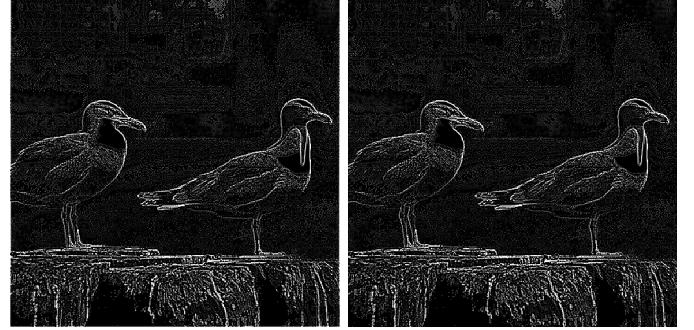
Figura 5: Imagem original 3 - *Window*.

Conforme observado nas Figuras 6 e 7, os resultados da convolução e da correlação são semelhantes. Além disso, ao compararmos eles às imagens originais, percebemos que vários detalhes foram destacados e as regiões com valores de *pixel* mais próximos foram escurecidas, como esperado. Apesar disso, o ruído também foi destacado, o que pode ser visto melhor na Figura 10a, que apresenta, como exemplo, o resultado da soma da Figura 6a com a imagem original. Por fim, também podemos perceber que as descontinuidades foram destacadas em todas as direções, como pode ser visto na Figura 6e.

O filtro $h5$, por sua vez, é um Laplaciano 3×3 , cujo *pixel* de maior influência é o central. Conforme podemos observar nas Figuras 8 e 9, a convolução e a correlação produziram



(a) Correlação, filtro $h1$, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro $h1$, borda reflexiva, butterfly



(c) Correlação, filtro $h1$, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro $h1$, borda reflexiva, seagull



(e) Correlação, filtro $h1$, borda constante, window (f) Correlação, filtro $h1$, borda reflexiva, window

Figura 6: Resultado da correlação com o filtro $h1$ para diferentes tipos de borda.

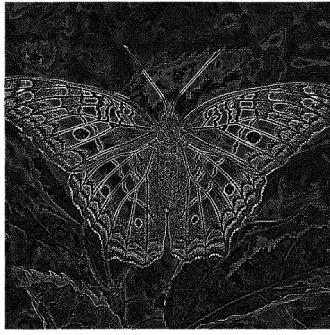
resultados semelhantes, o que é esperado, já que esse filtro também é simétrico em relação à rotação de 180 graus.

Ao compararmos seus resultados com o do filtro $h1$, vemos que ele destaca menos detalhes. Entretanto, ele possui a vantagem de destacar menos ruído, como pode ser observado na Figura 10b.

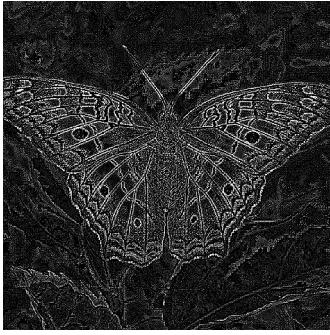
Com relação aos tipos de borda, a diferença encontrada foi que, ao fazermos o *padding* com uma borda constante preenchida com zeros, as imagens resultantes apresentaram uma borda clara ao seu redor, ao passo que aquelas geradas pela reflexão da borda não apresentaram.

B. Filtros $h3$ e $h4$

Os filtros $h3$ e $h4$ são conhecidos como operadores de Sobel e são utilizados para o cálculo do gradiente. O filtro $h3$ é empregado para o cálculo da mudança das intensidades de uma imagem na direção vertical, facilitando a identificação de descontinuidades que seguem essa direção, ao passo que



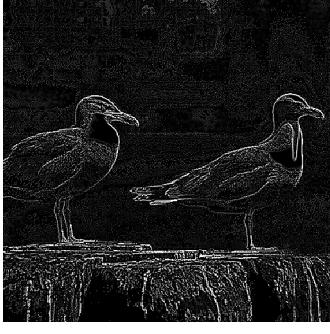
(a) Convolução, filtro h1, borda constante, butterfly



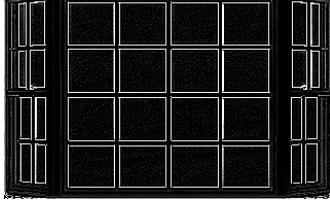
(b) Convolução, filtro h1, borda reflexiva, butterfly



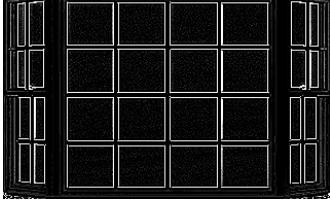
(c) Convolução, filtro h1, borda constante, seagull



(d) Convolução, filtro h1, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h1, borda constante, window



(f) Convolução, filtro h1, borda reflexiva, window

Figura 7: Resultado da convolução com o filtro h1 para diferentes tipos de borda.

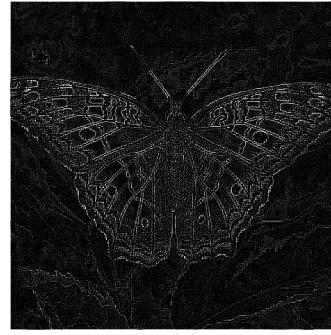
o filtro h4 realiza a detecção de descontinuidades na direção horizontal.

Ambos os filtros são passa-alta, o que significa que também podem ser utilizados para o realce de detalhes e bordas em uma imagem, assim como de ruídos. Como os coeficientes centrais das colunas e linhas ímpares nos filtros h3 e h4, respectivamente, possuem magnitude maior, os *pixels* cobertos por eles possuem maior importância.

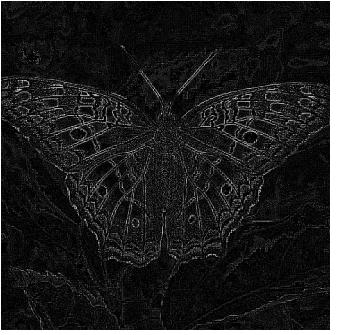
As Figuras 11 e 12 apresentam os resultados da aplicação do filtro h3 por meio da correlação e da convolução, respectivamente. Já, as Figuras 13 e 14 mostram os da aplicação do filtro h4.

Assim como aconteceu com os filtros laplacianos, as regiões de intensidade constante, ou que possuíam uma mudança lenta de intensidade, foram levadas a valores menores ou iguais a zero, gerando fundos pretos.

Já, ao contrário dos filtros laplacianos, os filtros h3 e h4 não são simétricos com relação à rotação de 180 graus. Dessa



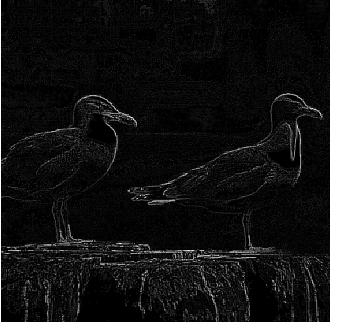
(a) Correlação, filtro h5, borda constante, butterfly



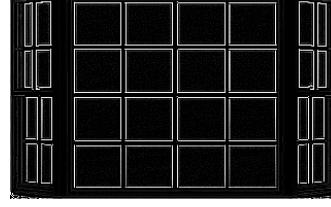
(b) Correlação, filtro h5, borda reflexiva, butterfly



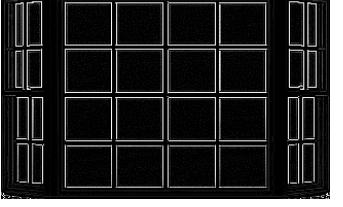
(c) Correlação, filtro h5, borda constante, seagull



(d) Correlação, filtro h5, borda reflexiva, seagull



(e) Correlação, filtro h5, borda constante, window



(f) Correlação, filtro h5, borda reflexiva, window

Figura 8: Resultado da correlação com o filtro h5 para diferentes tipos de borda.

maneira, a convolução e a correlação devem gerar imagens com características diferentes. Isso pode ser observado nas Figuras 11c e 12c para o filtro h3, em que a convolução destacou principalmente as bordas esquerdas dos objetos nas imagens, enquanto a correlação deu maior destaque às bordas da direita; e nas Figuras 13c e 14c para o filtro h4, em que a convolução destacou mais as bordas superiores, à medida que a correlação forneceu mais destaque às inferiores.

Aos observarmos as imagens geradas pelo filtro h3, podemos perceber que os detalhes em direção vertical foram os mais realçados, conforme esperado. O mesmo aconteceu para os resultados da aplicação do filtro h4, mas para as descontinuidades na direção horizontal.

Nas Figuras 3, 11a e 13a podemos observar mais um detalhe interessante, que mostra a diferença entre os dois filtros. Existe uma fina linha horizontal na imagem original, que não é realçada o suficiente pelo filtro h3 - o qual destaca melhor detalhes verticais -, mas que torna-se mais perceptível nas

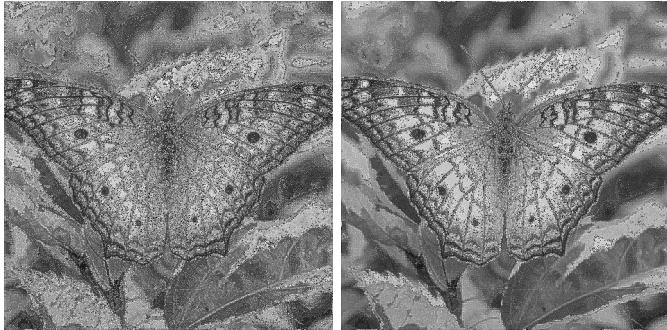


(a) Convolução, filtro h5, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h5, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h5, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h5, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h5, borda constante, window (f) Convolução, filtro h5, borda reflexiva, window

Figura 9: Resultado da convolução com o filtro h5 para diferentes tipos de borda.



(a) Exemplo de ruído do filtro h1. (b) Exemplo de ruído do filtro h5.

Figura 10: Exemplos de ruído dos filtros h1 e h5.

imagens geradas pela aplicação do filtro h4.

Mais um detalhe importante é que os filtros h3 e h4 permitiram observar pequenas descontinuidades que não eram muito visíveis na imagem original, e que os filtros laplacianos não permitiram, como pode ser visto na parte inferior da Figura 15, que mostra o resultado da soma da Figura 13a com a imagem original. Nota-se, também, que os ruídos realçados pelos filtros h3 e h4 foram menores do que aqueles obtidos pela aplicação dos filtros laplacianos. Isso se deve a uma resposta média mais forte desse tipo de filtro (h3 e h4) em regiões de grande mudança de intensidade [2].

Com relação ao tipo de borda da imagem, ao aplicarmos um *padding* reflexivo, nenhuma delas foi destacada. Ao passo que, ao usarmos uma borda constante preenchida com zeros, o filtro h3 destacou a borda esquerda na correlação e a direita na convolução. Já o filtro h4 destacou a borda superior na

correlação e a inferior na convolução. Esse comportamento pode ser entendido ao imaginarmos uma moldura de um retrato sendo iluminada por uma lanterna: ao iluminarmos a partir da direita, enxergaremos a borda esquerda e, ao iluminarmos a partir de baixo, enxergaremos a borda superior.

C. Filtro gradiente $\sqrt{h_3^2 + h_4^2}$

O filtro resultante da combinação dos filtros h3 e h4 pelas operações de potenciação e raiz quadrada é chamado de Gradiente. Ele também é um filtro passa-alta, usado para destacar regiões de rápida mudança de intensidades, como bordas e outros tipos de descontinuidades.

Nas Figuras 16 e 17, podemos observar os resultados de sua aplicação para a correlação e a convolução, respectivamente. Conforme pode ser observado, esse filtro reúne as propriedades dos outros dois, conseguindo destacar melhor detalhes em ambas as direções, e realçando detalhes ainda mais específicos do que aqueles observados pela aplicação dos filtros h3 e h4 separadamente. Além disso, ele também produz menor ruído, pelo mesmo motivo explicado na subseção anterior.

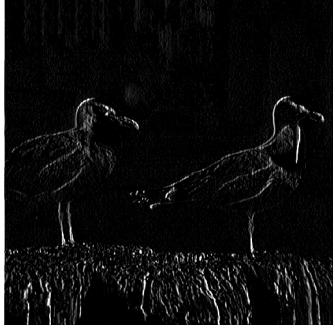
Entretanto, ao observarmos a diferença entre as imagens resultantes da convolução e da correlação, estas últimas parecem ter apresentado melhores resultados com relação ao realçamento de detalhes, o que pode indicar que a correlação pode ser melhor para filtragens com o gradiente. Um dos motivos que podem ter contribuído para o menor desempenho da convolução é o fato de esta gerar valores negativos – os quais produzem regiões escuas –, que, ao serem elevados ao quadrado, tornam-se positivos. Dependendo da magnitude desses valores, regiões escuas podem se tornar claras. Um detalhe interessante, todavia, é que a convolução realçou melhor o contorno de certas partes das imagens os quais a



(a) Correlação, filtro h3, borda constante, butterfly



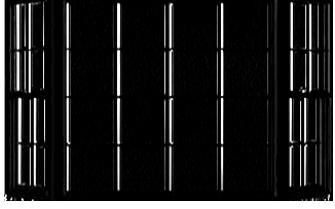
(b) Correlação, filtro h3, borda reflexiva, butterfly



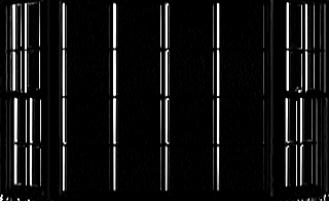
(c) Correlação, filtro h3, borda constante, seagull



(d) Correlação, filtro h3, borda reflexiva, seagull



(e) Correlação, filtro h3, borda constante, window



(f) Correlação, filtro h3, borda reflexiva, window

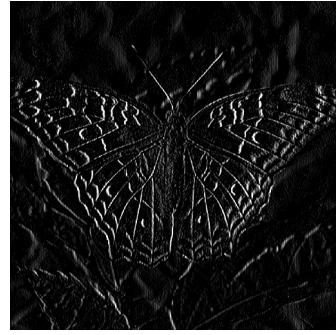
Figura 11: Resultado da correlação com o filtro h3 para diferentes tipos de borda.

correlação não realçou. Um exemplo disso pode ser observado na Figura 17a.

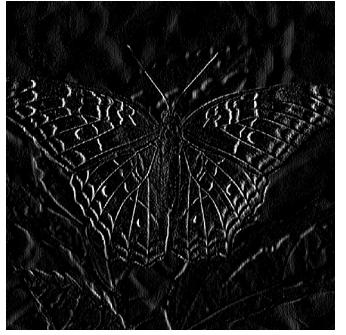
Com relação aos tipos de borda das imagens, novamente o *padding* por reflexão não gerou bordas visíveis. Já o *padding* constante produziu bordas no lado esquerdo e no superior, para a correlação, e em todos os lados, para a convolução. Ambos os comportamentos são esperados, uma vez que, na correlação, o filtro h3 realçou a borda esquerda e o filtro h4, a superior. Já o comportamento da convolução pode ser explicado pelo que foi descrito no parágrafo anterior, que diz que a convolução se sobressaiu no realce de contornos, ou seja, de ambos os lados de uma borda, não incluindo seu preenchimento.

D. Filtros h7 e h8

Os filtros h7 e h8 também são passa-alta, sendo empregados na detecção de diagonais secundárias e principais, respectivamente. Como eles são filtros simétricos em relação à rotação de 180 graus, é esperado que a convolução e a correlação



(a) Convolução, filtro h3, borda constante, butterfly



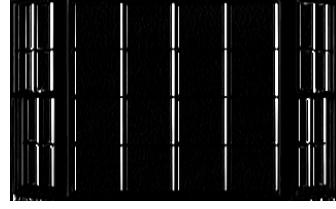
(b) Convolução, filtro h3, borda reflexiva, butterfly



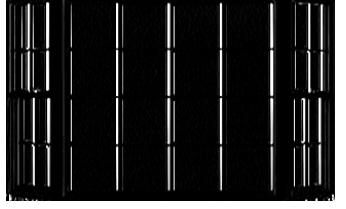
(c) Convolução, filtro h3, borda constante, seagull



(d) Convolução, filtro h3, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h3, borda constante, window



(f) Convolução, filtro h3, borda reflexiva, window

Figura 12: Resultado da convolução com o filtro h3 para diferentes tipos de borda.

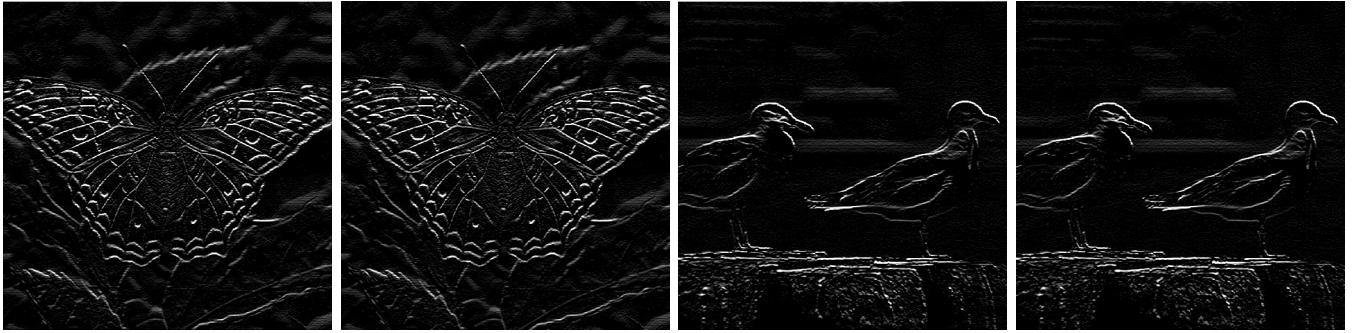
resultem em imagens semelhantes, o que pode ser observado nas Figuras 18 e 19, para o filtro h7, e nas Figuras 20 e 21, para o filtro h8.

Além disso, comparando as Figuras 18e e 20e, podemos observar como os filtros realçam melhor certos detalhes em uma mesma imagem e que a direção dos detalhes destacados segue a direção dos filtros.

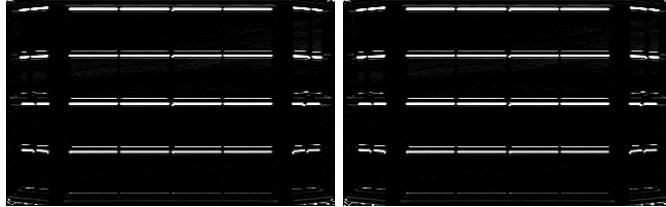
Com relação ao ruído, os filtros h7 e h8 parecem realçar menos do que os filtros laplacianos e mais do que o gradiente. Já, com relação às bordas das imagens, ambos os tipos não geram bordas que se destaque. Entretanto, o *padding* com zeros gera pequenas regiões com elevadas intensidades nos cantos das imagens, de acordo com a direção do filtro.

E. Filtros h2 e h6

O filtro h6 é conhecido como filtro da média e o h2 como filtro gaussiano, sendo ambos filtros passa-baixa. Eles são empregados para a suavização de imagens, de maneira a borrar

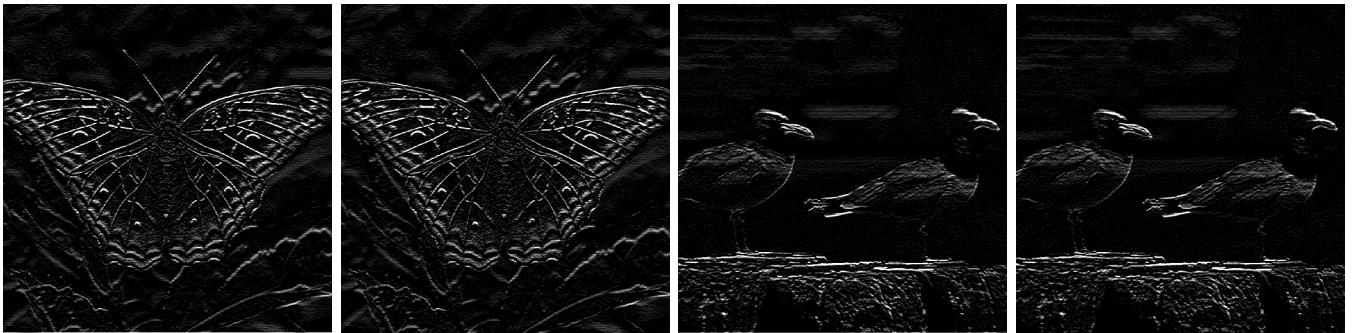


(a) Correlação, filtro h4, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro h4, borda reflexiva, butterfly (c) Correlação, filtro h4, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro h4, borda reflexiva, seagull

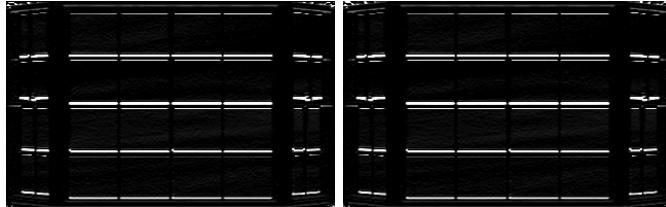


(e) Correlação, filtro h4, borda constante, window (f) Correlação, filtro h4, borda reflexiva, window

Figura 13: Resultado da correlação com o filtro h4 para diferentes tipos de borda.



(a) Convolução, filtro h4, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h4, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h4, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h4, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h4, borda constante, window (f) Convolução, filtro h4, borda reflexiva, window

Figura 14: Resultado da convolução com o filtro h4 para diferentes tipos de borda.

os objetos contidos nelas e a reduzir ruídos.

Quanto maior é o tamanho desses filtros, mais forte é a suavização obtida. Entretanto, um dos efeitos negativos é o borramento das bordas, as quais são características importantes da imagem e que geralmente são realçadas ao invés de borradas.

Ambos os filtros são simétricos com relação à rotação de 180 graus, ou seja, a correlação e a convolução devem gerar re-

sultados semelhantes. Podemos observar esse comportamento nas Figuras 22 e 23, para o filtro h2, e nas Figuras 24 e 25, para o filtro h6.

Com relação às bordas das imagens, o emprego de *padding* com zero parece ter gerado bordas mais borradas do que quando aplicamos o *padding* por reflexão, para ambos os filtros. Isso pode ser devido ao fato de os valores resultantes do *padding* com zero estarem mais distantes do valor original,

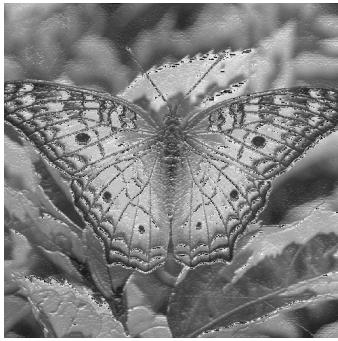
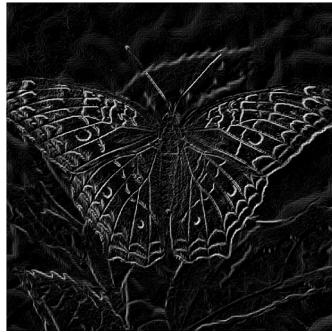


Figura 15: Exemplo de nitidez produzida pelo filtro h4.



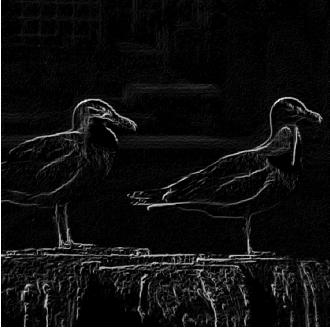
(a) Correlação, gradiente, borda constante, butterfly



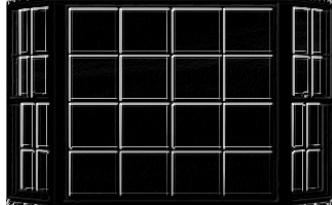
(b) Correlação, gradiente, borda reflexiva, butterfly



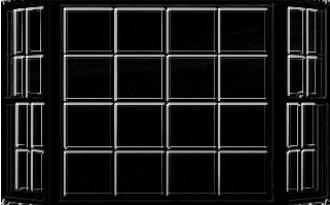
(c) Correlação, filtro h4, borda constante, seagull



(d) Correlação, gradiente, borda reflexiva, seagull



(e) Correlação, gradiente, borda constante, window



(f) Correlação, gradiente, borda reflexiva, window

Figura 16: Resultado da correlação com o gradiente para diferentes tipos de borda.

devido ao grande número de zeros utilizados para o cálculo da média.

É possível observar, também, que as bordas dos objetos, em todas as imagens, estão mais suavizadas, conforme esperado. Entretanto, não é possível perceber a diferença, visualmente,



(a) Convolução, gradiente, borda constante, butterfly



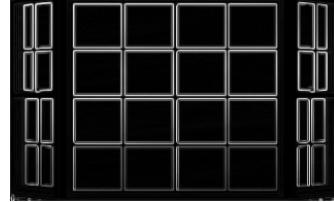
(b) Convolução, gradiente, borda reflexiva, butterfly



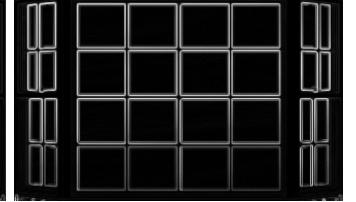
(c) Convolução, gradiente, borda constante, seagull



(d) Convolução, gradiente, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, gradiente, borda constante, window



(f) Convolução, gradiente, borda reflexiva, window

Figura 17: Resultado da convolução com o gradiente para diferentes tipos de borda.

entre os resultados do filtro h2 e do filtro h6, o que é influenciado, provavelmente, pelas suas pequenas dimensões.

VI. CONCLUSÃO

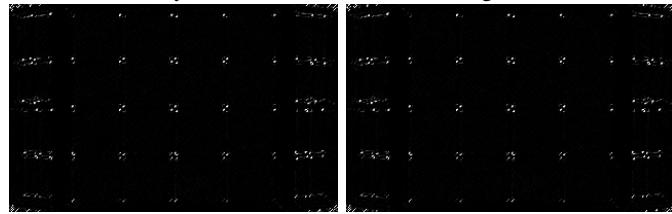
Conforme pode ser observado, conseguimos fazer o que foi pedido no Trabalho 02, limitando-se, entretanto, a imagens monocromáticas. Foram aplicados sete filtros passa-alta e dois filtros passa-baixa sobre três imagens diferentes, empregando correlação e convolução, e adotando dois tipos de bordas diferentes. Foi possível observar como as diferentes configurações utilizadas influenciam os resultados e contribuem, de maneira positiva ou negativa, para a extração de características das imagens.

REFERÊNCIAS

- [1] H. Pedrini and W. R. Schwartz, *Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações*. Thomson Learning, 2008. 1
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and B. R. Masters, “Digital image processing third edition,” Pearson International Edition, 2008. 1, 2, 6



(a) Correlação, filtro h7, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro h7, borda reflexiva, butterfly (c) Correlação, filtro h7, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro h7, borda reflexiva, seagull

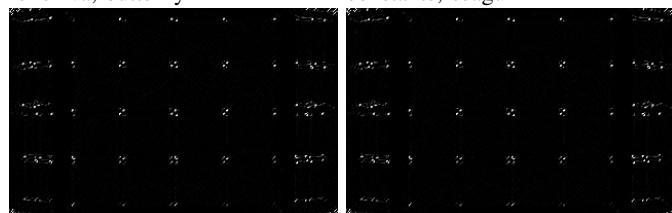


(e) Correlação, filtro h7, borda constante, window (f) Correlação, filtro h7, borda reflexiva, window

Figura 18: Resultado da correlação com o filtro h7 para diferentes tipos de borda.

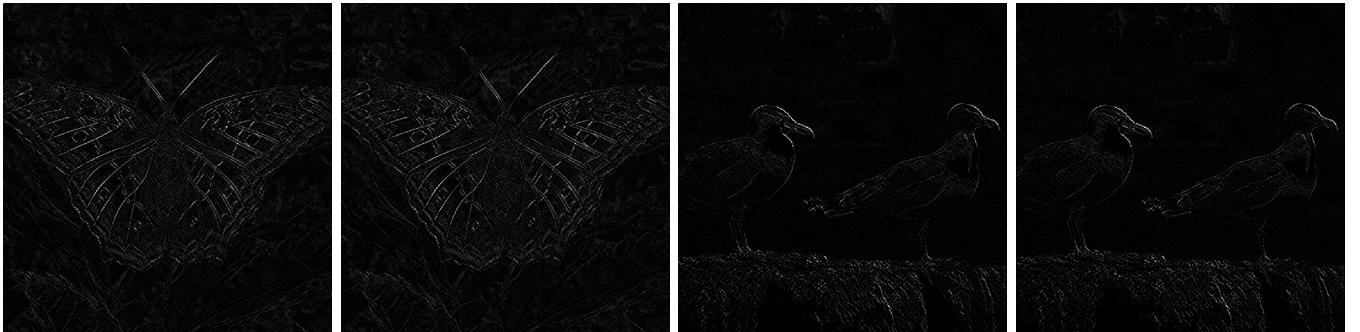


(a) Convolução, filtro h7, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h7, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h7, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h7, borda reflexiva, seagull

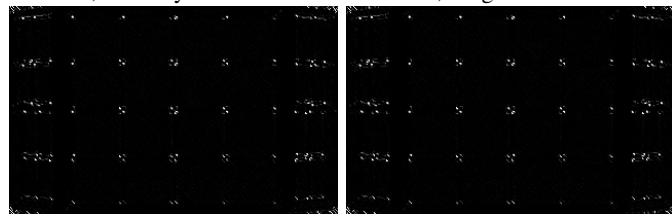


(e) Convolução, filtro h7, borda constante, window (f) Convolução, filtro h7, borda reflexiva, window

Figura 19: Resultado da convolução com o filtro h7 para diferentes tipos de borda.



(a) Correlação, filtro h8, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro h8, borda reflexiva, butterfly (c) Correlação, filtro h8, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro h8, borda reflexiva, seagull

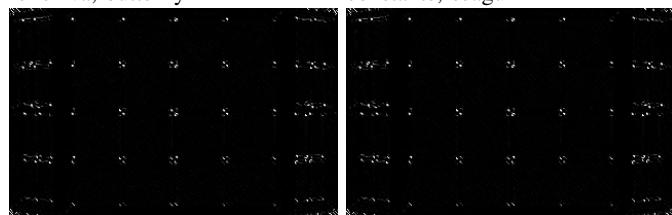


(e) Correlação, filtro h8, borda constante, window (f) Correlação, filtro h8, borda reflexiva, window

Figura 20: Resultado da correlação com o filtro h8 para diferentes tipos de borda.



(a) Convolução, filtro h8, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h8, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h8, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h8, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h8, borda constante, window (f) Convolução, filtro h8, borda reflexiva, window

Figura 21: Resultado da convolução com o filtro h8 para diferentes tipos de borda.



(a) Correlação, filtro h2, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro h2, borda reflexiva, butterfly (c) Correlação, filtro h2, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro h2, borda reflexiva, seagull

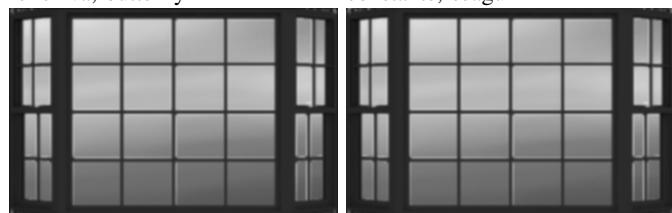


(e) Correlação, filtro h2, borda constante, window (f) Correlação, filtro h2, borda reflexiva, window

Figura 22: Resultado da correlação com o filtro h2 para diferentes tipos de borda.



(a) Convolução, filtro h2, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h2, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h2, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h2, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h2, borda constante, window (f) Convolução, filtro h2, borda reflexiva, window

Figura 23: Resultado da convolução com o filtro h2 para diferentes tipos de borda.



(a) Correlação, filtro h6, borda constante, butterfly (b) Correlação, filtro h6, borda reflexiva, butterfly (c) Correlação, filtro h6, borda constante, seagull (d) Correlação, filtro h6, borda reflexiva, seagull

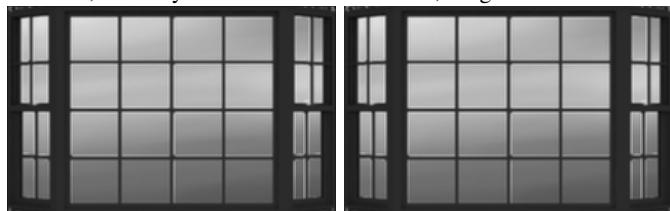


(e) Correlação, filtro h6, borda constante, window (f) Correlação, filtro h6, borda reflexiva, window

Figura 24: Resultado da correlação com o filtro h6 para diferentes tipos de borda.



(a) Convolução, filtro h6, borda constante, butterfly (b) Convolução, filtro h6, borda reflexiva, butterfly (c) Convolução, filtro h6, borda constante, seagull (d) Convolução, filtro h6, borda reflexiva, seagull



(e) Convolução, filtro h6, borda constante, window (f) Convolução, filtro h6, borda reflexiva, window

Figura 25: Resultado da convolução com o filtro h6 para diferentes tipos de borda.