UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

PROTÓTIPO DE UM VISUALIZADOR VOLUMÉTRICO DE IMAGENS DICOM NA PLATAFORMA ANDROID

JONATAS DANIEL HERMANN

BLUMENAU
2013

2013/2-12

JONATAS DANIEL HERMANN

PROTÓTIPO DE UM VISUALIZADOR VOLUMÉTRICO DE IMAGENS DICOM NA PLATAFORMA ANDROID

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Regional de Blumenau para a obtenção dos créditos na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Ciência da Computação — Bacharelado.

Prof. Dalton Solano dos Reis , M. Sc. – Orientador

BLUMENAU
2013

2013/2-12

PROTÓTIPO DE UM VISUALIZADOR VOLUMÉTRICO DE IMAGENS DICOM NA PLATAFORMA ANDROID

Por

JONATAS DANIEL HERMANN

Trabalho aprovado para obtenção dos créditos na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, pela banca examinadora formada por:

Presidente:	Prof. Dalton Solano dos Reis, M. Sc. – Orientador, FURB
Membro:	Prof. Mauro Marcelo Mattos, Dr. – FURB
Membro:	Prof. Aurélio Faustino Hoppe, M. Sc. – FURB

Blumenau, 28 de janeiro de 2014

Dedico este trabalho aos meus pais, que nunca mediram esforços para proporcionar uma educação de qualidade, sem a qual, a realização deste trabalho não seria possível.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, os principais responsáveis por eu ter chegado até aqui, por não terem medido esforços para que este trabalho e minha formação acontecessem. Vocês são a razão disso tudo.

À minha família, pela compreensão e apoio nas horas mais difíceis.

Aos guerreiros companheiros de curso, que sempre estiveram do meu lado, trocando ideias e experiências.

Aos meus amigos, que compreenderam a minha ausência e sempre se mostraram grandes apoiadores para que a conclusão deste trabalho se concretizasse.

Ao meu orientador, Dalton Solano dos Reis, pela paciência e por ter acreditado na conclusão deste trabalho.

Ao Marcelo da Mata Oliveira, pelo auxílio prestado.

A persistência é o menor caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho apresenta a especificação e implementação de uma aplicação de visualização volumétrica de imagens DICOM para Android. O aplicativo lê os arquivos do exame médico computadorizado selecionado pelo usuário da aplicação e as imagens são extraídas de cada um destes arquivos. Cada imagem representa uma fatia. Estas fatias são apresentadas individualmente na visualização 2D em três direções distintas. Na visualização 3D elas são organizadas no espaço em três dimensões para formar o volume, sem realizar o fatiamento e com o espaço entre as fatias visível ao usuário.

Palavras-chave: Padrão DICOM. Visualização volumétrica. Android.

ABSTRACT

This document presents the specification and implementation of a volume rendering application of DICOM images for Android. The application reads the data of the scanned medical exam selected by the user, and the images are extracted from each of these data. Each image represents a slice. These slices are presented individually in the 2D view in three different directions. In the 3D view they are organized on a space in three different dimensions in order to form the volume, without performing the slicing and the space between the slices visible to the user.

Key-words: DICOM Standard. Volume rendering. Android.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

DICOM - *Digital Imaging and COmmunications in Medicine*

UML - *Unified Modeling Language*

JAR - *Java Archive*

RGBA - *Red Green Blue Alpha*

JEE - *Java Enterprise Edition*

SDK - *Software Development Kit*

GC - *Garbage Collector*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia na área médica, diversas tecnologias tem sido empregadas para um diagnóstico e estudo mais aprofundado do corpo humano. Este avanço permitiu que, hoje, tenham-se exames médicos de alta precisão com invasão praticamente nula ao paciente. Dentre esses exames, podem-se destacar a tomografia computadorizada e a ressonância magnética.

Tendo em vista este avanço, foi estabelecido com a finalidade de padronizar a formatação das imagens diagnósticas, um conjunto de normas para tratamento, armazenamento e transmissão de informação médica num formato eletrônico denominado *Digital Imaging and COmmunications in Medicine* (DICOM). O padrão, criado em 1983, possibilita o compartilhamento de imagens diagnósticas dos pacientes entre diversos laboratórios, mesmo tendo equipamentos de marcas distintas, desde que, façam uso do padrão especificado. Além do diagnóstico inicial é possível através do padrão DICOM acompanhar todo processo de evolução do paciente, já que ele contém informações detalhadas de seus diagnósticos (MONTEIRO, 2005, p. 54).

Aproveitando a popularidade e massificação dos dispositivos móveis, a área médica tem se aproveitado disso para viabilizar a visualização das imagens geradas por estes diagnósticos, principalmente para fins de estudo e apresentação mais clara das partes do corpo humano.

Foi escolhida a plataforma Android devido, dentre outros fatores, ao seu recente crescimento e pela sua participação no mercado de dispositivos móveis, contendo, segundo a International Data Corporation (IDC) (2012), 68,1% da fatia deste mercado. Outro fator determinante na escolha da plataforma foi a percepção de certa deficiência nas ferramentas disponíveis para o tema proposto, tornando assim o trabalho mais desafiador.

Juntando as três áreas citadas, este trabalho apresenta a criação de um protótipo onde seja possível realizar a leitura de um arquivo DICOM e apresentar tanto as imagens do exame em uma visualização em duas dimensões, quanto a visualização do volume gerado a partir das imagens obtidas.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo para a plataforma Android que permita realizar a visualização volumétrica de imagens no padrão DICOM.

Os objetivos específicos do trabalho são:

a) utilizar as imagens DICOM armazenadas localmente para gerar as visualizações;

b) inspecionar em 2D e visualizar em 3D as imagens volumétricas de diferentes pontos de vista.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica necessária para a compreensão deste trabalho.

No terceiro capítulo são apresentadas as etapas de desenvolvimento da aplicação. Primeiramente são apresentados os requisitos da aplicação. Posteriormente é mostrada a especificação da aplicação com os diagramas desenvolvidos. No passo seguinte são descritas as ferramentas e técnicas utilizadas na implementação e também a operacionalidade da aplicação. Por fim são apresentados os resultados e discussão.

No quarto capítulo são apresentas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros que possam ser desenvolvidos a partir deste.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente, na seção 2.1 são apresentados os conceitos de visualização volumétrica. Na seção 2.2, tem-se uma breve explanação sobre o padrão DICOM e porque do seu surgimento e importância na área médica nos dias de hoje. Posteriormente é apresentado a história e conceitos iniciais da plataforma Android, mostrando em que base tecnológica o sistema será desenvolvido, bem como a biblioteca principal no desenvolvimento do visualizador volumétrico. Finalizando, são apresentados dois trabalhos correlatos que servem como auxílio no desenvolvimento do trabalho aqui especificado.

2.1 VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA

Visualização é um termo relacionado aos métodos que permitem a extração de informações relevantes a partir de complexos conjuntos de dados, processo geralmente feito através da utilização de técnicas de computação gráfica e processamento de imagens (PAIVA; SEIXAS; GATTAS, 1999, p. 01).

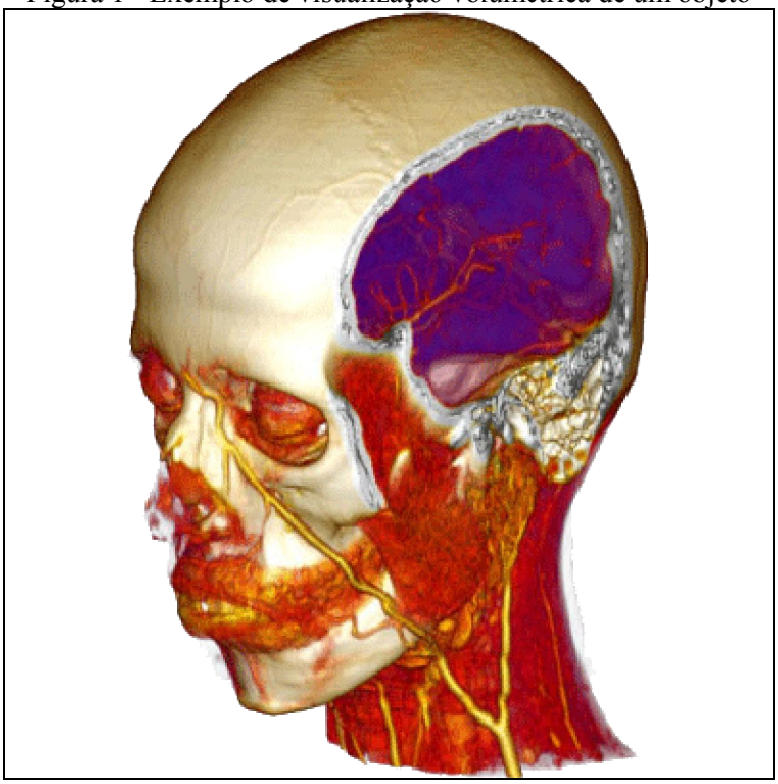
Denomina-se visualização científica quando estes conjuntos de dados representam fenômenos complexos e o objetivo é a extração de informações científicas relevantes. Uma das mais interessantes subáreas da visualização científica, e que tem tido um rápido crescimento, é a visualização volumétrica.

Visualização volumétrica é o conjunto de técnicas utilizadas na visualização de dados associados a regiões de um volume, tendo como principal objetivo a exibição do interior de objetos volumétricos, a fim de explorar sua estrutura e facilitar sua compreensão.

Os dados volumétricos podem ser capturados através da amostragem em três dimensões de um objeto real, usando diferentes dispositivos como: satélites, scanners, tomógrafos, simuladores, medidores especiais, entre outros. Estes dados são geralmente tratados como uma matriz de elementos de volume, denominados voxels. Voxels são paralelepípedos, fortemente agrupados, formados pela divisão do espaço do objeto através de um conjunto de planos paralelos aos eixos principais desse espaço (MCCORMICK; DEFANTI; BROWN, 1987).

Na Figura 1 tem-se um exemplo de um software realizando a visualização volumétrica de um objeto.

Figura 1 - Exemplo de visualização volumétrica de um objeto



Fonte: Vienna University of Technology (2013).

2.2 PADRÃO DICOM

O padrão DICOM surgiu em 1983, proposto por um comitê criado pela *American College of Radioly* (ACR) e pela *National Electrical Manufactures Assosiation* (NEMA), visando padronizar a comunicação, apresentação e armazenamento das imagens médicas (MONTEIRO, 2005, p. 54).

O padrão estabelece uma linguagem comum entre todos os equipamentos da área médica, mesmo sendo os equipamentos, de marcas diferentes. Esta linguagem contém uma série de regras que permitem que as imagens sejam trocadas por diversos aparelhos de imagens diagnósticas entre diferentes hospitais, laboratórios, clínicas, entre outros.

Ele diferencia-se dos outros formatos de imagens por permitir que as informações dos pacientes sejam armazenadas juntamente com a imagem, mas de forma estruturada. Isso é, elas são armazenadas contendo identificadores, conhecidos como "*tags*", que identificam e limitam as informações. A imagem propriamente dita, no padrão DICOM é baseada no formato JPEG, com ou sem compressão, dependendo do equipamento que a gerou (MONTEIRO, 2005, p. 54).

Atualmente, o padrão DICOM encontra-se na versão 3.0, que foi apresentada em 1993, e desde então, tem se tornado padrão em muitos equipamentos de imagens diagnósticas (MONTEIRO, 2005, p. 54).

2.3 PLATAFORMA ANDROID

Android é um sistema operacional móvel baseado no Linux desenvolvido pela Google, tendo sua primeira versão distribuída em 2007.

A plataforma Android foi construída de forma a permitir que os desenvolvedores possam criar aplicações capazes de tirar o melhor proveito de tudo que um dispositivo móvel pode oferecer. Não existe diferenciação para o Android entre uma aplicação nativa e uma aplicação criada por terceiros, todas tem acesso aos mesmos recursos do dispositivo. Devido a isso, cada usuário pode customizar seu dispositivo da forma que melhor lhe agradar, trocando, por exemplo, a aplicação de discador do telefone, o seu navegador de Internet ou até mesmo a interface principal do sistema. Conforme Lecheta (2010, p. 22), esta característica, associada ao fato do Android ser uma plataforma de código aberto, atraiu o interesse de diversas empresas, que viram no Android uma oportunidade de terem um sistema customizado em seus dispositivos.

Com isso surgiu a *Open Handset Alliance* (OHA), um grupo formado por diversas empresas na área de tecnologia, que ajudam a manter e distribuir o sistema operacional, tendo como principal desenvolvedora, a própria Google.

Segundo a Google (2013), o sistema operacional é dividido em quatro principais camadas: *kernel* Linux, bibliotecas, *framework* de aplicação e aplicações.

A camada de bibliotecas já fornece suporte à biblioteca OpenGL *for Embedded Systems* (OpenGL-ES), que pode ser usado na concepção da imagem a partir do arquivo DICOM escolhido. A biblioteca OpenGL-ES embutida no Android encontra-se atualmente na versão 3.0.2, baseada na versão 4 do OpenGL. Alguns recursos da versão OpenGL foram retirados na versão OpenGL-ES, visando otimização para sistemas embarcados.

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Existem alguns trabalhos acadêmicos relacionados ao tema de visualização volumétrica que podem servir como fonte de pesquisa. Dentre eles foram selecionados os trabalhos “Visualização Interativa 3D de Dados Volumétricos” (CARNEIRO; MARTHA, 2000), o software Osirix (2013) e o trabalho “Visualização Volumétrica de Imagens DICOM para iOs” (OLIVEIRA, 2013).

2.4.1 Visualização Interativa 3D de Dados Volumétricos

O trabalho apresenta, inicialmente uma visão geral de *rendering* de volumes, mostrando aspectos importantes como pipeline de visualização volumétrica direta. A seguir são estudados os mecanismos mais usuais de interação 3D, além de apresentar alguns recursos que facilitam a interação, tais como alinhadores de campo de gravidade. Posteriormente é feito um estudo mais detalhado sobre algumas ferramentas de interação 3D, em especial o *Open Inventor*, *Virtual Reality Modelling Language* (VRML), *Widgets* 3D e o MTK (CARNEIRO; MARTHA, 2000, p. 22).

Por fim, o trabalho apresenta um estudo da interação 3D em ambientes volumétricos, sempre procurando identificar as técnicas de interação que possam permitir a visualização exploratória dos dados, já que esse é um dos principais objetivos dos sistemas de visualização volumétrica, principalmente os voltados para a área médica e engenharia (CARNEIRO; MARTHA, 2000, p. 33).

Apesar de todo estudo, concluiu-se que não há muitas novidades na área de visualização volumétrica, porém há muito campo à ser explorado na área de realidade virtual.

2.4.2 Visualização Volumétrica de Imagens DICOM para iOs

Oliveira (2013) desenvolveu um aplicativo para iOs que permite ler as imagens de um arquivo DICOM e realizar a visualização tanto em duas dimensões como volumetricamente.

O volume foi gerado a partir da disposição de todas fatias do exame num espaço 3D, separados por uma distância definida no próprio arquivo DICOM do exame, como pode ser visto na Figura 2.

Para delimitar o corpo do fundo da imagem, Oliveira utilizou um limiar que foi comparado com os `pixels` de cada imagem e aplicado a transparência ao canal `alpha` do `pixel` caso ele não faça parte do corpo do objeto. O volume gerado pelo aplicativo pode ser fatiado nas três direções: sagital, axial e coronal. Como o exame fornece apenas as imagens na direção sagital, Oliveira fez uso de algoritmos para gerar as imagens nas outras direções de acordo com a necessidade do usuário no fatiamento do volume.

O aplicativo ainda permite realizar a visualização em duas dimensões, onde é possível navegar entre todas as fatias do exame selecionado através de um componente `slider`.

Figura 2 - Visualização volumétrica

Fonte: Oliveira (2013, p. 42)

2.4.3 Osirix

O Osirix é conhecido como a mais completa ferramenta para visualização de imagens DICOM. Sendo desenvolvido na linguagem Objective-C, têm o seu código disponibilizado como *open-source*. Esta ferramenta foi desenvolvida para a plataforma Mac-OS, tendo sua distribuição gratuita. Posteriormente foi lançada uma versão para iOs, sendo essa paga. Dentre as principais funcionalidades desta ferramenta estão a possibilidade de visualizar todos os metadados que constam no arquivo DICOM e suas diversas modalidades de visualização das imagens DICOM. Sendo possível realizar a visualização em 2D, 3D e para alguns tipos de imagens médicas é possível ainda obter uma visualização 4D e 5D. Esta ferramenta também permite visualizar as imagens em orientações diferentes e possui uma funcionalidade que permite realizar a remoção de ossos quando é realizada uma visualização volumétrica da imagem (OSIRIX, 2013).

Na Figura 3 é possível verificar uma das visualizações na plataforma iOS.

Figura 3 - Visualização de uma imagem DICOM no aplicativo Osirix para iOS

Fonte: Apple iTunes (2012).

3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Neste capítulo são expostas as etapas do desenvolvimento da aplicação de visualização de imagens DICOM e da biblioteca para realizar a leitura do arquivo DICOM assim como suas imagens. São apresentados os principais requisitos, a especificação, a implementação e ao fim os resultados e discussão.

3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O aplicativo para a visualização volumétrica de imagens DICOM possui os seguintes requisitos:

a) efetuar a leitura do cabeçalho e das imagens de um arquivo DICOM (Requisito Funcional – RF);
b) apresentar a sequencia de imagens no formato 2D contidas no arquivo DICOM (RF);
c) efetuar a renderização volumétrica das imagens DICOM no próprio dispositivo (RF);
d) ser implementado utilizando a linguagem de programação Java (Requisito Não-Funcional – RNF);
e) ser implementado utilizando o ambiente de desenvolvimento Eclipse (RNF);
f) ser desenvolvido para executar em dispositivos móveis com o sistema operacional Android (RNF).

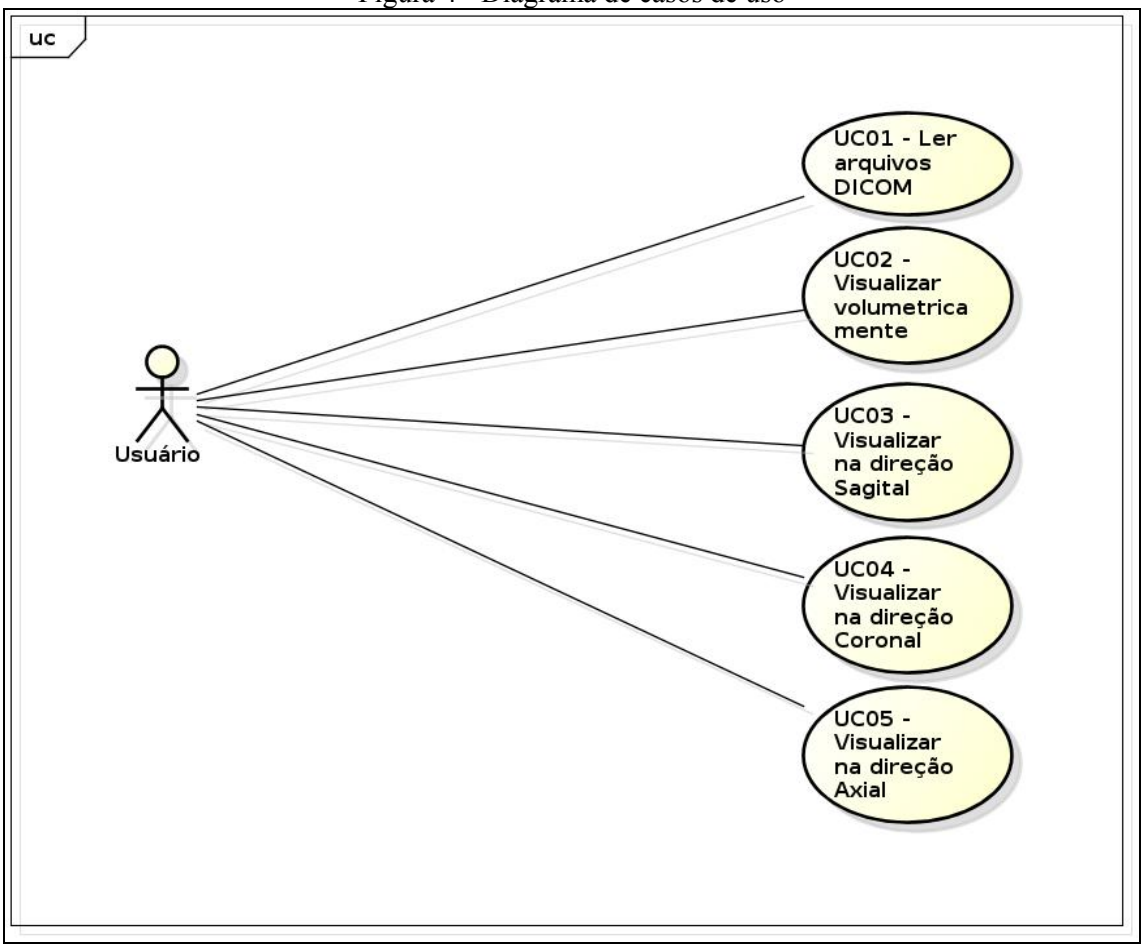
3.2 ESPECIFICAÇÃO

A especificação deste trabalho foi feita utilizando modelagem de diagrama de casos de uso, diagrama de classes e diagrama de sequência, todos da *Unified Modeling Language* (UML) utilizando a ferramenta Astah. A seguir são apresentados os diagramas.

3.2.1 Diagrama de casos de uso

Nesta seção são descritos os casos de uso de todas as funcionalidade da aplicação. Foi identificado somente um ator que interage com a aplicação. Ele foi identificado como Usuário, que utilizará todas as funcionalidades da aplicação. Na Figura 4 pode-se observar o diagrama com o ator e os casos de uso.

Figura 4 - Diagrama de casos de uso



3.2.1.1 Ler arquivos DICOM

Este caso de uso descreve qual é a relação entre o usuário e a funcionalidade que possibilita ler arquivos DICOM. O Quadro 1 descreve os detalhes deste caso de uso.

Quadro 1 - Caso de uso ler arquivos DICOM

Ler arquivos DICOM	
Pré-condições	Estar com a tela de seleção de exame aberta.
Cenário	1) O usuário seleciona um exame. 2) A aplicação obtém o diretório do exame. 3) A aplicação obtém todos os arquivos DICOM do diretório. 4) A aplicação lê todos os arquivos. 5) A aplicação obtém as imagens de todos os arquivos.
Pós-condições	A tela de seleção de exame é fechada.

3.2.1.2 Visualizar volumetricamente

Este caso de uso descreve qual é a relação entre o usuário e a visualização volumétrica de imagens DICOM. O Quadro 2 descreve em detalhes este caso de uso.

Quadro 2 - Caso de uso visualizar volumetricamente

Visualizar volumetricamente	
Pré-condições	O usuário deve estar com a tela de visualização em duas dimensões aberta.
Cenário	1) A aplicação visualiza volumetricamente o exame.
Pós-condições	A tela de visualização em duas dimensões é aberta.

3.2.1.3 Visualizar na direção sagital

Este caso de uso descreve qual é a relação entre o usuário e a visualização em duas dimensões de imagens DICOM na direção sagital. O Quadro 3 descreve em detalhes este caso de uso.

Quadro 3 - Caso de uso visualizar na direção sagital

Visualizar na direção sagital	
Pré-condições	O usuário deve ter selecionado um exame na tela de exames.
Cenário	1) A aplicação exibe a imagem do exame na direção sagital. 2) O usuário altera o componente `slider` do quadro sagital. 3) A aplicação exibe a imagem correspondente à posição atual do componente slider.
Pós-condições	A tela de visualização volumétrica é aberta.

3.2.1.4 Visualizar na direção coronal

Este caso de uso descreve qual é a relação entre o usuário e a visualização em duas dimensões de imagens DICOM na direção coronal. O Quadro 4 descreve em detalhes este caso de uso.

Quadro 4 - Caso de uso visualizar na direção coronal

Visualizar na direção coronal	
Pré-condições	O usuário deve ter selecionado um exame na tela de exames.
Cenário	1) A aplicação exibe a imagem do exame na direção coronal.

	2) O usuário altera o componente `slider` do quadro coronal. 3) A aplicação exibe a imagem correspondente à posição atual do componente slider.
Pós-condições	A tela de visualização volumétrica é aberta.

3.2.1.5 Visualizar na direção axial

Este caso de uso descreve qual é a relação entre o usuário e a visualização em duas dimensões de imagens DICOM na direção axial. O Quadro 5 descreve em detalhes este caso de uso.

Quadro 5 - Caso de uso visualizar na direção axial

Visualizar na direção axial	
Pré-condições	O usuário deve ter selecionado um exame na tela de exames.
Cenário	1) A aplicação exibe a imagem do exame na direção axial. 2) O usuário altera o componente `slider` do quadro axial. 3) A aplicação exibe a imagem correspondente à posição atual do componente slider.
Pós-condições	A tela de visualização volumétrica é aberta.

3.2.2 Diagrama de classes

Nesta seção é apresentada a especificação das classes que constituem a aplicação de visualização de imagens DICOM. As classes foram separadas em cinco pacotes, divididos em `activities`, `adapters`, `models`, `reader` e `view`. Descreve-se cada um deles em seguida.

3.2.2.1 Pacote `activities`

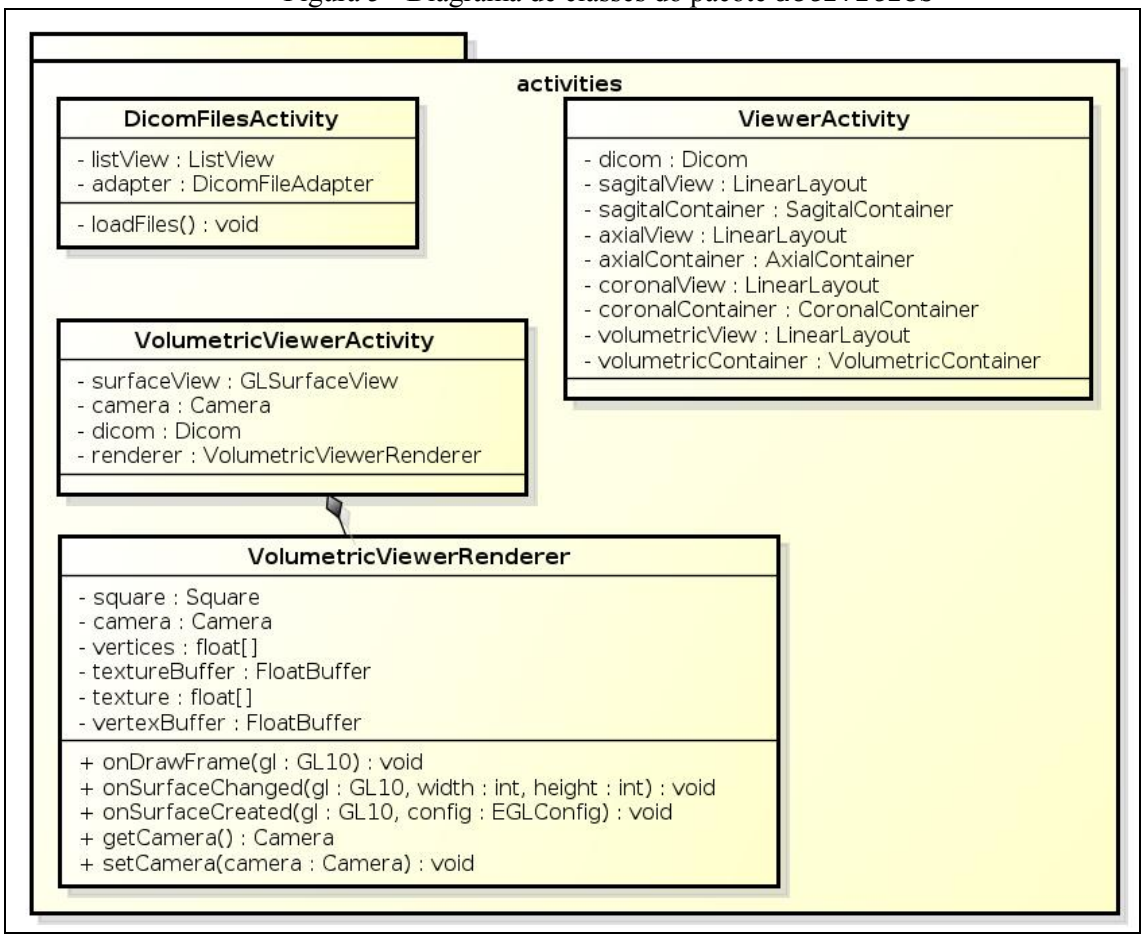
Neste pacote encontram as classes responsáveis por exibir o conteúdo visual para o usuário. Cada `activity` representa uma tela do aplicativo.

No início da execução do aplicativo, é exibido a `activity DicomFilesActivity`, que em uma lista, apresenta os exames disponíves para visualização, carregados através do método privado `loadFiles`.

Selecionado um exame, a `activity ViewerActivity` é chamada, recebendo como parâmetro o diretório do exame selecionado. Essa classe é responsável por chamar as classses de leitura e por exibir a tela com visualização em duas dimensões nas direções sagital, axial e coronal. A partir dessa classe pode-se também chamar a tela de visualização volumétrica.

A classe responsável por visualizar o objeto volumetricamente é a `VolumetricViewerActivity`. Essa classe utiliza um component especial para o uso do OpenGL-ES, chamado `GLSurfaceView`, que requer uma instância de uma classe filha da interface do Android, chamada `GLSurfaceView.Renderer` que cuida do ciclo de execução do OpenGL-ES. Sendo assim, a classe `VolumetricViewerRenderer` foi criada, implementando a interface `GLSurfaceView.Renderer` e possui os métodos herdados `onDrawFrame`, `onSurfaceCreated` e `onSurfaceChanged`. A Figura 5 apresenta as classes do pacote `activities`.

Figura 5 - Diagrama de classes do pacote `activities`

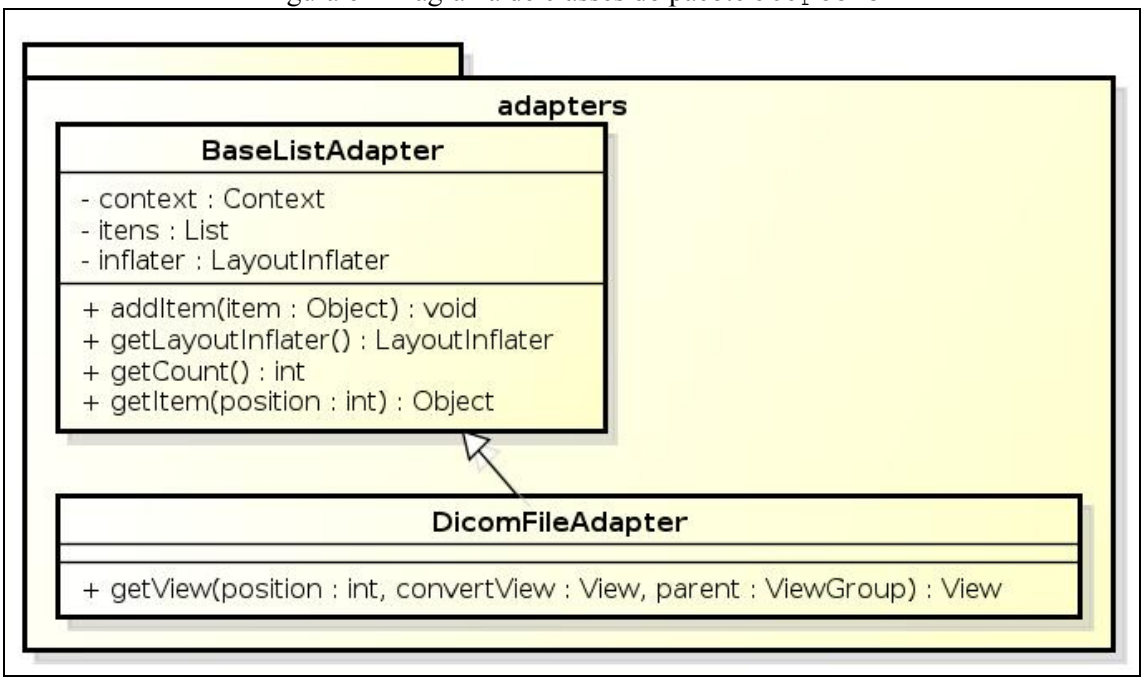


3.2.2.2 Pacote `adapters`

O Android usa um conceito de `Adapters` para interligar um componente de tela com o dado propriamente dito. No caso do aplicativo especificado, terá um *adapter* para intermediar a lista de exames e o dado que cada item da lista terá. Considerando-se a possibilidade de futuras extensões do aplicativo, o pacote `adapters` possui uma classe chamada `BaseListAdapter` que agrupa alguns comportamentos que serão padrão para a maioria dos

adapters criados. É o caso da classe `DicomFileAdapter` que exibirá os dados necessários para a seleção do exame na tela inicial do aplicativo, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de classes do pacote `adapters`



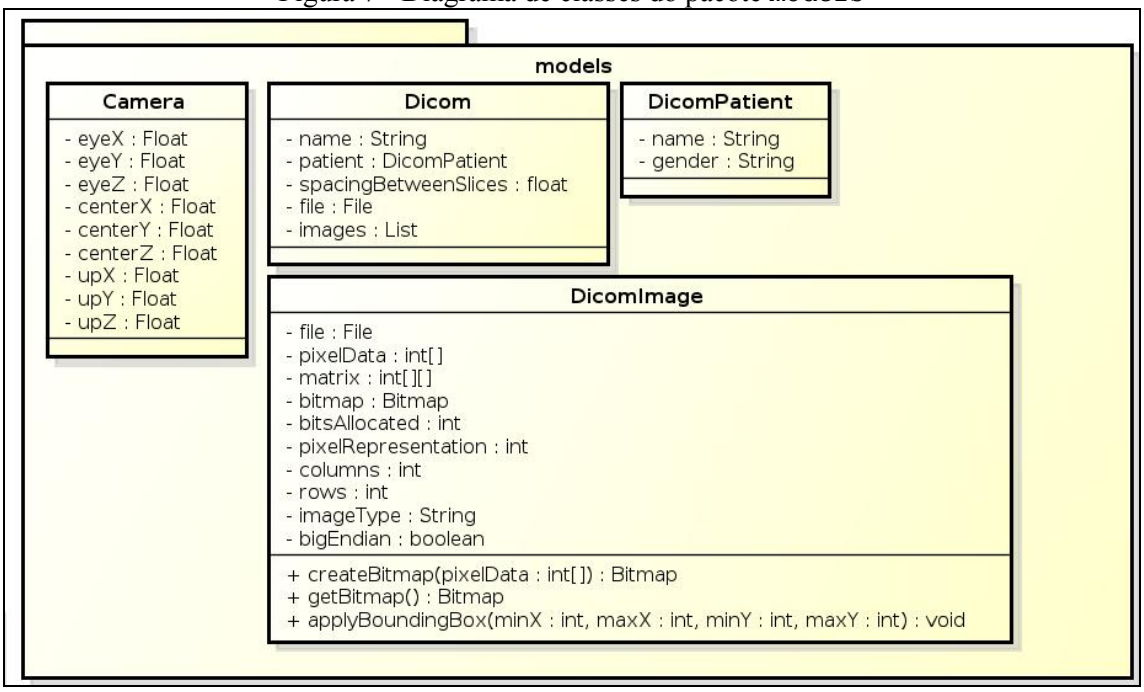
3.2.2.3 Pacote `models`

Este pacote contém as classes que representam os dados obtidos do exame assim como uma representação da câmera para a sua movimentação em relação ao objeto em cena.

A classe `Dicom` contém os dados principais do exame, assim como uma lista com a representação das imagens obtidas do exame, representadas pela classe `DicomImage`. Além disso, ainda é possível através da classe `Dicom`, obter uma instância da classe `DicomPatient` que contém dados básicos do paciente.

A classe `Camera` foi criada para agrupar os atributos da câmera, necessários para o funcionamento do posicionamento da câmera em relação ao objeto. A Figura 7 apresenta as classes do pacote `models`.

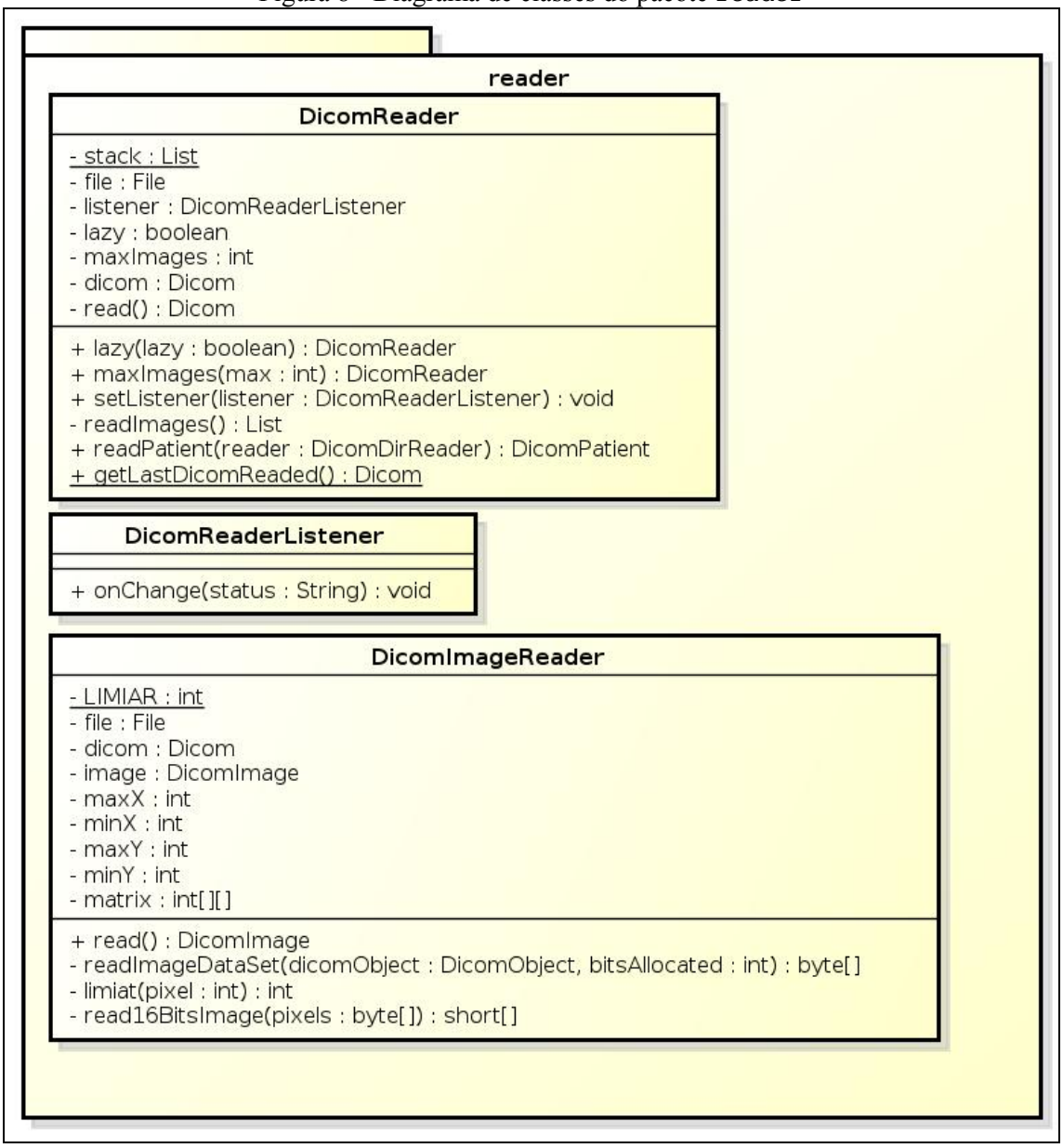
Figura 7 - Diagrama de classes do pacote `models`



3.2.2.4 Pacote `reader`

O pacote `reader` contém apenas três classes, responsáveis por fazer a leitura dos dados do exame assim como suas imagens. Os algoritmos de conversão e aplicação da `bounding-box` nas imagens também estão contidos na classe `DicomImageReader` para evitar processamento e uso de memória extra. A interface `DicomReaderListener` é utilizada para reportar a classe chamadora o *status* da leitura do arquivo. Abaixo tem-se a representação do diagrama de classes do pacote.

Figura 8 - Diagrama de classes do pacote `reader`



3.2.2.5 Pacote `view`

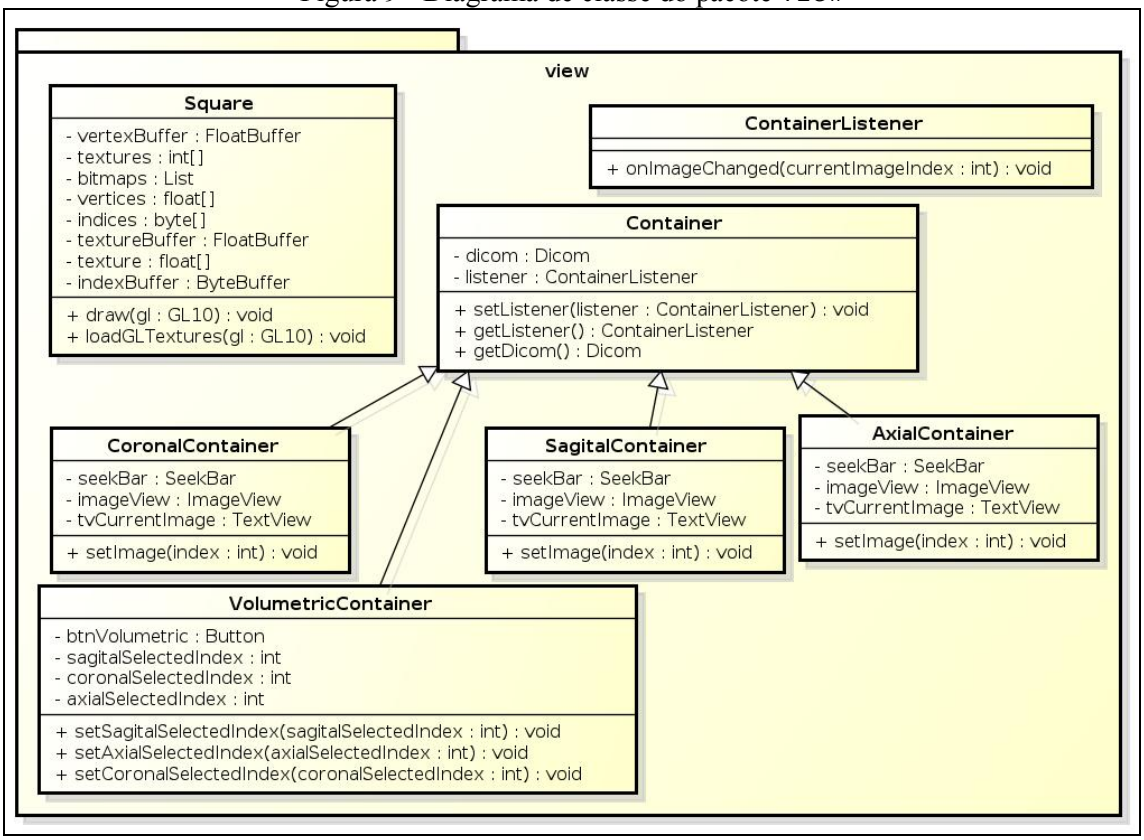
O pacote `view` contém as classes responsáveis por exibir o conteúdo visual. Para o uso na tela de visualização em duas dimensões, criou-se uma classe base chamada `Container`, onde tem-se agrupado os comportamentos e valores padrões para cada um dos quatro espaços que são exibidos na tela. Para cada um dos espaços utilizados, há uma classe específica, que herda de `Container`. Entre elas, as classes `SagitalContainer`, `CoronalContainer` e `AxialContainer` tem a função de exibir as imagens em duas dimensões, cada uma na direção sagital, coronal e axial respectivamente. A estrutura das três classes é idêntica, diferenciando-se apenas pelo algoritmo usado na visualização das imagens

na direção especificada. Ainda herdando de `Container`, tem-se a classe `VolumetricContainer`, que contém apenas um botão que faz a chamada para a tela de visualização volumétrica.

Finalmente tem-se a classe chamada `Square`, que é responsável por desenhar as superfícies quadradas na tela, onde serão aplicadas as texturas de cada imagem obtida do exame.

O método `loadGLTextures` é o responsável por carregar inicialmente todas as texturas das imagens para dentro do objeto, e posteriormente, o método `draw` é chamado pelo método `onDrawFrame` da classe `ViewerRenderer`, que é responsável por desenhar as superfícies quadradas na cena e aplicar a textura carregada em cada um deles. A Figura 9 apresenta as classes do pacote `view`.

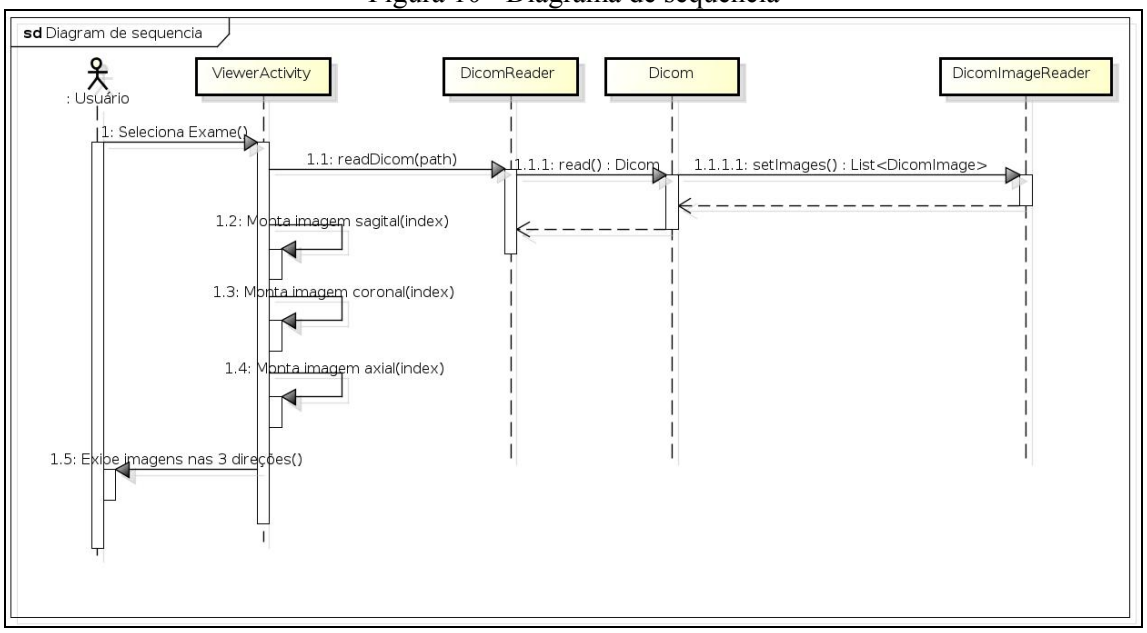
Figura 9 - Diagrama de classe do pacote `view`



3.2.3 Diagrama de sequência

Esta seção apresenta o diagrama de sequência, demonstrando como ocorre o processo de leitura dos arquivos DICOM até a exibição das imagens em duas dimensões, demonstrado em maiores detalhes na Figura 10.

Figura 10 - Diagrama de sequência



Nesta interação, o usuário seleciona um exame na tela de seleção de exames, e a classe `ViewerActivity` é chamada. Esta irá chamar o método `read` da classe `DicomReader`, através do método `readDicom`, passando como parâmetro, o diretório do exame selecionado. Por sua vez, a classe `DicomReader` chamará através do método `setImages`, a classe `DicomImageReader`, que ficará responsável por fazer a leitura das imagens. Terminado o processo de leitura, a classe `DicomReader` irá retornar um objeto do tipo `Dicom` a classe `ViewerActivity`, que de posse desse objeto, irá montar as superfícies quadradas na tela com as imagens na direção sagital, coronal e axial.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO

A seguir são mostradas as técnicas e ferramentas utilizadas na implementação. Também serão descritos detalhes das classes e algoritmos implementados. Por fim, a operacionalidade da implementação é apresentada.

3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

A linguagem utilizada no desenvolvimento do aplicativo foi Java e o ambiente utilizado foi o Eclipse. Um biblioteca de terceiros foi utilizada para ler as informações do arquivo DICOM assim como suas imagens, denominada DCM4CHE. Foi utilizada também a biblioteca OpenGL-ES, que está embutida por padrão com as bibliotecas do Android.

Para criação da interface do usuário foi utilizada as classes proveninentes do próprio *framework* de desenvolvimento para Android.

Como não havia uma versão específica para Android da biblioteca DCM4CHE, foram extraídos alguns *Java Archive's* (JAR) para o correto funcionamento num ambiente mobile como o Android. Além disso, nenhuma outra adaptação foi necessária.

3.3.2 Aplicação de visualização de imagens DICOM

Primeiramente, são lidos os diretórios que contém os arquivos necessários para a leitura do exame. No momento, esses diretórios estão fixos no código. A partir da seleção de um desses exames, o aplicativo faz a leitura de todas as informações necessárias para a apresentação, utilizando as classes `DicomReader` e `DicomImageReader`, populando com as informações obtidas, as classes `Dicom` e `DicomImage`.

Para a visualização em duas dimensões, nas direções sagital, coronal e axial, a classe `ViewerActivity` é chamada, apresentando os resultados de cada imagem obtida.

A visualização volumétrica do objeto fica a cargo da classe `VolumetricViewerActivity`, que possui uma instância da classe `VolumetricViewerRenderer`, que é necessária para o funcionamento correto do OpenGL-ES.

3.3.2.1 Leitura dos arquivos DICOM

Nesta etapa, os diretórios pré-definidos pela aplicação são obtidos, e a partir deles, todas as informações necessárias do exame bem como suas imagens, são capturadas.

Para a leitura das informações do arquivo DICOM, foi utilizada parte da biblioteca DCM4CHE.

No diretório do exame, a classe `DicomReader`, por meio do método `read`, irá procurar um arquivo `DICOMDIR`, para a patir desse aquivo, realizar a leitura dos dados do paciente e das imagens do exame.

Para a leitura das imagens, notou-se na maioria dos exames testados, a presença do diretório `DICOM`, onde estava contido os arquivos de imagens do exame. Com essa constatação, as imagens lidas, são as presentes dentro do diretório `DICOM`, que por sua vez, está contido no mesmo diretório onde se encontra o arquivo `DICOMDIR`.

Para a leitura das imagens, foi obtido um `array` de bytes, através da constante `Tag.PixelData` da biblioteca DCM4CHE. Além dos `bytes` obtidos, outras informações são obtidas e armazenadas no objeto da classe `DicomImage`, tais como os `bits` alocados para a imagem e o número de colunas e linhas da imagem. Este método é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Trecho do código `read` da classe `DicomImageReader`

```
     ...
037  DicomInputStream inputStream = new DicomInputStream(file);
038  DicomObject dicomObj = inputStream.readDicomObject();
040  image = new DicomImage();
041  double spacingBetweenSlices =
     dicomObj.getDouble(Tag.SpacingBetweenSlices);
042  dicom.setSpacingBetweenSlices(spacingBetweenSlices);
043  image.setBitsAllocated(dicomObj.getInt(Tag.BitsAllocated));
044  image.setPixelRepresentation(
     dicomObj.getInt(Tag.PixelRepresentation));
045  image.setColumns(dicomObj.getInt(Tag.Columns));
046  image.setImageType(dicomObj.getString(Tag.ImageType));
047  image.setBigEndian(dicomObj.bigEndian());
     ...
```

Possuindo a informação de quantos `bits` são alocados para a imagem, é possível fazer a conversão necessária para utilizar-se os canais *Red Green Blue Alpha* (RGBA) da imagem. Foi implementando num primeiro momento, apenas a conversão para imagens com 16 `bits` alocados. O método `readImageDataSet` que verifica os `bits` alocados para a imagem, e chama o método adequeado para cada tipo de formato. Como foi implementado apenas o suporte para imagens de 16 `bits`, o método `read16BitsImage` é chamado, onde nele acontece a conversão da imagem para um `array` de inteiros utilizado no componente Bitmap do Android.

Em um primeiro momento, é criado um array de inteiros bidimensional, onde serão armazenados os `pixels` em forma de matriz. Para cada `pixel`, é verificado o valor do `pixel` comparando com um limiar pré-definido, com valor 50, e então é trabalhado os quatro canais do pixel, sendo os três primeiros canais as cores, representando respectivamente vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue) e o último canal, o valor `alpha` do `pixel`, representando se aquele `pixel` possui ou não transparência. No Quadros 7 e 8 tem-se respectivamente o trecho do método `read16BitsImage` e o método `limiar`.

Quadro 7 - Método `read16BitsImage` da classe `DicomImageReader`

```
137  int totBytes = pixels.length;
138  int shortSize = totBytes / 2;
141  double minimum = dicomObject.getDouble(Tag.WindowCenter) -
     dicomObject.getDouble(Tag.WindowWidth) / 2;
142  double maximum = dicomObject.getDouble(Tag.WindowCenter) +
     dicomObject.getDouble(Tag.WindowWidth) / 2;
143  if (minimum < 0.0)
144      minimum = 0.0;
145  if (maximum > 65535.0)
146      maximum = 65535.0;
147  int min = (int) minimum;
148  int max = (int) maximum;
150  int value;
151  int x = 0;
152  int y = 0;
153  int limiar = 0;
154  double scale = 256.0 / (max - min + 1);
156  matrix = new int[image.getColumns()][image.getRows()];
158  short shortValue = 0;
160  for (int i = 0; i < shortSize; i++) {
161      shortValue = (short) (((pixels[2 * i + 1] & 0xFF) << 8) |
     (pixels[2 * i] & 0xFF));
163      value = (shortValue & 0xffff) - min;
164      if (value < 0)
165          value = 0;
166      value = (int) (value * scale + 0.5);
167      if (value > 255)
168          value = 255;
170      limiar = limiar(value);
172      matrix[x][y] += limiar << 24;
173      matrix[x][y] += value << 16;
174      matrix[x][y] += value << 8;
175      matrix[x][y] += value;
177      if(++x == image.getColumns()) {
178          x = 0;
178          y++;
180      }
181  }
```

Quadro 8 - Método `limiar` da classe `DicomImageReader`

```
130  if(pixel < LIMIAR) {
131      return 0;
142  } else {
143      return 255;
144  }
```

Para reduzir o custo de processamento e memória do aplicativo, foi implementado o conceito de `bounding-box` nas imagens. A `bounding-box` delimita a área útil de uma determinada região. No caso das imagens DICOM, essa área útil, é delimitada por uma região que contenha ao menos um `pixel` que seja diferente do valor aplicado aos `pixels` com transparência, neste caso representando um pixel que não possui uma informação e que consequentemente não precisa ser desenhada. Então, considerando que está sendo representado os `pixels` em uma matriz, começa-se a varredura na primeira coluna da matriz, percorrendo todas as linhas daquela coluna, verificando se há algum `pixel` que não seja transparente. Caso nada seja encontrado, o valor de `x` que representa nossa coluna, é incrementado. Esse processo é feito até o algoritmo localizar um `pixel` não transparente, e então o valor de `x` atual é definido como `x mímimo`. O mesmo processo é feito para encontrar o `x máximo`, mas de maneira inversa, começando a última coluna e decrementando o valor de `x`. O mesmo processo é feito para os valores de `y mínimo` e `y máximo`. Os Quadros 9, 10, 11 e 12 demonstram o algoritmo dos métodos para encontrar os valores máximos e mínimos de `x` e `y`.

Quadro 9 - Método `findMaxY` da classe `DicomImageReader`

```
069  private int findMaxY() {
070      for (int y = matrix[0].length - 1; y >= 0; y--) {
071          for (int x = 0; x < matrix.length; x++) {
072              if (matrix[x][y] != 0) {
073                  maxY = y;
074                  return maxY;
075              }
076          }
077      }
078  }
```

Quadro 10 – Método `findMinY` da classe `DicomImageReader`

```
081  private int findMinY() {
082      for (int y = 0; y < matrix[0].length; y++) {
083          for (int x = 0; x < matrix.length; x++) {
084              if(matrix[x][y] != 0) {
085                  minY = y;
086                  return minY;
087              }
088          }
088      }
089  }
```

Quadro 11 - Método `findMaxX` da classe `DicomImageReader`

```
093  private int findMaxX() {
094      for (int i = matrix.length - 1; i >= 0; i--) {
095          for (int j = 0; j < matrix[i].length; j++) {
096              if(matrix[i][j] != 0) {
097                  maxX = i;
098                  return maxX;
099              }
100          }
101      }
102  }
```

Quadro 12 - Método `findMinX` da classe `DicomImageReader`

```
105  private int findMinX() {
106      for (int i = 0; i < matrix.length; i++) {
107          for (int j = 0; j < matrix[i].length; j++) {
108              if(matrix[i][j] != 0) {
109                  minX = i;
110                  Return minX;
```

```
111                 }
112             }
113         }
114     }
```

Encontrados os valores da `bounding-box` de cada imagem, eles são armazenados no objeto da classe `DicomImage` de cada uma das imagens, para posteriormente na classe `DicomReader`, todas imagens serem analisadas onde é verificado dentre todas elas, qual o menor `x mínimo`, o menor `y mínimo`, o maior `x máximo` e o maior `y máximo`. De posse desses valores, podem-se desconsiderar os `pixels` que estão fora da nossa `bounding-box`. O Quadro 13 demonstra esse processo.

Quadro 13 - Trecho de código do método `readImages` da classe `DicomReader`

```
086  int minX = Integer.MAX_VALUE;
087  int minY = Integer.MAX_VALUE;
088  int maxX = 0;
089  int maxY = 0;
090  for (DicomImage image : images) {
091      if(image.getMinX() < minX) {
092          minX = image.getMinX();
093      }
094      if(image.getMinY() < minY) {
095          minY = image.getMinY();
096      }
097      if(image.getMaxX() > maxX) {
098          maxX = image.getMaxX();
099      }
100      if(image.getMaxY() > maxY) {
101          maxY = image.getMaxY();
102      }
103  }
105  for (DicomImage image : images) {
106      image.applyBoundingBox(minX, maxX, minY, maxY);
107  }
```

Nesse momento, o processo se resume e criar uma nova matriz com o tamanho relativo aos novos valores de `x` e `y`. Ou seja, a largura da matriz passa a ser `x máximo` subtraído ao `x mínimo` somando um. O Quadro 14 apresenta em detalhes o código dessa função.

Quadro 14 - Método `applyBoundingBox` da classe `DicomImage`

```
152  public void applyBoundingBox(int minX, int maxX, int minY, int
     maxY) {
153      int columns = maxX - minX + 1;
154      int rows = maxY - minY + 1;
155      setColumns(columns);
156      setRows(rows);
157      int x, xOriginal, yOriginal;
158      int y = 0;
159      int[] pixels = new int[rows * columns];
160      int[][] newMatrix = new int[columns][rows];
162      int count = 0;
164      for (int i = 0; i < columns; i++) {
165          for (int j = 0; j < rows; j++) {
166              y = count / columns;
167              x = count - (y * columns);
168              xOriginal = x + minX;
169              yOriginal = y + minY;
171              newMatrix[i][j] = matrix[xOriginal][yOriginal];
172              pixels[count] = matrix[xOriginal][yOriginal];
173              count++;
174          }
175      }
177      matrix = newMatrix;
178      pixelData = pixels;
179  }
```

Um novo `array` de inteiros foi necessário porque o componente `Bitmap` do Android aceita apenas `array` de inteiros para a criação da imagem.

3.3.2.2 Visualização em duas dimensões

O processo de visualização em duas dimensões se dá através da classe `ViewerActivity`, onde tem-se quatro quadros, sendo que nos três primeiros são apresentadas as imagens em duas dimensões nas direções sagital, coronal e axial respectivamente. E no quarto quadro, apresenta-se o botão que chamará a tela de visualização volumétrica.

O primeiro quadro da tela apresentará as imagens na direção sagital, ou seja, as imagens não precisarão sofrer nenhuma manipulação pelo fato de que o exame já provém as imagens originalmente nessa direção. A única implementação foi controlar a imagem exibida de acordo com a posição do `slider` do quadro Sagital.

O segundo quadro da tela apresenta as imagens na direção coronal. Para conseguir gerar as imagens nessa direção, foi necessário capturar todas colunas na posição `k` de todas as imagens, sendo `k` o índice selecionado no `slider`, variando de zero até o número máximo de colunas das imagens. Como o número de imagens é geralmente muito menor que a largura das imagens, utilizou-se um valor de compensação para cada imagem. Ou seja, para cada coluna capturada de cada imagem, ela foi multiplicada por cinco para fazer com que a largura da imagem seja proporcional a altura dela. Então caso tenha-se cinquenta e cinco imagens de 512 x 512, tería-se na direção coronal, imagens de 275 (55 imagens multiplicadas pelo quoficiente definido, de valor 5) x 512. O Quadro 15 apresenta o algoritmo que cria a imagem na direção coronal.

Quadro 15 - Método `setImage` da classe `CoronalContainer`

```
033  private void setImage(int index) {
034      List<DicomImage> images = getDicom().getImages();
036      final int CONST = 5;
037      int[] pixels = new
     int[getDicom().getImages().get(0).getRows() *
     getDicom().getImages().size() * CONST];
038      int count = 0;
040      int rows = getDicom().getImages().get(0).getMatrix().length;
041      for (int row = 0; row < rows; row++) {
042          for (int i = 0; i < images.size(); i++) {
043              DicomImage image = images.get(i);
044              int[][] matrix = image.getMatrix();
045              for (int j = 0; j < CONST; j++) {
046                  pixels[count++] = matrix[row][index];
047              }
048          }
049      }
051      DicomImage image = new DicomImage();
052      image.setColumns(getDicom().getImages().size() * CONST);
053      image.setRows(rows);
055      Bitmap bitmap = image.createBitmap(pixels);
056      imageView.setImageBitmap(bitmap);
         ...
062  }
```

O terceiro quadro da tela apresenta as imagens na direção axial. Para conseguir gerar as imagens na direção axial, foi utilizado o mesmo procedimento da geração das imagens na direção coronal, diferenciando apenas a captura de colunas na direção coronal, e agora na

axial, foram utilizadas as linhas de todas as imagens. O processo de compensação de ocorre nas imagens na direção axial da mesma forma, alterando apenas colunas por linhas. Se na direção coronal as colunas eram multiplicadas pelo quoficiente definido, agora quem serão multiplicadas serão as linhas. O Quadro 16 apresenta o algoritmo de geração de imagens na direção axial.

Quadro 16 - Método `setImage` da classe `AxialContainer`

```
033  private void setImage(int index) {
034      List<DicomImage> images = getDicom().getImages();
036      final int CONST = 5;
037      int[] pixels = new
     int[getDicom().getImages().get(0).getColumns() *
     getDicom().getImages().size() * CONST];
038      int count = 0;
040      for (int i = images.size() -1; i >= 0; i--) {
041          DicomImage image = images.get(i);
042          int[] pixelData = image.getPixelData();
044          int indexIni = index * image.getColumns();
045          for (int k = 0; k < CONST; k++) {
046              for (int j = 0; j < image.getColumns(); j++) {
047                  pixels[count++] = pixelData[indexIni + j];
048              }
049          }
050      }
052      DicomImage image = new DicomImage();
053      image.setColumns(
     getDicom().getImages().get(0).getColumns());
054      image.setRows(getDicom().getImages().size() * CONST);
056      Bitmap bitmap = image.createBitmap(pixels);
057      imageView.setImageBitmap(bitmap);
         ...
063  }
```

3.3.2.3 Visualização volumétrica

O processo de visualização volumétrica se inicia logo após a leitura das imagens. A classe `VolumetricViewerRenderer` inicia o processo de visualização volumétrica do exame, primeiramente chamando o método `onSurfaceCreated`, onde basicamente são carregadas as

texturas e configuradas as variáveis necessárias para o uso de texturas no OpenGL. O Quadro 17 apresenta a forma que as texturas estão sendo carregas.

Posterior a isso, o OpenGL se encarrega de chamar constantemente o método `onDrawFrame`. Nesse método a cena é limpa e a câmera é posicionada de acordo com os valores do atributo `camera` da classe `VolumetricViewerRenderer`, que variam de acordo com os valores passados no quadro de visualização volumétrica na tela de `Visualização em 2D`, como podemos ver no Quadro 18.

Depois de posicionada a câmera, o método `draw` da classe `Square` é chamado. Este método é encarregado de desenhar, para cada imagem, uma superfície quadrada, respeitando a distância definida pela tag `SpacingBetweenSlices` do arquivo DICOM. Posteriormente, a textura de cada imagem é aplicada a cada superfície quadrada desenhado na cena, formando assim, o objeto volumétrico. O Quadro 19 apresenta o código responsável por desenhar as superfícies quadradas na tela e aplicar as texturas à eles.

Quadro 17 - Método `loadGLTextures` da classe `Square`

```
108  public void loadGLTextures(GL10 gl) {
109      Bitmap bitmap = null;
110      gl.glGenTextures(textures.length, textures, 0);
112      for (int i = 0; i < textures.length; i++) {
113          gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, textures[i]);
115          gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
     GL10.GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL10.GL_NEAREST);
116          gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
     GL10.GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL10.GL_LINEAR);
118          gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
     GL10.GL_TEXTURE_WRAP_S, GL10.GL_REPEAT);
119          gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
     GL10.GL_TEXTURE_WRAP_T, GL10.GL_REPEAT);
121          bitmap = bitmaps.get(i);
122          GLUtils.texImage2D(GL10.GL_TEXTURE_2D, 0, bitmap, 0);
123          gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, 0);
124      }
125  }
```

Quadro 18 - Método `onDrawFrame` da classe `VolumetricViewerRenderer`

```
060  public void onDrawFrame(GL10 gl) {
061      gl.glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
062      gl.glClear(GL10.GL_COLOR_BUFFER_BIT |
     GL10.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
064      gl.glLoadIdentity();
066      GLU.gluLookAt(gl, camera.getEyeX(), camera.getEyeY(),
     camera.getEyeZ(), camera.getCenterX(), camera.getCenterY(),
     camera.getCenterZ(), camera.getUpX(), camera.getUpY(),
     camera.getUpZ());
```

Quadro 19 - Método `draw` da classe `Square`

```
072  public void draw(GL10 gl) {
073      gl.glMatrixMode(GL10.GL_MODELVIEW);
075      float z = 0.0078125f;
077      gl.glEnable(GL10.GL_TEXTURE_2D);
079      gl.glDepthMask(false);
080      gl.glEnable(GL10.GL_BLEND);
081      gl.glBlendFunc(GL10.GL_SRC_ALPHA,
     GL10.GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);
083      gl.glEnableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
084      gl.glEnableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
086      for (int i = 0; i < textures.length; i++) {
087          gl.glTranslatef(0.0f, 0.0f, z);
089          gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, textures[i]);
091          gl.glFrontFace(GL10.GL_CW);
093          gl.glVertexPointer(3, GL10.GL_FLOAT, 0, vertexBuffer);
094          gl.glTexCoordPointer(2, GL10.GL_FLOAT, 0,
     textureBuffer);
096          gl.glDrawArrays(GL10.GL_TRIANGLE_STRIP, 0,
     vertices.length / 3);
097      }
099      gl.glDisable(GL10.GL_BLEND);
100      gl.glDepthMask(true);
102      gl.glDisable(GL10.GL_TEXTURE_2D);
104      gl.glDisableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
105      gl.glDisableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
106  }
```

3.3.3 Operacionalidade da implementação

Nesta seção é apresentada a utilização da aplicação. São demonstrados o funcionamento das telas e usabilidade. Primeiramente, a tela de visualização em duas dimensões seguido da tela de visualização volumétrica.

3.3.3.1 Visualização em duas dimensões

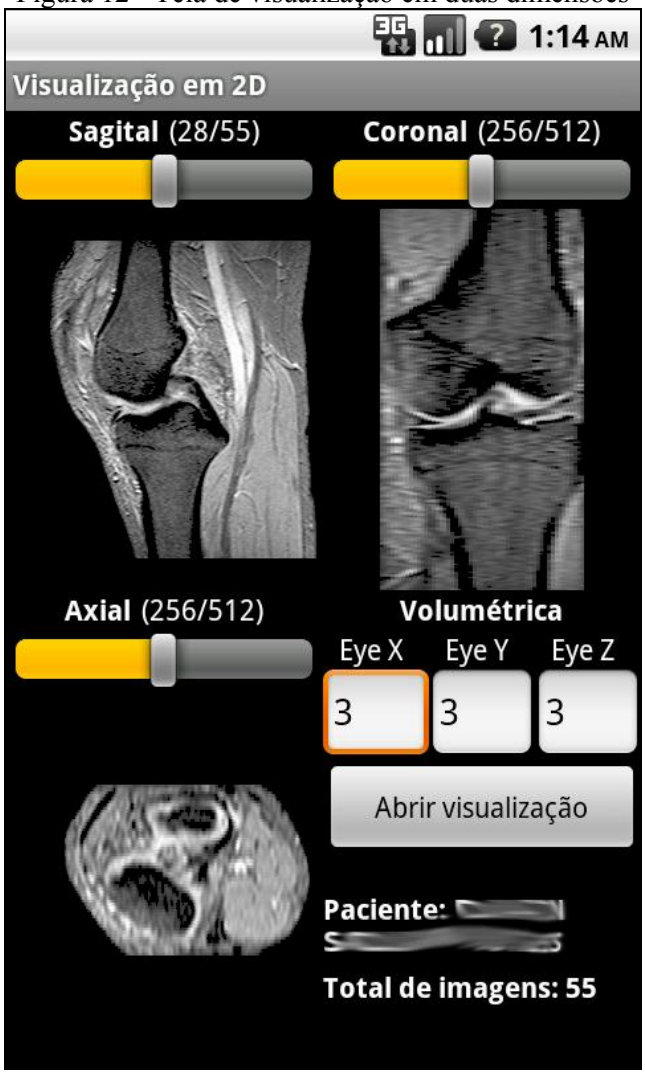
Ao usuário executar a aplicação, a tela de `seleção do exame` é aberta (Figura 11). Selecionado um exame, os arquivos de informação do exame bem como suas imagens, são

lidos para posteriormente serem usados tanto na visualização em duas dimensões quanto na visualização volumétrica.

Figura 11 - Tela de seleção de exames

Depois de selecionado um exame na tela de `seleção de exames`, a tela de `visualização em duas dimensões` é aberta, dividindo a tela em quatro partes distintas. Os três primeiros quadros apresentam a visualização em duas dimensões em diferentes direções. Esses quadros possuem três componentes, sendo o primeiro um componente de texto com o título informando o modo de visualização da imagem, a posição da imagem atual e o número máximo de imagens à serem exibidas naquela direção. Além disso, tem-se um `slider` usado para a alteração da imagem visualizada e o componente para a visualização da imagem atual. A Figura 12 ilustra essa tela.

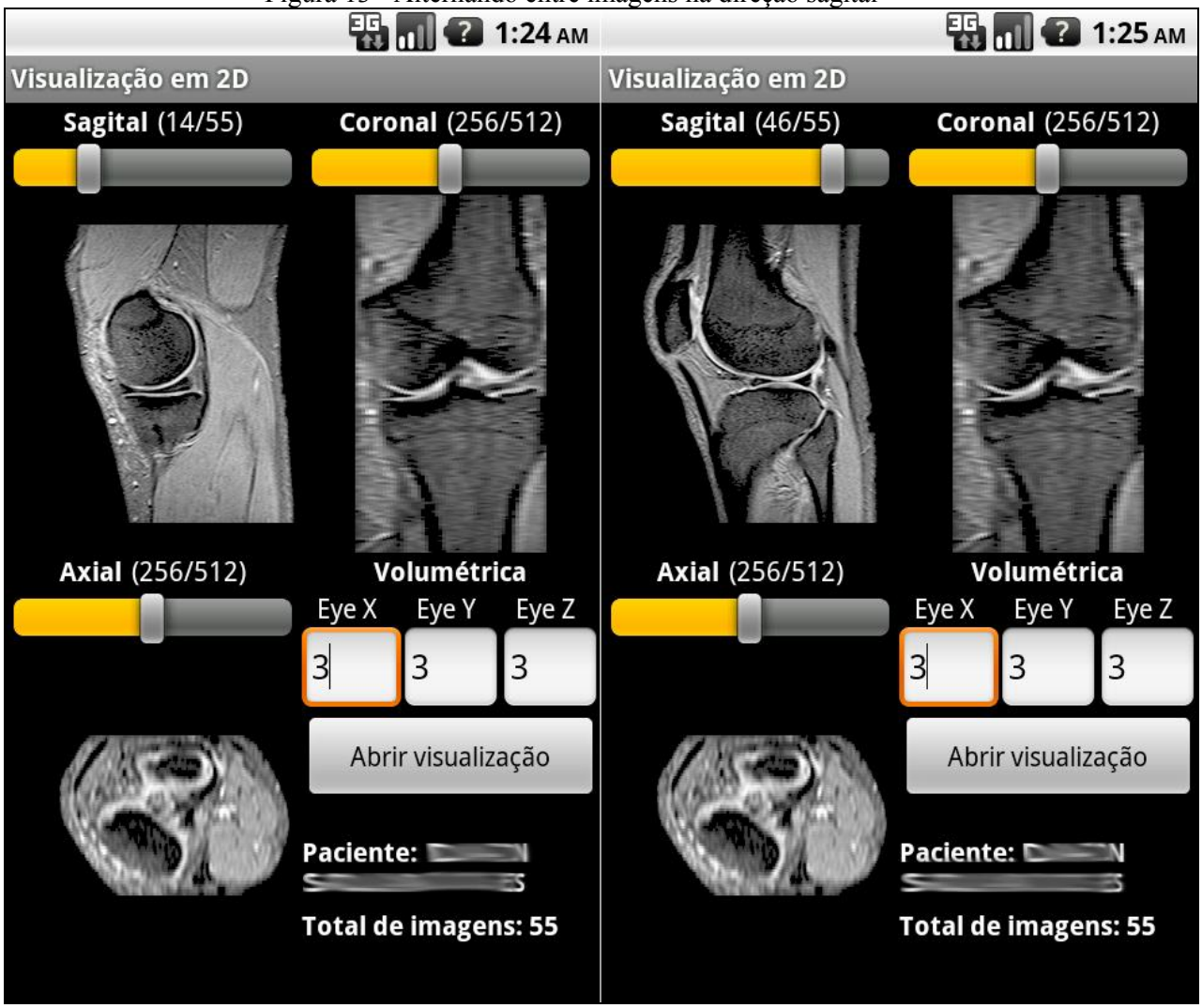
Figura 12 - Tela de visualização em duas dimensões



O primeiro quadro apresenta as imagens na direção sagital, como mostra a Figura 12. O componente `slider`, nesse quadro, tem uma variação de zero até o número máximo de imagens do exame selecionado. Inicialmente, o `slider` vem com sua posição definida exatamente no centro. Então ao abrir a tela de visualização em duas dimensões, surgirá no quadro sagital, a imagem correspondente a `n`/2 do exame exibida, sendo `n` o número de imagens do exame selecionado. Para navegar entre as imagens do exame na direção sagital, basta modificar a posição do `slider`, que a imagem correspondente a posição atual do slider é exibida.

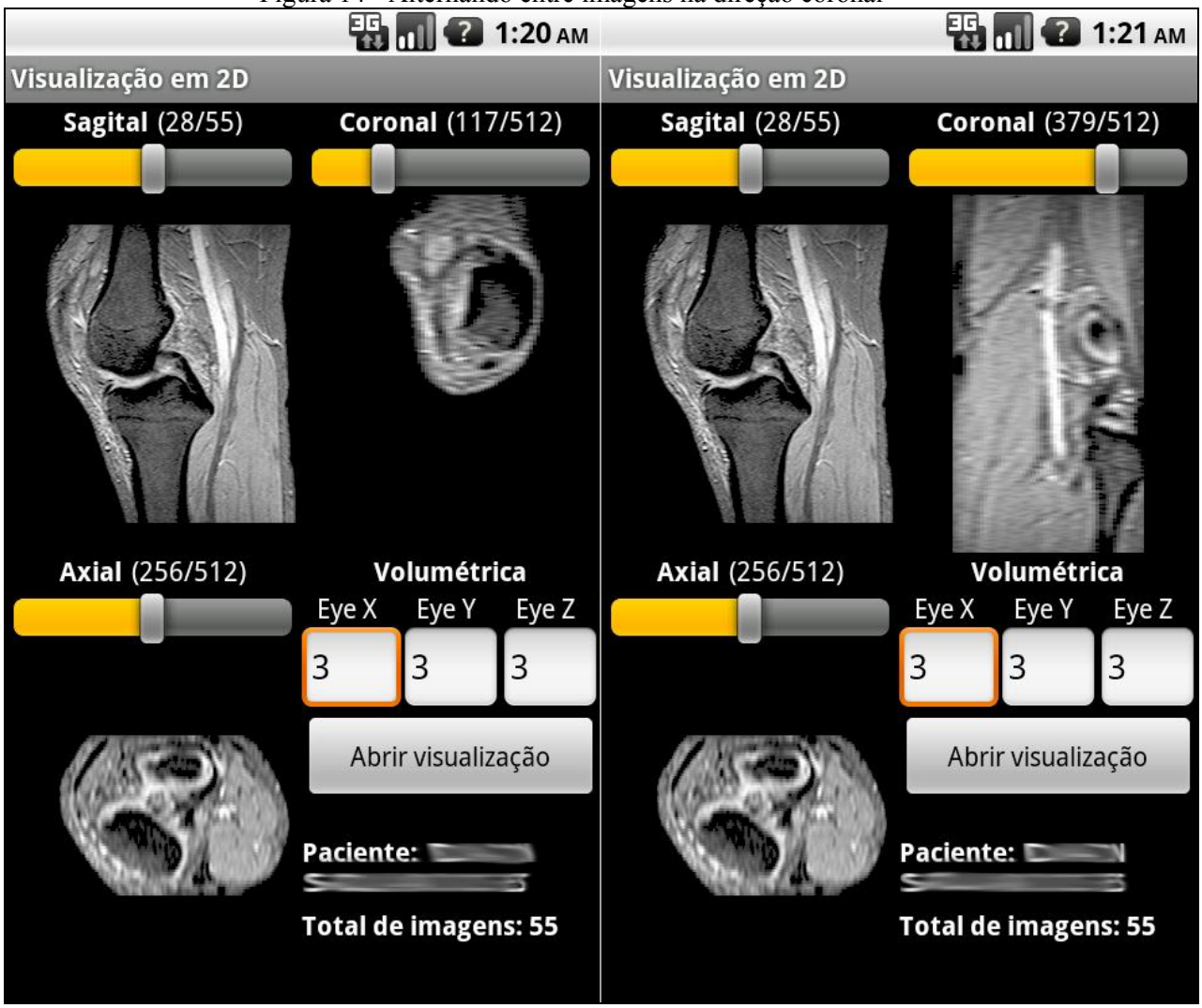
Ao modificar a posição do `slider`, a imagem selecionada é alterada, como apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Alternando entre imagens na direção sagital



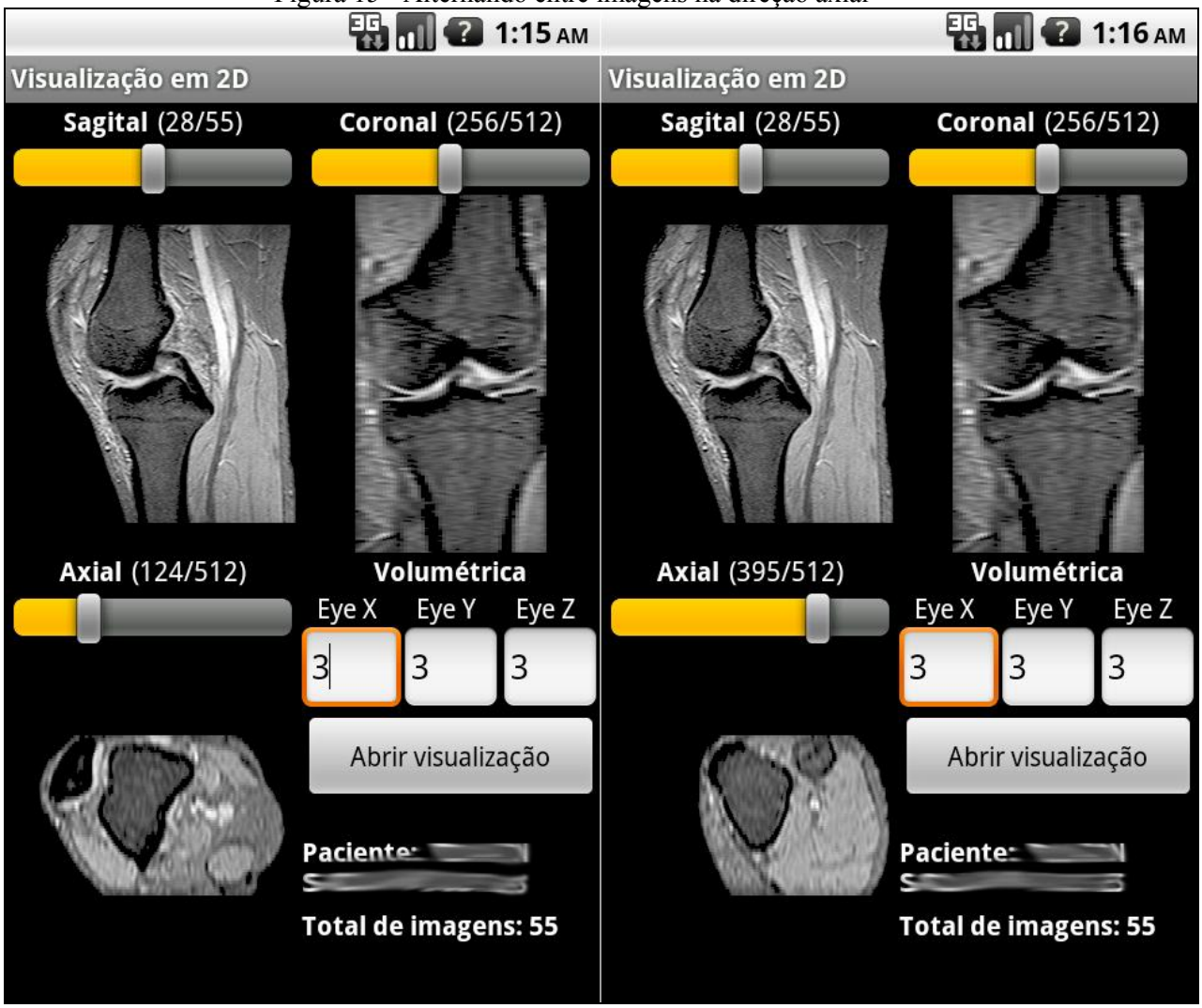
O segundo quadro apresenta as imagens na direção coronal. Nesse quadro, o `slider` varia de zero até `n`, sendo `n` a largura das imagens. Por padrão, a imagem da posição `n`/2 é exibida, como nos outros quadros. Para alterar a imagem atual visualizada, basta mover a posição atual do `slider` para a nova posição desejada, como é demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Alternando entre imagens na direção coronal



O terceiro quadro apresenta as imagens na direção axial. Nesse quadro, o `slider` varia de zero até `n`, sendo `n` a altura das imagens. Assim como nos outros quadros, para alterar a imagem visualizada, basta alterar a posição do `slider`, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Alternando entre imagens na direção axial

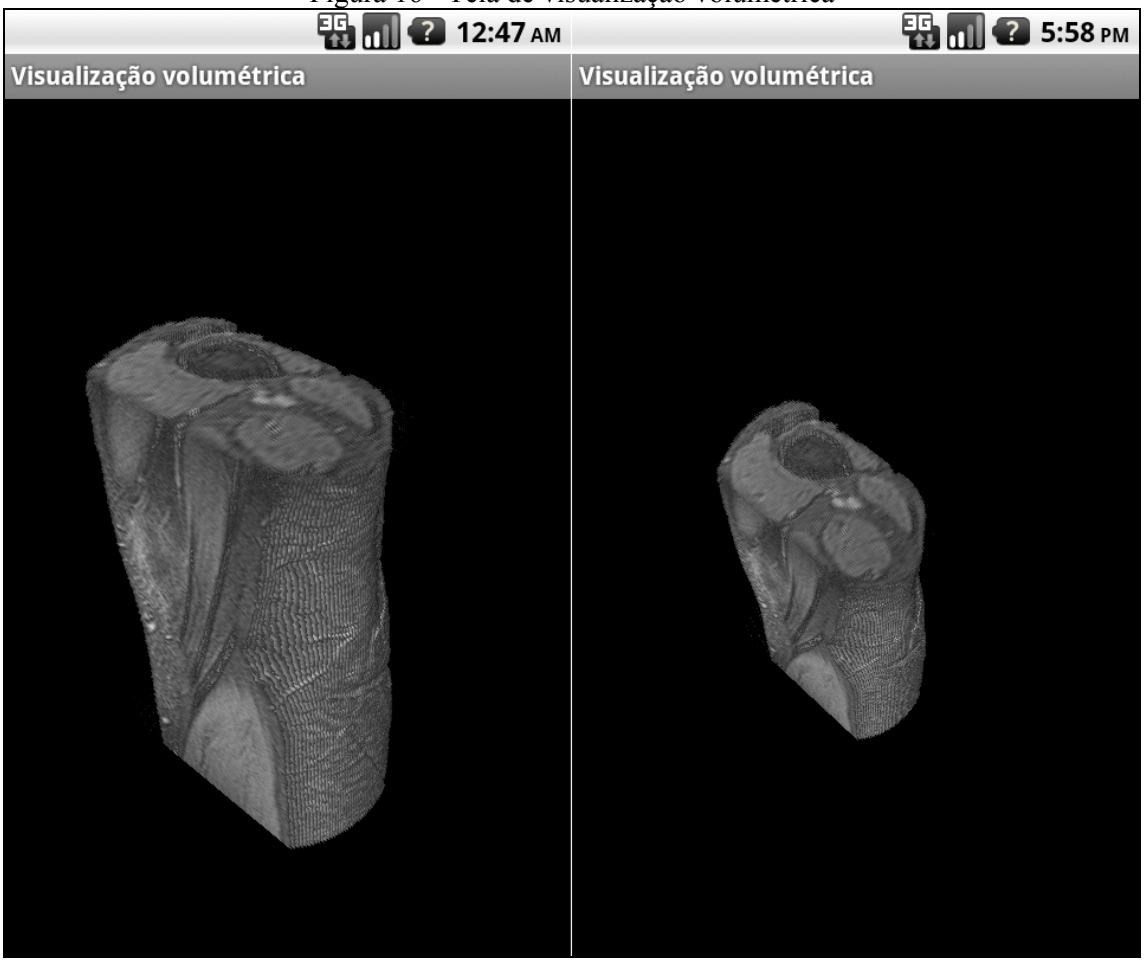


Por último, tem-se o quadro que possui o botão para a chamada da tela de visualização volumétrica e as informações básicas como nome do paciente e o número de imagens do exame em questão.

3.3.3.2 Visualização volumétrica

Ao selecionar o botão `Abrir Visualização` no último quadro da tela de `visualização em duas dimensões`, a tela de `visualização volumétrica` é aberta. Nela é feita a renderização de todas imagens lidas do exame, e posicionadas para que formem a visualização volumétrica. Pode-se ainda escolher a posição inicial da câmera, através dos campos `Eye X`, `Eye Y` e `Eye Z` que representam os valores da câmera em relação ao objeto. Para voltar para a tela de visualização em duas dimensões, basta selecionar o botão `Voltar` do próprio dispositivo usado. A Figura 16 apresenta a tela de visualização volumétrica, primeiramente com os valores padrões da câmera e depois com os valores alterados.

Figura 16 - Tela de visualização volumétrica



3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho apresenta uma aplicação para a visualização volumétrica de imagens DICOM para a plataforma Android. Nesta etapa inicialmente são mostrados os resultados do volume gerado a partir da imagens recuperadas dos arquivos lidos. Logo a seguir são comparados os resultados deste trabalho com o trabalhos correlatos. Por fim é discutido o consumo de memória da aplicação e seu desempenho.

3.4.1 Testes da geração do volume

Na etapa de leitura dos arquivos, pesquisou-se várias alternativas que tivessem suporte a plataforma Android. A única alternativa viável foi utilizar a biblioteca DCM4CHE, que por padrão foi desenvolvida para rodar em ambientes *Java Enterprise Edition* (JEE). Como a biblioteca pesquisada é subdividida em outras pequenas bibliotecas, foi realizado um estudo de quais partes seriam necessárias para a leitura dos exames. Feito isso, as partes necessárias foram incluídas no projeto e então foram realizados os testes de leitura, que logo apresentaram resultados satisfatórios na quantidade de informação que a biblioteca realizava a leitura.

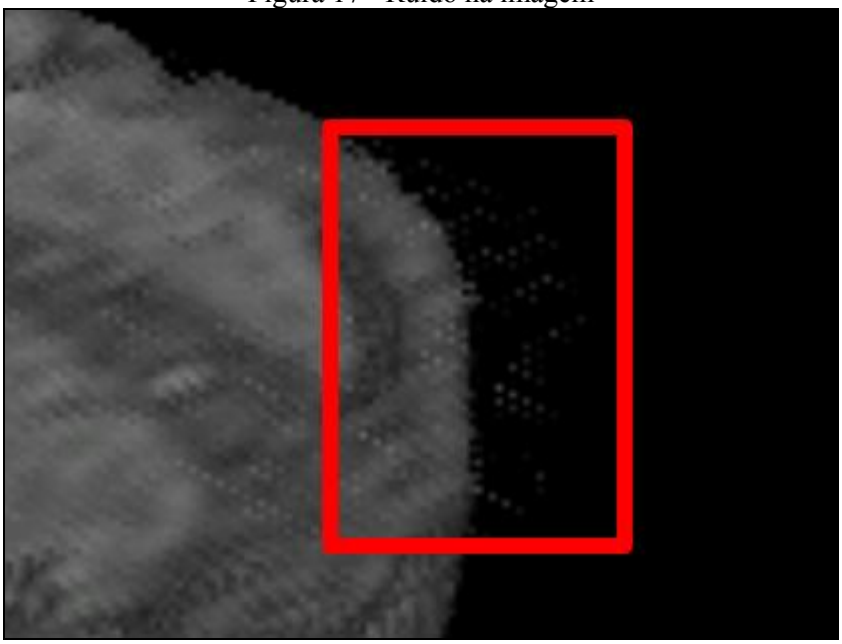
Porém, o desempenho obtido no processo de leitura foi um pouco abaixo do esperado. Mais detalhes sobre o desempenho são apresentados na seção 3.4.3.

Nos arquivos de imagem, a biblioteca consegue ler os `pixels` da imagem em forma de `byte array` através da `tag` `PixelData`. Na aplicação apresentada, limitou-se a leitura das imagens apenas para as que tenham representação em dezesseis `bits` com ou sem sinal. Tendo em mãos o `array` de `bytes`, o próximo passo foi converte-lo para o formato adequado a imagem lida, que no caso da aplicação apresentada, limitou-se a dezesseis `bits`. Os `pixels` convertidos foram armazenados em uma matriz de inteiros, com cada posição da matriz representando um `pixel` da imagem. No mesmo momento do processo de conversão para a representação de `bits` adequada, é verificado a área útil da imagem, ou seja, a área que possui um `pixel` que não seja a cor de fundo da imagem. Para isso, utilizou-se um limiar, com valor 50, que a cada leitura de `pixel` da imagem, verifica se o `pixel` lido corresponde ao fundo da imagem, comparando o valor dele com o limiar definido. Caso o `pixel` seja menor que o valor do limiar, aplica-se ao canal alpha do `pixel` o valor máximo, para que no momento em que o OpenGL-ES desenhar essa imagem na cena, os `pixels` com valor alpha máximo sejam desenhados com valor mínimo de opacidade e assim, não apareçam na cena.

Logo após a conversão e aplicação do limiar, é aplicado na matriz obtida, o conceito de `bounding-box`, verificando em cada imagem, qual a coluna e linha onde se inicia o corpo de cada imagem. Isso é possível comparando a menor e maior linha e coluna que possuem o valor mínimo, ou seja, zero, no canal `alpha` do `pixel`. Este processo é realizado em todas as imagens, e depois de ter lido todas as imagens, verifica-se a maior e menor linha e coluna, e então é criado uma nova matriz apenas com as linhas e colunas que fazem parte do corpo da imagem.

Foi esperado um resultado mais satisfatório com a utilização da `bounding-box`, visto que no exame do joelho, o tamanho das imagens diminuiu em média duas colunas. Não houve tempo hábil para verificar esse quesito, mas acredita-se que ruídos nas imagens podem ter causado esse resultado não satisfatório, como pode ser visto mais nitidamente na Figura 17.

Figura 17 - Ruído na imagem



Nos testes utilizando o dispositivo, foi encontrado uma limitação na utilização das texturas no OpenGL-ES, que aceita apenas imagens que tenham a mesma altura e largura. Isso inviabilizou o uso da `bounding-box` nos testes no dispositivo utilizado. Por esse motivo, nos testes no dispositivo, foi utilizada a maior `bounding-box` quadrada encontrada.

Ainda na visualização volumétrica, não obteve-se um resultado satisfatório na rotação do objeto, tendo como problema a sobreposição do objeto na nova posição em relação ao objeto na posição anterior, e assim sucessivamente. Mesmo utilizando os comandos do OpenGL-ES (que aparentemente estariam corretos) para apagar a cena a cada nova mudança de posição da câmera, o problema persistia. Devido ao tempo, não foi possível resolver este problema, mas o código da aplicação está preparado para receber a rotação do objeto, precisando apenas identificar qual o real problema em apagar o *buffer* de renderização da cena a cada nova rotação.

3.4.2 Comparação com o trabalho correlato

Nesta seção são comparados as principais características deste trabalho com as dos trabalhos correlatos. O Quadro 20 apresenta este comparativo.

Quadro 20 - Comparação entre este trabalho com os trabalhos correlatos

Características	Osirix	Oliveira (2013)	Hermann (2013)
Ler arquivos DICOM	X	X	X
Visualização em duas dimensões	X	X	X
Tratamento das imagens	X		
Visualização volumétrica	X	X	X
Rotação do volume	X	X	
Visualização interna do volume	X		
Visualização em mais de três dimensões	X		
Separação do volume em componentes	X		
Fatiamento do volume	X	X	
Geração da imagem em mais de uma direção anatômica	X	X	X
Aplicação para dispositivos móveis	X	X	X

Observando a tabela, percebe-se que o Osirix é uma aplicação muito mais completa, possuindo todas as características observadas. Segundo Osirix (2013), a aplicação foi resultado de mais de cinco anos de pesquisa e desenvolvimento em imagens digitais.

O trabalho apresentado por Oliveira possui algumas características a mais em relação ao trabalho apresentado, na questão da rotação e fatiamento do volume.

A maior dificuldade ao comparar os resultados, foi encontrar um aplicativo na plataforma Android que realizasse a visualização volumétrica ou gerasse as imagens em outras direções além da sagital. Os aplicativos encontrados, realizavam apenas a visualização das imagens na direção sagital, por este motivo, não foi comparado nenhum deles com o trabalho apresentado.

3.4.3 Memória e desempenho

Para realizar os testes de desempenho e memória da aplicação foram utilizados dois exames médicos obtidos por ressonância magnética. O primeiro exame utilizado foi do crânio, que possui 22 imagens, sendo que cada uma das imagens possui tamanho 256x256. O segundo exame, foi o do joelho, tendo 55 imagens de tamanho 512x512. A aplicação foi executada utilizando o simulador do Android na versão 2.2 e o tablet Samsung Galaxy Tab 2 com processador de 1 GHz e memória de 1 GB, rodando Android na versão 4.1.1. Os testes utilizando todas imagens foram executadas somente no simulador, já que utilizando o

dispositivo, no exame do joelho, o uso de memória excedia o limite máximo disponível para a aplicação. Como no dispositivo não é possível aumentar o valor máximo de memória disponível, foi necessário executar utilizando o simulador, que permite esse aumento necessário. Os testes no dispositivo limitaram a leitura de imagens para 10 unidades e todos resultados apresentados referentes ao dispositivo, consideram apenas 10 imagens.

Para a análise do consumo de memória, foi utilizado a ferramenta Heap que está inclusa no *Software Development Kit* (SDK) do Android.

3.4.3.1 Consumo de memória

Será analisado nesta seção, o consumo de memória dos dois exames em quatro momentos distintos da aplicação. Primeiramente, o uso de memória quando a aplicação é iniciada, quando a tela de seleção de exames é exibida. Logo em seguida, é verificado o consumo de memória da leitura do arquivo DICOM assim como suas imagens, seguido da visualização em duas dimensões e da visualização volumétrica. A Tabela 1 apresenta o resultado obtido nos diferentes exames, no simulador e no dispositivo. Uma ilustração melhor desta tabela pode ser observado na Figura 18 e 19.

Tabela 1 - Consumo de memória da aplicação

	Simulador		Dispositivo	
Momento	Crânio	Joelho	Crânio	Joelho
Fatias	22	10	22	10
Início da aplicação	2,277 MB	2,277 MB	6,927 MB	6,927 MB
Leitura dos arquivos	9,442 MB	113,100 MB	12,563 MB	28,131 MB
Visualização 2D	9,484 MB	113,140 MB	12,480 MB	27,396 MB
Visualização volumétrica	9,508 MB	113,147 MB	14,763 MB	37,428 MB

Figura 18 - Gráfico do uso de memória utilizando o simulador

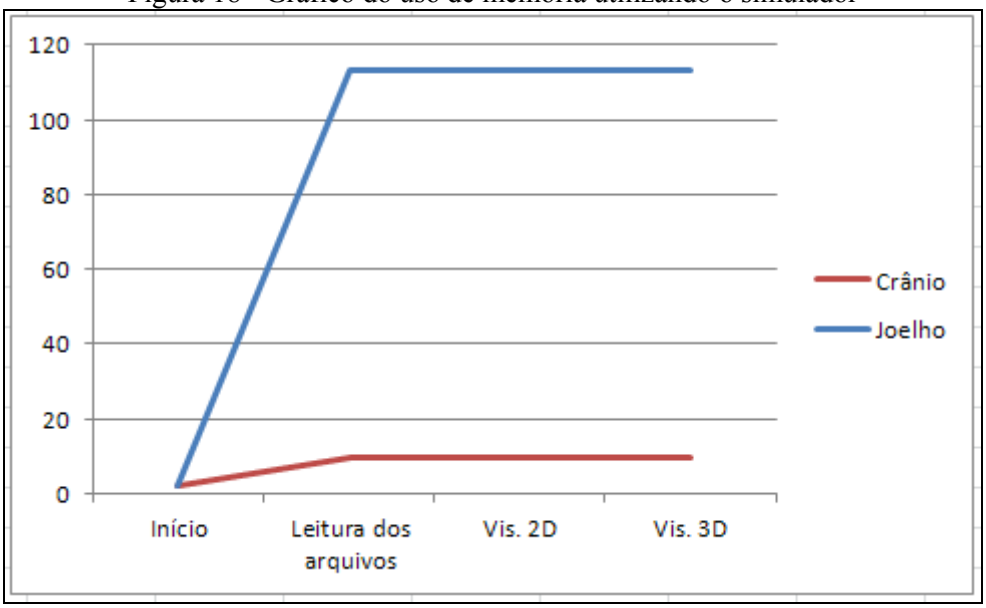
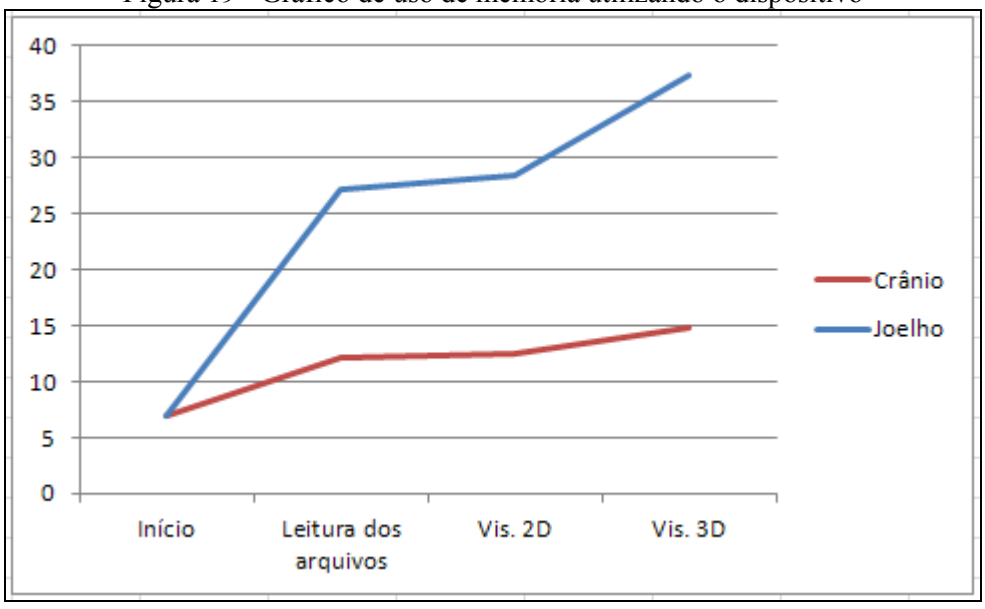


Figura 19 - Gráfico de uso de memória utilizando o dispositivo



Observa-se que o uso maior de memória ocorre no momento da leitura dos arquivos. A diferença fica mais evidente no exame do joelho, devido ao número de imagens e a dimensão das mesmas.

Percebe-se uma diminuição mínima no consumo de memória após a leitura dos arquivos, quando se dá início a visualização em duas dimensões e posteriormente a volumétrica. Isso se deve ao fato que a máquina virtual do Android possui um mecanismo de limpeza de lixo, mais conhecido como *Garbage Collector* (GC), que faz uma varredura nos objetos instanciados e elimina os que não estão mais sendo usados.

Em uma futura melhoria do aplicativo, o consumo de memória deve ser um dos primeiros itens analisados para tornar possível a execução do mesmo nos dispositivos com uma capacidade de memória razoável e possibilitar a leitura de qualquer exame independente da quantidade e tamanho de imagem utilizados.

3.4.3.2 Desempenho

A avaliação do desempenho seguiu a mesma linha, comparando os dois exames e verificando o tempo gasto em operações específicas do aplicativo.

Nos testes feitos usando o simulador, não deve-se levar em consideração que os tempos apresentados são tempos reais de execução em um dispositivo, já que no simulador, toda operação é mais custosa e consequentemente, demanda mais tempo. Nos testes realizados no dispositivo, foram considerados apenas a leitura e exibição de 10 imagens, como já explicado na seção 3.4.3. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos em diferentes operações da aplicação utilizando o simulador e o dispositivo.

Tabela 2 - Desempenho por operação

	Simulador		Dispositivo	
Operação	Crânio	Joelho	Crânio	Joelho
Fatias	22	55	22	10
Leitura dos arquivos	12,825 s	136,369 s	0,630 s	2,333 s
Criação da imagem coronal	0,079 s	0,291 s	0,153 s	0,212 s
Criação da imagem axial	0,073 s	0,236 s	0,055 s	0,056 s
Montagem da tela de visualização 2D	0,317 s	0,985 s	0,049 s	0,057 s

Observa-se que o processo mais custoso foi o da leitura dos arquivos, sendo que no exame do joelho, onde tem-se 55 imagens de tamanho 512x512, o tempo gasto ultrapassou 2 minutos utilizando o simulador, que não é uma situação aceitável para uma aplicação final. Já

lendo as 10 imagens do exame do joelho no dispositivo, obteve-se um tempo de pouco mais de 2 segundos, que resultaria no tempo médio de 12 segundos para ler as 55 imagens do exame.

Uma otimização na leitura dos arquivos, talvez até criando um leitor DICOM próprio, seria de extrema importância numa futura evolução do aplicativo.

Detalhando um pouco mais os tempos gastos na leitura das imagens, percebeu-se que o maior tempo ocupado é na conversão dos `bytes` obtidos pela leitor para a lista de inteiros representados em 16 `bits`, apresentado no Quadro 7.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se o desenvolvimento de uma aplicação de visualização volumétrica de imagens DICOM na plataforma Android. Os resultados dos testes realizados mostram que o aplicativo atende parcialmente os objetivos propostos.

Este trabalho teve contribuição com o desenvolvimento de um protótipo de um aplicativo que fosse possível a leitura das imagens e exibição das mesmas em três direções distintas. Além disso, apresentou a visualização volumétrica gerada a partir das imagens obtidas, porém sem proporcionar a rotação e fatiamento do volume.

A geração da visualização volumétrica foi possível utilizando várias fatias no espaço, respeitando uma distância pré-determinada entre elas, e em cada uma das fatias, foi aplicada a textura da imagem correspondente, já com sua transparência aplicada.

A qualidade do volume gerado volumetricamente, é diretamente proporcional a quantidade de imagens no exame. Quanto maior o número de imagens, maior será a qualidade, pois não foi implementado nenhum mecanismo que ocupasse a área vazia entre cada uma das fatias.

O maior desafio no desenvolvimento do aplicativo foi o entendimento de como eram feitas as conversões das imagens lidas do arquivo DICOM para o formato que fosse possível ser lido no componente de imagem do Android. Além da dificuldade relatada, a manipulação da câmera juntamente com texturas não foi totalmente satisfatória, apresentando o problema de, ao rotacionar o volume em uma nova posição, ele era desenhado nessa nova posição, mas o volume na posição anterior era mantido, mesmo utilizando todos os comandos para limpar a cena.

4.1 EXTENSÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, pode-se indentificar alguns pontos de melhoria, que são:

a) otimização no processo de leitura dos arquivos DICOM, incluindo a possibilidade de ler imagens além de 16 `bits`;
b) redução do uso de memória no processo de leitura dos arquivos DICOM, para que seja possível realizar a leitura de qualquer exame em um dispositivo físico;
c) realizar a rotação do volume;
d) realizar o fatiamento do volume nas três direções;
e) desenhar a superfície do volume, tomando como referência os pontos externos de cada imagem, e assim realizar o desenho do corpo externo do volume.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDROID DEVELOPERS. **Developers Tools.** [S.l.], 2013. Disponível em: <http://developer.android.com/about/index.html>. Acesso em: 20 set. 2013.

APPLE ITUNES. **iTunes.** [S.l.], 2012. Disponível em: <http://www.apple.com/itunes/>. Acesso em: 20 set. 2013.

CARNEIRO, Marcelo M.; MARTHA, Luiz F. C. R. **Visualização interativa 3D de dados volumétricos**. 2000. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) – Departamento de Informática. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GOOGLE. **Company.** [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.google.com.br/about/company/>. Acesso em: 20 set. 2013.

LECHETA, Ricardo. **Google Android**: aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK. 2. ed. Novatec, 2010. 608 p.

MCCORMICK, Bruce; DEFANTI, Thomas; BROWN, Maxine. (1987). **Visualization in Scientific Computing**. *SIGBIO ACM Special Interest Group on Biomedical Computing*, New York, v.10, p 15-21, 1987.

MONTEIRO, Denyse N. B. **Estudo sobre a visualização de imagens médicas obtida por exames virtuais**. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Computação) - Curso de Pós-graduação em Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

OLIVEIRA, Marcelo da M. **Visualização volumétrica de imagens DICOM para iOs**. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Regional de Blumenau, Blumenau.

OSIRIX. **Roadmap.** [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.osirix-viewer.com/Roadmap.html>. Acesso em: 18 set. 2013.

PAIVA, Anselmo C.; SEIXAS, Roberto de B.; GATTAS, Marcelo. **Introdução à visualização volumétrica**. 1999. 16 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica-Rio, Rio de Janeiro.

VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.tuwien.ac.at/en/>. Acesso em: 20 set. 2013.