

Paulo Francisco Martins dos Passos

**Identificação e segmentação de elementos em
uma partitura musical.**

Curitiba

2019

Paulo Francisco Martins dos Passos

**Identificação e segmentação de elementos em uma
partitura musical.**

Projeto de Conclusão de Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Giselle Lopes Ferrari

Universidade Federal do Paraná

Setor de Tecnologia

Curso de Engenharia Elétrica

Curitiba

2019

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu pai e minha mãe, Antônio e Sandra Carla, por sempre me darem apoio e incentivo para usar minha imaginação. Ao meu irmão e minha irmã, Fernando e Marcela, por me incentivarem a fazer as coisas da melhor forma possível. À minha prima, Izabela, por me aguentar durante esse último ano, e a todos os tios e primos que fizeram parte do dia-a-dia desses últimos anos.

À minha orientadora, Giselle Lopes Ferrari, por aceitar participar desse trabalho, e por me incentivar a me aprofundar ainda mais. Um agradecimento também à minha professora de piano, Solange, por me guiar no mundo musical durante tantos anos.

E por último, a todas aquelas pessoas que posso chamar de minhas amigas, e que me ajudaram direta ou indiretamente com esse projeto. À Ana Girassol, Bruno, Johnathon, Rodolfo e Yasmin por me manterem companhia durante tantos anos. Aos amigos que fiz na elétrica, Aphek, Caroline, Daniel, Guilherme, Ishmael, Leandro, Leonardo, Rafael, Roberto e Yosef, pelas várias sessões de estudo e as diversas horas de entretenimento. Ao Clube do Livro AFB - Ádria, Akemi, Bia, Emily, Laís, Larissa, Laura, Marina, Mateus, Mayumi, Rebeca, Solaine e Trix- pelas muitas conversas sobre os mais diversos temas e todo o apoio possível. E também a todos aqueles que não posso citar por falta de espaço. A presença de vocês na minha vida é algo pela qual sempre serei grato.

"Do Mi Sol Ti."

"We're making music."

"What's the point? You're not 'making' anything."

"Well, if it isn't anything, then why does it sound so good?"

(Steven Universe)

Resumo

A área de Reconhecimento Ótico Musical (OMR) diz respeito à identificação e interpretação de partituras, da mesma forma que a área de Reconhecimento Ótico de Caracteres (OCR) busca realizar a transição de textos manuscritos ou impressos em arquivos digitais. No entanto, o OMR ainda apresenta muitos desafios, devido às dificuldades existentes dentro da área de reconhecimento de imagem e a complexidade das partituras. Esse trabalho visa expor algumas dessas dificuldades, bem como uma maneira de contorná-las com o uso de diversas técnicas de processamento digital de imagens, analisando quais se mostram mais efetivas, e assim facilitar o aprendizado da música de forma autodidata.

Palavras-chaves: Processamento digital de imagem. Reconhecimento ótico de música. Partitura musical.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Um exemplo de partitura. Mesmo sendo uma música de fácil execução, sua notação apresenta diversos desafios para o reconhecimento ótico.	8
Figura 2 – A pauta.	10
Figura 3 – A clave de sol em sua posição na segunda linha. Da esquerda para a direita, as notas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si.	11
Figura 4 – A clave de fá em sua posição na quarta linha. Da esquerda para a direita, as notas dó, si, lá, sol, fá, mi e ré.	11
Figura 5 – A clave de dó, aqui representada na terceira linha.	11
Figura 6 – Os valores musicais que uma nota pode assumir, da esquerda para direita: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semicolcheia, fusa e semifusa.	12
Figura 7 – As notas musicais em diversas alturas diferentes. Note as linhas extras presentes em algumas notas.	12
Figura 8 – Um conjunto de colcheias, semicolcheias e fusas, da esquerda para direita.	12
Figura 9 – Um grupo de colcheias, um de semicolcheias e um com ambas.	13
Figura 10 – Quatro semínimas e duas mínimas, respectivamente, em alturas diferentes.	13
Figura 11 – As pausas, da esquerda para a direita: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semi-colcheia, fusa e semi-fusa.	13
Figura 12 – Os acidentes musicais, da esquerda para direita: sustenido, bequadro, bemol, dobrado sustenido e dobrado bemol.	14
Figura 13 – Da esquerda para direita, de cima para baixo, começando pelo canto superior esquerdo: um conjunto (A); um elemento estruturante quadrangular, com o centro no ponto; a dilatação de A por esse elemento; um elemento estruturante retangular com o centro no ponto; a dilatação de A por esse elemento.	16
Figura 14 – Da esquerda para direita, de cima para baixo, começando pelo canto superior esquerdo: um conjunto (A); um elemento estruturante quadrangular, com o centro no ponto; a erosão de A por esse elemento; um elemento estruturante retangular com o centro no ponto; a erosão de A por esse elemento.	17
Figura 15 – Fluxograma do trabalho.	18
Figura 16 – Uma das partituras usadas para teste e sua projeção vertical.	20
Figura 17 – Comparação entre dois métodos de remoção de pauta.	21
Figura 18 – Primeira etapa do PDI.	22
Figura 19 – Etapas finais do PDI.	23

Lista de abreviaturas e siglas

OCR *Optical Character Recognition*

OMR *Optical Music Recognition*

PDI Processamento Digital de Imagens

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivos	9
1.1.1	Objetivo Geral	9
1.1.2	Objetivos específicos	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	Notação Musical	10
2.1.1	Pauta	10
2.1.2	Claves	11
2.1.3	Notas	12
2.1.3.1	Valores Musicais	12
2.1.3.2	Altura	13
2.1.4	Pausas	13
2.1.5	Acidentes	14
2.2	Processamento Digital de Imagens	14
2.2.1	Histograma	14
2.2.2	Limiarização	14
2.2.3	Morfologia Matemática	15
2.2.4	Extração de Características	15
2.2.5	Segmentação	16
2.3	OMR	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	24
	REFERÊNCIAS	25

1 Introdução

A música faz parte do dia a dia do ser humano desde tempos antigos, e por causa disso a necessidade de representar essas músicas de forma que outras pessoas pudessem reproduzi-las novamente surgiu. Existem diversas formas de notação musical, sendo que a mais usada atualmente consiste no uso de cinco linhas, chamadas de pauta, nas quais são escritas as notas, pausas entre outros elementos. Um exemplo dessa forma de notação pode ser visto na figura 1.

The Woman And The Bird

Composed by LENA RAINE (ASCAP)
Transcribed by DAVID PEACOCK

Freely, calmly ($\text{♩} = 90$)

THE WOMAN AND THE BIRD from Celeste: Farewell © 2018 Lena Raine (ASCAP). Transcribed by David Peacock
This transcription © 2019 MATERIA COLLECTIVE LLC.
All Rights Reserved. Used With Permission.

Figura 1 – Um exemplo de partitura. Mesmo sendo uma música de fácil execução, sua notação apresenta diversos desafios para o reconhecimento ótico.

Fonte: Lena Raine e David Peacock.

A interpretação de uma partitura, mesmo que ela seja simples, envolve um nível de análise de elementos que é de alta complexidade para computadores. Já existem alguns

softwares na área de OMR, tais como *Smartscore*¹ e *PhotoScore*². No entanto, eles estão disponíveis somente para plataformas como *Windows* e *MacOS*, além de serem pagos, com valores a partir de US\$ 100,00.

Tendo isso em mente, esse trabalho busca desenvolver um software capaz de realizar, mesmo que a um nível básico, a identificação das notas, pausas e outros elementos comuns em partituras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um software que recebe um arquivo de imagem contendo uma partitura para piano, localizar e segmentar os elementos relevantes à música presentes nela.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Localização e remoção da pauta;
- b) Reconstrução parcial da partitura;
- c) Identificação dos elementos dentro da partitura;
- d) Segmentação de tais elementos.

¹ Disponível em: <<https://www.musitek.com/>>

² Disponível em: <<https://www.neuratron.com/photoscore.htm>>

2 Fundamentação Teórica

Agora, abordaremos alguns conceitos musicais básicos, assim como conceitos da área de PDI e aprendizado de máquinas.

2.1 Notação Musical

Dentre os diversos símbolos musicais que existem, alguns se destacam. São eles:

- Pauta.
- Claves.
- Notas.
- Pausas.
- Acidentes.

A seguir, será dada uma breve explicação sobre cada um.

2.1.1 Pauta

A pauta, ou pentagrama (figura 2), é um conjunto de cinco linhas e quatro espaço sobre os quais as notas são escritas; ela indica ao músico, juntamente com a clave, a altura da nota a ser tocada. Para notas muito altas ou baixas, usam-se linhas suplementares. As partituras costumam apresentar uma pauta por instrumento, como pode ser visto na figura, ou por mão, como mostrado anteriormente pela figura 1. A pauta apresenta ainda linhas verticais, chamadas de barras. Essas barras servem para dividir os compassos da música, bem como o seu final.

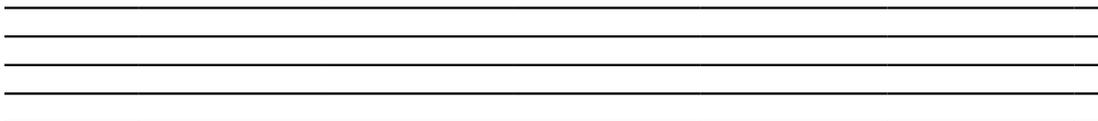


Figura 2 – A pauta.

Fonte: O Autor.

2.1.2 Claves

As claves se dividem em três, sol (figura: 3), fá (figura: 4) e dó (figura: 5), e determinam qual das sete notas está representada em cada linha. Cada clave apresenta um ponto de referência diferente; na de sol, o ponto é o seu início, dentro do "círculo"; na de fá, o espaço entre os dois pontos; e na de dó, no seu centro, onde os dois "c's" invertidos se encontram.

As partituras de piano nos dias contemporâneos apresentam sempre a clave de sol na segunda linha e a de fá na quarta. A de dó não é usada em instrumentos como o piano, e por isso sua identificação não faz parte do escopo desse projeto.

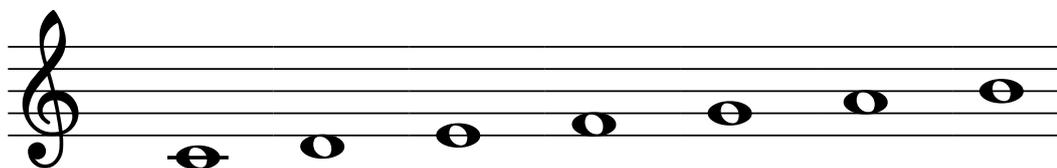


Figura 3 – A clave de sol em sua posição na segunda linha. Da esquerda para a direita, as notas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si.

Fonte: O Autor.

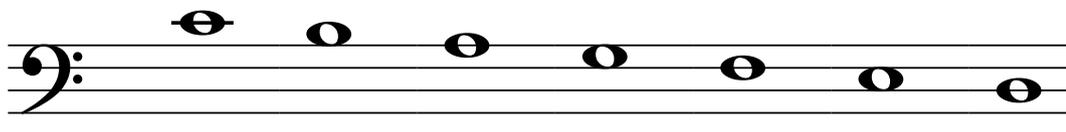


Figura 4 – A clave de fá em sua posição na quarta linha. Da esquerda para a direita, as notas dó, si, lá, sol, fá, mi e ré.

Fonte: O Autor.

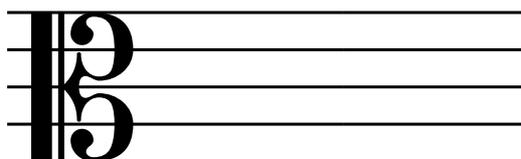


Figura 5 – A clave de dó, aqui representada na terceira linha.

Fonte: O Autor.

2.1.3 Notas

As notas musicais são classificadas quanto a sua duração, referido como valor musical (figura: 6), e sua altura (figura 7).

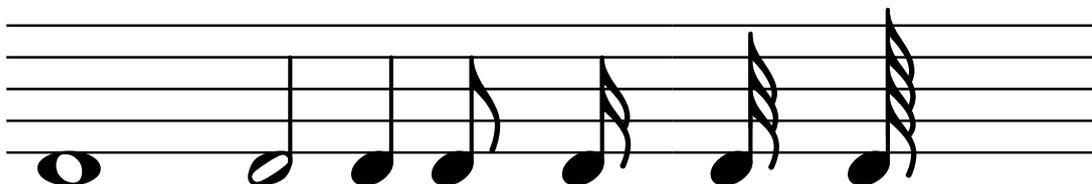


Figura 6 – Os valores musicais que uma nota pode assumir, da esquerda para direita: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semicolcheia, fusa e semifusa.

Fonte: O Autor.

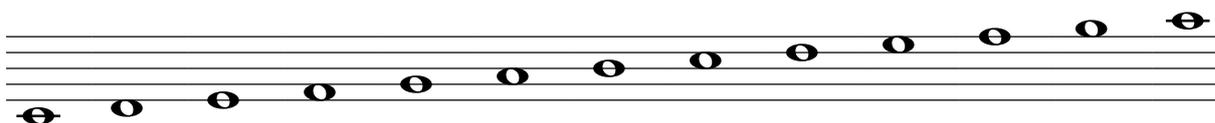


Figura 7 – As notas musicais em diversas alturas diferentes. Note as linhas extras presentes em algumas notas.

Fonte: O Autor.

2.1.3.1 Valores Musicais

As partituras contemporâneas utilizam sete símbolos para representar a sua duração: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semicolcheia, fusa e semifusa. A primeira apresenta um valor de 1, sendo esse a base; as notas seguintes apresentam metade do valor da anterior, sendo a semifusa aquela que apresenta o menor de todas ($\frac{1}{64}$). É importante ressaltar que notas abaixo da semínima costumam ser agrupadas quando são tocadas em sequência. As figura 8 e 9 exemplificam tais ocorrências.



Figura 8 – Um conjunto de colcheias, semicolcheias e fusas, da esquerda para direita.

Fonte: O Autor.

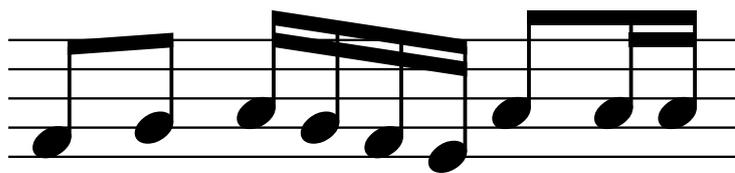


Figura 9 – Um grupo de colcheias, um de semicolcheias e um com ambas.

Fonte: O Autor.

2.1.3.2 Altura

Existem sete notas musicais: dó, ré, mi, fá, sol, lá e si, e a ordem se repete toda vez que um ciclo desse é completo, seja ascendente ou descendente. Como duas notas de alturas diferentes são representadas da mesma forma, é necessário o uso da pauta e das claves para especificar a nota a ser tocada. A nota também pode ser representada de forma diferente dependendo de sua altura, como visto na figura 10. Essa diferença é meramente estética, e tem como objetivo somente facilitar a leitura da música.

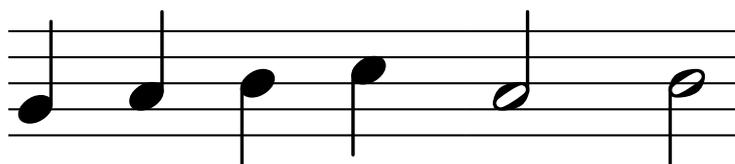


Figura 10 – Quatro semínimas e duas mínimas, respectivamente, em alturas diferentes.

Fonte: O Autor.

2.1.4 Pausas

Em muitos casos, uma ou até ambas as mãos não devem tocar nenhuma nota. Para representar isso, usam-se pausas; cada uma das notas apresentadas na figura 6 tem uma pausa própria, como pode ser visto na figura 11.

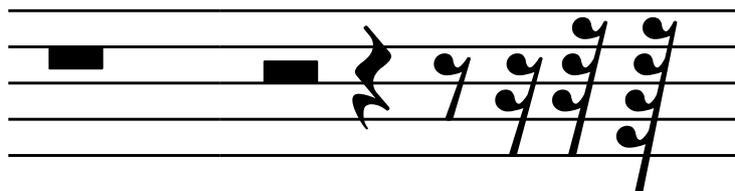


Figura 11 – As pausas, da esquerda para a direita: semibreve, mínima, semínima, colcheia, semi-colcheia, fusa e semi-fusa.

Fonte: O Autor.

2.1.5 Acidentes

Quando uma nota sofre alterações em sua altura (ou seja, quando ela é tocada meio tom acima ou abaixo do padrão), diz-se que a nota sofreu um acidente. Eles são: sustenido (meio tom acima), bemol (meio tom abaixo), dobrado sustenido (um tom acima) e dobrado bemol (um tom abaixo), além do bequadro, que indica que a nota deve ser tocada em sua posição usual. Os acidentes estão representados na figura 12.



Figura 12 – Os acidentes musicais, da esquerda para direita: sustenido, bequadro, bemol, dobrado sustenido e dobrado bemol.

Fonte: O Autor.

2.2 Processamento Digital de Imagens

2.2.1 Histograma

O histograma em uma imagem em nível de cinza representa o número de vezes que determinado valor aparece dentro da imagem. De certa forma, pode-se dizer que o histograma representa a probabilidade de que um pixel tenha um valor específico de cinza (PEDRINI, 2008).

O principal uso para o histograma é avaliar o contraste da imagem; um histograma com muito pixels em uma área representa uma imagem com um contraste muito baixo, enquanto aquela que apresenta um histograma distribuído regularmente tem um alto contraste. (Gonzalez, 2000)

O histograma também é usado nas chamadas projeções vertical e horizontal. Nesse modelo, ao invés de representar o número de vezes que um certo valor de cinza aparece, ele indica a quantidade de pixels que determinada linha ou coluna contém.

2.2.2 Limiarização

A limiarização é um processo que pega uma imagem em escala de cinza e binariza todos os bits da imagem em preto (0) ou branco (255 para imagens com 8 bits). Ela faz isso comparando o valor do bit com um valor de *threshold* que depende do método utilizado. No *Threshold* Global, por exemplo, esse valor é escolhido fazendo uma média de todos os pixels da imagem através do histograma, enquanto que no *Threshold* Adaptativo a imagem é dividida em diversas regiões, e cada parte tem seu histograma analisado individualmente (GONZALEZ, 2000).

2.2.3 Morfologia Matemática

A morfologia matemática é uma metodologia que se baseia na teoria de conjuntos matemáticos e tem diversas aplicações. Ela é usada principalmente em imagens binárias, mas também pode ser utilizada em imagens em níveis de cinza. É importante lembrar que no processamento digital, o preto é considerado como 0 e o branco como 1, fazendo com que as partes mais claras sejam consideradas o objeto, e as mais escuras, o fundo.

As duas operações base para a morfologia são a dilatação e a erosão. A primeira é definida pela equação 2.1, e a segunda pela equação 2.2, onde A e B são dois conjuntos do tipo Z^s , e \hat{B} é o conjunto B transladado em relação a sua origem, muitas vezes chamado de elemento estruturante (PEDRINI, 2008).

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.1)$$

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (2.2)$$

A dilatação diz que a translação de \hat{B} por A será válida se ao menos um elemento não nulo do elemento estruturante se sobreponha a outro da imagem; um exemplo pode ser visto na figura 13. A erosão, por sua vez, diz que a translação só é válida caso todos os elementos se sobreponham, como pode ser visto na figura 14 (GONZALEZ, 2000).

Através dessas duas operações, é possível realizar uma série de técnicas com os mais diversos propósitos, tanto para o pré quanto para o pós-processamento. As mais comuns são a abertura (uma erosão seguida de uma dilatação, ambas com o mesmo elemento estruturante) e o fechamento (uma dilatação seguida de uma erosão, também com o mesmo elemento estruturante). A primeira é geralmente utilizada para arredondar contornos e eliminar conexões e saliências, e a segunda, para preencher buracos e lacunas de pequenas dimensões (PEDRINI, 2008).

2.2.4 Extração de Características

Para classificar os objetos de uma imagem, é preciso antes obter características (*features*) que possam ser usadas para distingui-los. Elas podem ser textura, histograma, cor, etc; isso porque cada problema de PDI exige uma escolha diferente. É importante que a característica seja escolhida com cuidado, pois ela será de grande importância durante a segmentação da imagem.

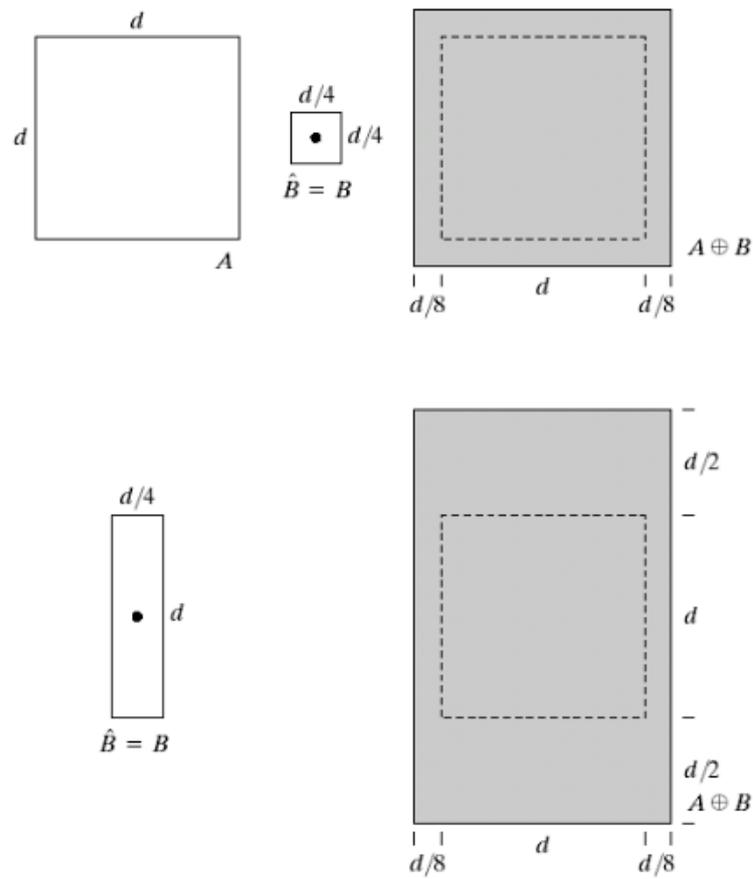


Figura 13 – Da esquerda para direita, de cima para baixo, começando pelo canto superior esquerdo: um conjunto (A); um elemento estruturante quadrangular, com o centro no ponto; a dilatação de A por esse elemento; um elemento estruturante retangular com o centro no ponto; a dilatação de A por esse elemento.

Fonte: R. C. Gonzalez e R. E. Woods.

2.2.5 Segmentação

A parte de segmentação é uma das mais importantes durante o processamento de imagens, pois é nela em que se separam os objetos desejados do fundo. Para realizar a segmentação, divide-se a imagem em partes menores para então analisar, dentro dessas partes, a existência ou não das características escolhidas previamente (GONZALEZ, 2009).

A segmentação é geralmente realizada através da busca por discontinuidades, também chamadas de bordas, que são mudanças bruscas dos níveis de cinza da imagem, ou por similaridades, que seriam o agrupamento de pixels de mesmo valor ou próximos (PEDRINI, 2008).

Para esse projeto, a parte de segmentação diz respeito aos símbolos mencionados na seção 2.1.

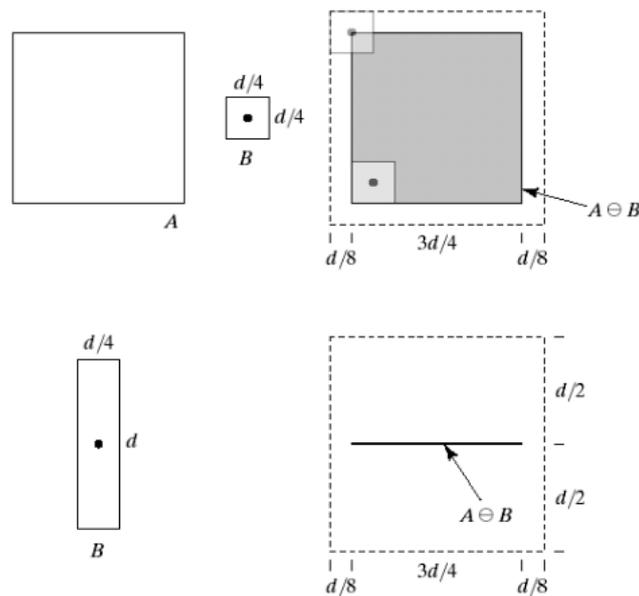


Figura 14 – Da esquerda para direita, de cima para baixo, começando pelo canto superior esquerdo: um conjunto (A); um elemento estruturante quadrangular, com o centro no ponto; a erosão de A por esse elemento; um elemento estruturante retangular com o centro no ponto; a erosão de A por esse elemento.

Fonte: R. C. Gonzalez e R. E. Woods.

2.3 OMR

O Reconhecimento Ótico Musical pode ser definido como a área de estudo que busca automatizar a leitura de notações musicais (CALVO-ZARAGOZA, 2019). Os estudos nessa área começaram nas décadas de sessenta e setenta com Prerau (1970) e Pruslin (1966), e apresenta significativos avanços até os dias atuais, incluindo alguns programas capazes de realizar a leitura completa de partituras, como mencionado anteriormente no capítulo 1.

Apesar disso, ainda existe espaço para crescimento, pois há um grande número de fatores limitantes. Um deles é o fato de uma nota depender não só de onde ela está localizada horizontalmente, como também verticalmente, o que é chamado de bi-dimensionalidade (REBELO *et al.*, 2012). Além disso, é comum existirem elementos descontínuos, ou que se encontram muito próximos um do outro, dificultando a segmentação.

Por último, é importante mencionar que quase todo o material com bons resultados nessa área trata somente de arquivos digitais ou impressos; ainda existe uma lacuna na área de OMR quando se diz respeito a partituras manuscritas (REBELO *et al.*, 2012). Isso se deve pois a forma como diferentes músicos escrevem os elementos em suas peças é análoga às diferenças de caligrafia entre duas pessoas.

3 Materiais e Métodos

Analisando outros trabalhos envolvendo OMR, como Wallner (2014) e Bonnici *et al.* (2018), e pesquisas na área, como Rebelo (2012) e Bainbridge (2001), foi possível traçar um passo-a-passo simples, representado pelo fluxograma da figura 15, que deve ser seguido para obter a classificação de elementos. Nesse capítulo, cada etapa será explicada individualmente, assim como sua necessidade.

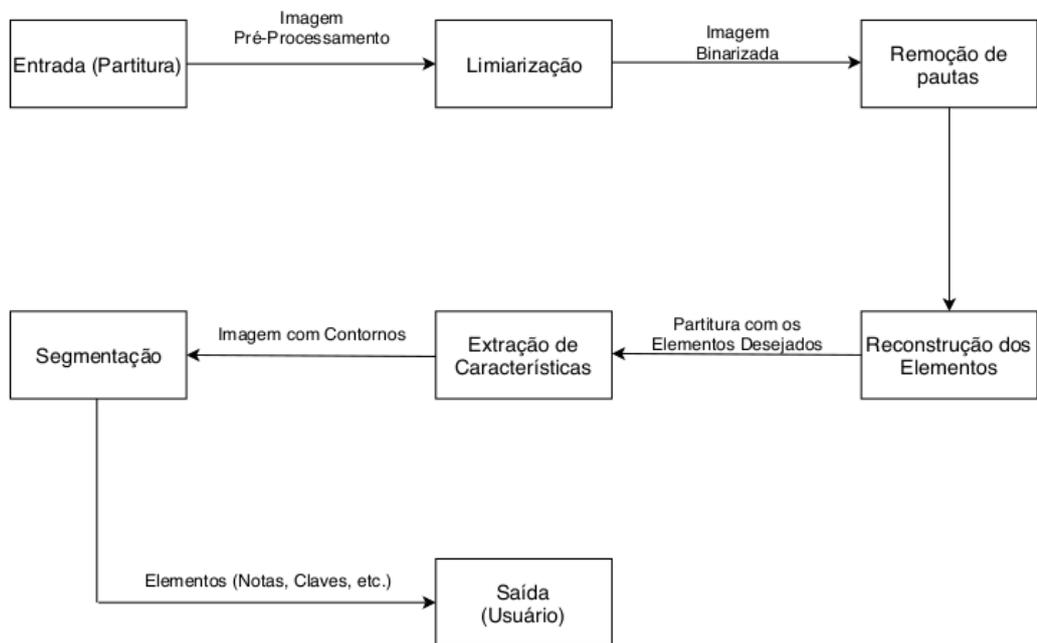


Figura 15 – Fluxograma do trabalho.

Fonte: O Autor.

O primeiro passo a se tomar é o de processamento das linhas da pauta. Existem diversos métodos para realizar essa tarefa, sendo um deles o da análise do histograma vertical. Como pode ser visto anteriormente na figura 1, as linhas se estendem por grande parte da pauta fazendo com que seja fácil a identificação delas no histograma vertical. A remoção em si pode ser feita simplesmente alterando o valor do pixel para 255 (branco).

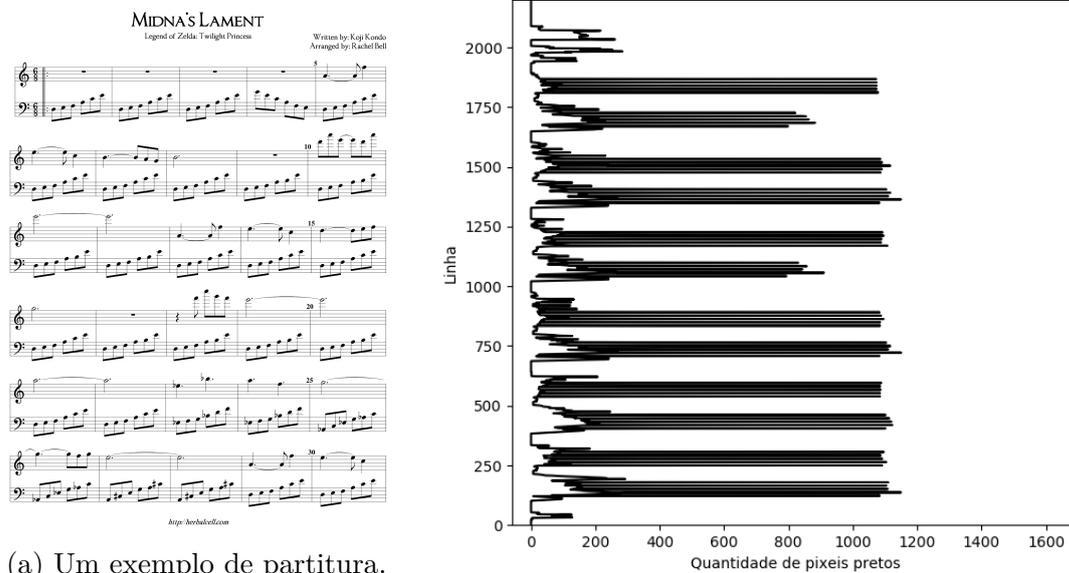
Passada essa etapa, a partitura apresentará somente os elementos desejados, porém com falhas, devido ao processo de remoção. Dessa forma, deve-se reconstruir parte dos objetos que são de interesse para o projeto, tendo em vista tais falhas. Para isso, deve-se utilizar operações de morfologia matemática.

As operações morfológicas são aplicadas até que a imagem seja restaurada a um nível satisfatório. Com isso, teremos uma imagem extremamente semelhante à original, porém sem as pautas, o que torna a extração de características possível. Nessa próxima etapa, o computador buscará as bordas, que são as mudança de valores entre os pixels, para então encontrar e separar os objetos desejados do fundo.

Com a extração das bordas realizadas, segue-se então para a parte mais importante do PDI, que é a segmentação.

4 Resultados e Discussões

A imagem 16a mostra uma das partituras usadas durante a execução do projeto, e a figura 16b, o seu histograma vertical. Como mencionado anteriormente, esse é um método efetivo para realizar a primeira etapa, que seria a de remoção de pautas. Foi considerado o uso da Transformada de Hough (método que analisa curvas no plano polar para a detecção de retas); no entanto, os resultados obtidos através da análise do histograma vertical se mostraram mais efetivos. Uma comparação entre o uso do histograma e da Transformada de Hough pode ser visto na imagem.



(a) Um exemplo de partitura.

(b) Projeção vertical dos pixels.

Figura 16 – Uma das partituras usadas para teste e sua projeção vertical.

Fontes: Koji Kondo e Rachel Bell e o Autor, respectivamente.

MIDNA'S LAMENT
Legend of Zelda: Twilight Princess
Written by: Koji Kondo
Arranged by: Rachel Bell

MIDNA'S LAMENT
Legend of Zelda: Twilight Princess
Written by: Koji Kondo
Arranged by: Rachel Bell

<http://herbakell.com>

(a) Remoção de pautas usando Hough. (b) Remoção de pautas usando o histograma vertical.

Figura 17 – Comparação entre dois métodos de remoção de pauta.

Fonte: Adaptado de Koji Kondo e Rachel Bell.

A imagem 18a mostra um *zoom* na partitura mostrada anteriormente para facilitar a observação. As pautas foram então removidas, como pode ser observado na figura 18b. Como era de se esperar, as notas e outros elementos acabaram perdendo partes importantes.

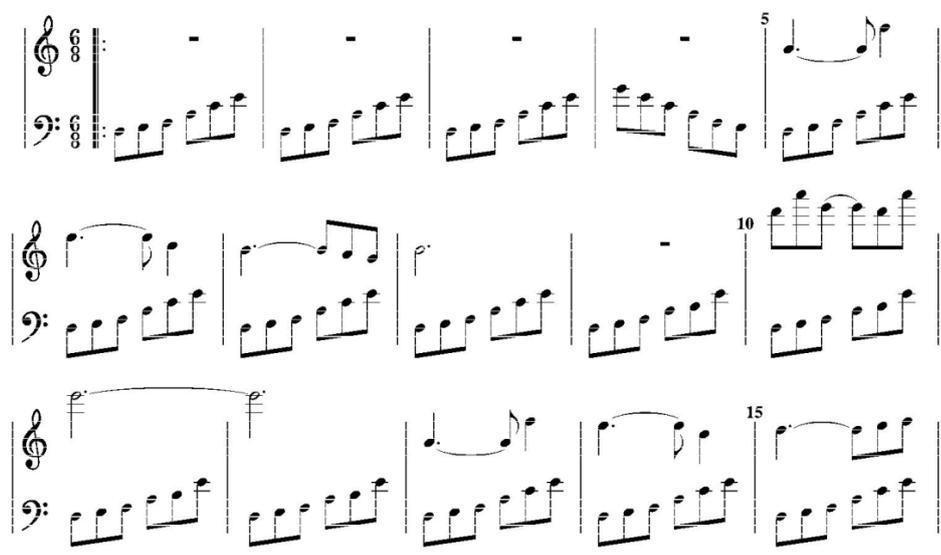
Para que fosse possível realizar a segmentação efetivamente, foi necessário o uso das funções de erosão, abertura e fechamento mencionadas na seção 2.2.3. A escolha das operações, bem como sua ordem e o número de iterações, foi empírica. Os resultados podem ser vistos na figura 19a.

Por fim, foi realizada a segmentação da imagem através dos contornos encontrados graças às bordas presentes entre os objetos e o fundo. Esses contornos foram desenhados em uma máscara com as mesmas dimensões da imagem 18a e podem ser vistos na imagem 19b.

Os resultados se mostraram satisfatório em boa parte das partituras usadas para testes. No entanto, houve uma perda de detalhes significativa em semibreves e mínimas que continham linhas extras cortando-as, e também em grupos de notas abaixo da colcheia em sequência; houve o preenchimento inadequado de partes das notas nesses casos.



(a) Trecho original da partitura.



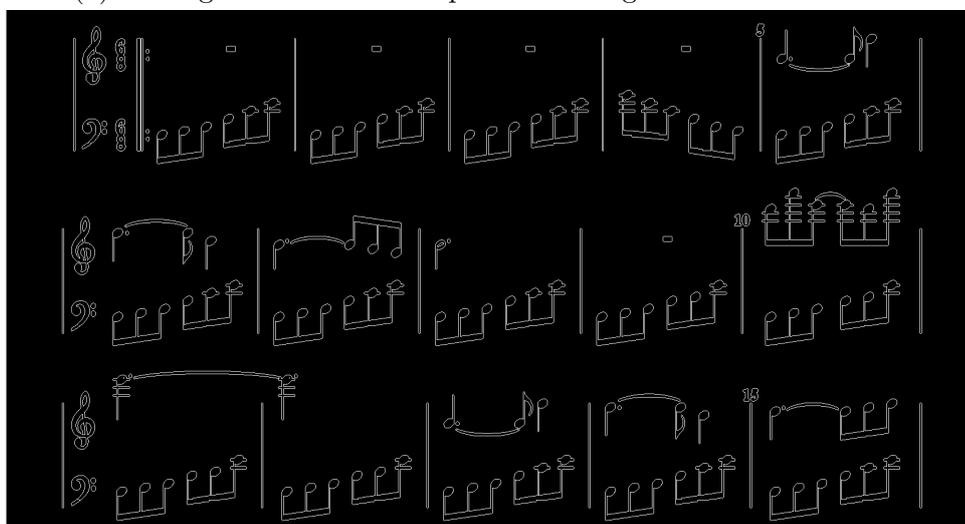
(b) A mesma partitura após a remoção das pautas.

Figura 18 – Primeira etapa do PDI.

Fonte: Adaptado de Koji Kondo e Rachel Bell.



(a) A imagem vista em 18b após a morfologia matemática.



(b) Os contornos dos elementos da partitura.

Figura 19 – Etapas finais do PDI.

Fonte: Adaptado de Koji Kondo e Rachel Bell.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho busca criar a base necessária para um software capaz de realizar Reconhecimento Ótico Musical. Vale reforçar que essa área ainda apresenta dificuldades devido à complexidade da interpretação da notação em computadores. Apesar disso, existe certo consenso nos diversos trabalhos em relação às etapas necessárias.

Começando pela localização e remoção da pauta, foi possível notar, durante a execução do projeto, que vários métodos são viáveis, sendo que o mais eficaz foi a análise do histograma vertical. A Transformada de Hough também se mostrou eficaz, porém em uma menor escala, além de necessitar de etapas adicionais. Com o uso do histograma vertical, basta realizar a limiarização da imagem.

A reconstrução dos objetos apresentou também bons resultados, apesar de gerar leves perdas em algumas notas. Como consequência, alguns elementos apresentaram uma perda de informações, mas ainda apresentam-se em um estado bom o suficiente para a segmentação e identificação.

Um dos problemas encontrados foi a presença de elementos indesejáveis maiores do que os objetos, em especial as pausas. Elas, na maioria dos casos, se não em todos, apresentam um tamanho inferior ao das letras presentes no título.

Tendo esses resultados em mente, trabalhos futuros podem focar na parte de aprendizado de máquinas para classificar as notas, claves, etc., e também em aperfeiçoar a segmentação de elementos diminutos.

Referências

- BAINBRIDGE, D.; BELL, T. *The Challenge of Optical Music Recognition*. *Computers and the Humanities*, v. 35, p. 95–121, 05 2001.
- BENNETT, R. *Forma e Estrutura na Música*. [S.l.]: Zahar, 1986. 79 p.
- BENNETT, R. *Elementos Básicos da Música*. [S.l.]: Zahar, 2007. 96 p.
- BONNICI, A. et al. *Localisation, Recognition and Expression of Ornaments in Music Scores*. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 11.
- BYRD, D.; SIMONSEN, J. G. *Towards a Standard Testbed for Optical Music Recognition: Definitions, Metrics, and Page Images*. *Journal of New Music Research*, Routledge, v. 44, n. 3, p. 169–195, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09298215.2015.1045424>>.
- CALVO-ZARAGOZA, J.; JR., J. H.; PACHA, A. *Understanding Optical Music Recognition*. p. 42, 2019. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1908.03608.pdf>>.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento de Imagens Digital*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda., 2000. 509 p.
- PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. *Análise de Imagens Digital*. [S.l.]: Thomson, 2008. 508 p.
- REBELO, A. et al. *Optical music recognition: state-of-the-art and open issues*. *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, v. 1, n. 7, p. 173–190, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13735-012-0004-6>>.
- WALLNER, M. *A System for Optical Music Recognition and Audio Synthesis*. Dissertação (Mestrado) — *Fakultat für Informatik der Technischen Universität Wien*, Viena, 2014. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/f4f5/1cffaa1b6661e135-aa3dedc26e5561e66578.pdf>>.