

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA E CIÊNCIAS DA SAÚDE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CLÍNICA MÉDICA

CLÁUDIA RÉGIO BRAMBILLA

**AMBIENTE COLABORATIVO PARA FORMAÇÃO DE PESSOAL EM
MEDICINA NUCLEAR**

Porto Alegre
2011

CLÁUDIA RÉGIO BRAMBILLA

**AMBIENTE COLABORATIVO PARA FORMAÇÃO DE PESSOAL EM
MEDICINA NUCLEAR**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina e Ciências da Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Vinicius Duval da Silva

Co-orientadora: Prof^a. Ana Maria Marques da Silva

Porto Alegre
2011

CLÁUDIA RÉGIO BRAMBILLA

**AMBIENTE COLABORATIVO PARA FORMAÇÃO DE PESSOAL EM
MEDICINA NUCLEAR**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina e Ciências da Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em 18 de Janeiro de 2011.

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Lorena Pozzo – IPEN/CNEN

Dr. Carlos Alberto Buchpiguel – USP

Dra. Maria Helena Itaqi Lopes - PUCRS

*Aos meus amados pais que sempre
me incentivaram e me apoiaram com
muito amor em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter chegado ao encerramento de mais uma etapa de minha vida, graças a Ele tudo é possível!

Gostaria de agradecer também ao meu orientador professor Dr. Vinicius Duval da Silva que aceitou esta proposta de trabalho juntamente ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina (FAMED) da PUCRS. Também gostaria de agradecer minha co - orientadora professora Dr^a. Ana Maria Marques da Silva que já me orientou em outros trabalhos relacionados à pesquisa na área de imagens médicas e me propiciou espaço inicial em seu grupo de pesquisa - NIMed.

Agradeço ao FRIDA que foi o órgão de fomento que sustentou o nosso projeto e permitiu a evolução desta proposta. Assim como, todas as instituições colaboradoras deste trabalho: Hospital Mãe de Deus (HMD), Hospital Ernesto Dorneles/Nuclimagem, Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), Hospital Moinhos de Vento (HMV), Hospital Cardiologia/Cardionuclear e Hospital São Lucas da PUCRS (HSL). Estas instituições foram cruciais para muitas das coletas de dados e análises deste trabalho, agradeço a todos físicos médicos e médicos nucleares que foram fortes contribuintes para que o sucesso deste trabalho fosse possível!

Agradeço a todos meus colegas e professores que me apoiaram em diversas etapas desta execução tanto em discussões como em auxílio de atividades: Lúcia Giraffa, Gabriela Hoff, Geisa Medeiros, Lori Viali, David Françóis, Karina Franz, Gabriel Dalpiaz, César de Rose, Antônio, Marco, Gabriel Crauss (pessoal do LAD), Márcia Kopchina, Fernanda Zamprogno, João Alfredo Borges, entre muitos outros que de certa forma apoiaram este trabalho de diversas maneiras.

Outra parte especial de meus agradecimentos vai para minha família: meus amados pais, minha avó Olga, minha cunhada Dayse e meu amado afilhado Guilherme, que sempre me apoiaram, com destaque do meu irmão que sustentou meus momentos tensos dizendo “mestrado é assim mesmo”. Ao Gabriel Arnt pelos bons tempos. Também a todos os meus amigos, pelos momentos de descontração e risadas onde não era mais possível não tirar uma folga e a todos que contribuíram de certa forma com este trabalho, o meu sincero: Muito Obrigada !!!!

*“O começo de todas as ciências é o
espanto de as coisas serem o que são”.*

Aristóteles

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver e validar um protótipo de Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear em um teste piloto, com profissionais experientes da área de Medicina Nuclear. Inicialmente, foram detectadas as premissas, restrições e funcionalidades necessárias para o desenvolvimento e implementação deste ambiente. Bancos de Imagens Clínicas, Experimentais e Simuladas foram desenvolvidos, além de um Banco de Documentos e um protótipo para realizar a submissão facilitada de simulações pelo método Monte Carlo através de processamento em *cluster* computacional hospedado no Laboratório de Alto Desempenho da PUCRS. O protótipo foi desenvolvido no ambiente *Moodle*, amplamente utilizado pela comunidade científica e acadêmica e foi avaliado com uma amostra de quinze profissionais experientes que atuam efetivamente na área de Medicina Nuclear em um teste piloto de interação. Foram realizadas análises descritivas da amostra, bem como análises quantitativas e qualitativas da opinião dos usuários no intuito de promover a melhoria desse ambiente. O Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear teve boa aceitação pela amostra do teste piloto e poderá ser aprimorado para a futura aplicação na rotina dos profissionais que atuam em serviços de Medicina Nuclear, universidades e em pesquisas nesta área.

Palavras-chave: Ambiente Colaborativo. Medicina Nuclear. Educação Médica. Ensino a distância.

ABSTRACT

This work had as main objective to develop and validate a prototype of a Collaborative Environment in Nuclear Medicine in a pilot study, with experienced professionals in the field of Nuclear Medicine. Initially, we detected the assumptions, constraints and features necessary for the development and implementation of this environment. Clinical, Experimental and Simulated Images databases were developed, as well as, a Documentation databases, and a prototype to perform facilitated submission by Monte Carlo simulations through processing computing cluster hosted by the Laboratory of High Performance at PUCRS. The prototype was developed in the Moodle environment, widely used by scientific and academic community and was assessed with a sample of fifteen experienced professionals who work effectively in the field of Nuclear Medicine in a pilot study interaction. Descriptive analysis from this sample as well as quantitative and qualitative feedback from users was evaluated in order to improve this environment. The Collaborative Environment in Nuclear Medicine was well received by this sample in the pilot study and could be improved for future application in the routine of professionals who work in nuclear medicine, universities and research in this field.

Keywords: Collaborative Environment. Nuclear Medicine. Medical Education. Distance Teaching.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPONENTES DE UMA CÂMARA DE CINTILAÇÃO E SEUS PRINCÍPIOS BÁSICOS. . .	10
FIGURA 2: PROJEÇÃO DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE ATIVIDADE NOS RINS.	11
FIGURA 3: ESQUEMA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DA IMAGEM E RECONSTRUÇÃO TOMOGRÁFICA.	12
FIGURA 4: (A) RECONSTRUÇÃO TOMOGRÁFICA PELO MÉTODO DE RETROPROJEÇÃO SIMPLES. (B) AUMENTO DO NÚMERO DE PROJEÇÕES (3 PROJEÇÕES, 6 PROJEÇÕES E VÁRIAS PROJEÇÕES) NA RECONSTRUÇÃO DA IMAGEM.	12
FIGURA 5: ESQUEMA ILUSTRATIVO PARA EXEMPLIFICAR OS PASSOS DA RECONSTRUÇÃO ITERATIVA.	14
FIGURA 6: ESQUEMA DAS PROBABILIDADES DE INTERAÇÃO DOS FÓTONS PROVENIENTES DE UM VOLUME RADIOATIVO DE INTERESSE COM A MATÉRIA, (A) FÓTON PRIMÁRIO, (B) EFEITO FOTOELÉTRICO,	17
FIGURA 7: (A) CORTES TOMOGRÁFICOS DE SPECT CARDÍACO, ONDE OCORREU ATENUAÇÃO DIAFRAGMÁTICA E, (B) CORTES TOMOGRÁFICOS DE SPECT CARDÍACO, ONDE OCORREU ATENUAÇÃO DEVIDO À MAMA. AS SETAS NAS IMAGENS INDICAM ALGUMAS ÁREAS QUE SOFRERAM ATENUAÇÃO.	22
FIGURA 8: (A) ESQUEMA DOS PLANOS DE CORTES DE UM EXAME DE SPECT CARDÍACO. (B) IMAGEM DOS CORTES DE UM EXAME DE SPECT DE UM PACIENTE NORMAL NOS DIFERENTES PLANOS EM ESTRESSE.	23
FIGURA 9: CORTES TOMOGRÁFICOS NAS FASES DE REPOUSO E ESTRESSE EM ESTUDO DE SPECT DO MIOCÁRDIO, PARA COMPARAÇÃO.	23
FIGURA 10: (A) <i>PHANTOM</i> GEOMÉTRICO JASZCZAK, UTILIZADO EM TESTES DE MN. (B) <i>PHANTOM</i> ANTROPOMÓRFICO DE TORSO COM INSERÇÃO CARDÍACA, UTILIZADO EM ESTUDOS DE MN.	24
FIGURA 11: <i>PHANTOM</i> GEOMÉTRICO ADAM/MIRD5	25
FIGURA 12: EVOLUÇÃO DE MODELOS UTILIZADOS EM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.	26
FIGURA 13: COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS (A) GEOMÉTRICO MCAT E (B) ANTROPOMÓRFICO NCAT.	26
FIGURA 14: INTERFACE GRÁFICA PARA VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS ÓRGÃOS E MOVIMENTOS DO MODEMO ANTROPOMÓRFICO.	27
FIGURA 15: ARQUITETURA DOS MÓDULOS DO PACOTE GATE	31

- FIGURA 16: PROJEÇÕES DE UM PACIENTE EM AQUISIÇÃO DE SPECT EM REPOUSO (ESQUERDA) E CORTES DE UMA IMAGEM DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR RX PARA GERAR UM MAPA PARA CORREÇÃO DE ATENUAÇÃO NÃO UNIFORME (DIREITA)..... 55
- FIGURA 17: IMAGEM DO PACIENTE DA FIGURA 16 PROCESSADA POR FBP COM VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE CORTE UTILIZADA NO PROCESSAMENTO PARA O FILTRO BUTTERWORTH (A) IMAGEM PROCESSADA COM FREQUÊNCIA DE CORTE 0,2 E ORDEM 1 (B) IMAGEM PROCESSADA COM FREQUÊNCIA DE CORTE DE 0,6 E ORDEM 1. 55
- FIGURA 18:ESQUEMA DO MODELO FÍSICO DE TÓRAX COM INSERT CARDÍACO 57
- FIGURA 19: (A) PREPARO DO MODELO FÍSICO ANTROPOMÓRFICO, CONFORME AS CONCENTRAÇÕES DE ATIVIDADE DE REFERÊNCIA; (B) POSICIONAMENTO DO MODELO NA CÂMARA PHILIPS FORTE PARA PROTOCOLOS DE AQUISIÇÃO COM ^{99m}Tc-SESTAMIBI. 59
- FIGURA 20: MODELO FÍSICO POSICIONADO EM EQUIPAMENTO DE CT (SIEMENS) PARA AQUISIÇÃO DE IMAGEM PARA GERAR MAPA DE CORREÇÃO DE ATENUAÇÃO NÃO UNIFORME..... 59
- FIGURA 21: MODELO FÍSICO POSICIONADO EM EQUIPAMENTO SPECT COM FONTE DE TRANSMISSÃO PARA MAPA DE ATENUAÇÃO NÃO UNIFORME. 60
- FIGURA 22: GEOMETRIA DA CABEÇA/DETECTOR DA CÂMARA GAMA SPECT FORTE PHILIPS CONSTRUÍDA VIRTUALMENTE (EM VERMELHO, O CONTORNO REPRESENTANDO A BLINDAGEM). 64
- FIGURA 23: (A) FONTE FLOOD NA SUPERFÍCIE DO DETECTOR COM COLIMADOR VXGP E, (B) FONTES LINEARES NA SUPERFÍCIE DO DETECTOR COM COLIMADOR VXGP 67
- FIGURA 24: FONTE ESFERA (PONTUAL DA PRÁTICA) UTILIZADA PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E RESOLUÇÃO ESPACIAL COM A DISTÂNCIA. 68
- FIGURA 25: AQUISIÇÃO DE FONTE “PONTUAL” POSICIONADA A DIFERENTES DISTÂNCIAS DO COLIMADOR PARA O TESTE DE SENSIBILIDADE DO SISTEMA COM A VARIAÇÃO DA DISTÂNCIA FONTE-DETECTOR. 69
- FIGURA 26: (A) IMAGEM DO PERFIL TRAÇADO SOBRE AS FONTES LINEARES PARA ANÁLISE DO TESTE DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA, (B) GRÁFICO DO PERFIL TRAÇADO SOBRE AS FONTES LINEARES NA IMAGEM (A); (C) PONTOS DE REFERÊNCIA DOS EIXOS (X;Y) DO GRÁFICO DE (B). 73
- FIGURA 27: (A) IMAGEM DO GRÁFICO REALIZADO NA FIGURA 26 (B) COM AJUSTE DE UMA GAUSSIANA NO PROGRAMA *ORIGIN 7.0*, (B) DADOS DO AJUSTE DA GAUSSIANA DO GRÁFICO NA FIGURA (A)..... 73
- FIGURA 28: CORTES NO PLANO AXIAL DO MODELO NCAT NA REGIÃO DO TÓRAX, IMAGEM (REPRESENTANDO VALORES DE ATENUAÇÃO) UTILIZADA PARA MODELAR ESTUDOS DO MIOCÁRDIO NO PROGRAMA GATE DE SIMULAÇÃO MC. 75
- FIGURA 29: (A) IMAGEM DO MODELO NCAT CONFECCIONADO PARA ESTE TRABALHO EM UM CORTE CORONAL EVIDENCIANDO A REGIÃO DO MIOCÁRDIO E (B) IMAGEM DE AQUISIÇÃO

SIMULADA DO MODELO NCAT EM UMA PROJEÇÃO ANTERIOR DO MODELO NO GATE_v5.	76
FIGURA 30: ACESSO AO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO AMBIENTE NA INTERFACE DE ENTRADA (<i>HOME</i>) DO AMBIENTE COLABORATIVO EM MN (QUADRADO VERMELHO EM DESTAQUE NA FIGURA).	80
FIGURA 31: <i>HOME</i> DO AMBIENTE COLABORATIVO EM MEDICINA NUCLEAR. DISTRIBUIÇÃO DOS CONTEÚDOS EM CATEGORIAS NO AMBIENTE: (A) CURSOS, ACESSA OS TEMAS DE DISCUSSÃO E APARECE À ESQUERDA DA PÁGINA; (B) IMAGENS ACESSA OS DIVERSOS BANCOS DE IMAGENS E APARECE NA BARRA DO MENU; (C) DOCUMENTOS, ACESSA DIVERSOS TIPOS DE MATERIAIS DE APOIO E APARECE NA BARRA DO MENU; (D) SIMULAÇÕES, ACESSA O MÓDULO DE SUBMISSÃO DE SIMULAÇÃO;	87
FIGURA 32: TÓPICO DE ESTUDO DE PERFUSÃO DO MIOCÁRDIO QUE ESTÁ LOCALIZADO NA CATEGORIA DE CURSOS (ESTUDOS DE CASOS) NO AMBIENTE. O TÓPICO TRAZ UM CASO CLÍNICO DE UM PACIENTE REAL DA ROTINA CLÍNICA E APRESENTA IMAGENS DO BANCO E FÓRUM PARA DISCUSSÃO DOS USUÁRIOS E MODERADOR.	89
FIGURA 33: FUNCIONALIDADES ADMINISTRATIVAS PARA GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA PELO ADMINISTRADOR (GERENCIAMENTO DA POLÍTICA DO SÍTIO; DEFINIÇÃO DE NÍVEIS DE VISIBILIDADE DA PÁGINA; SEGURANÇA DOS MÓDULOS; NOTIFICAÇÕES; E ANTI-VÍRUS). .	92
FIGURA 34: FERRAMENTA ZOOMBOX, QUE EXIBE O TEXTO DE INTRODUÇÃO DO FORMULÁRIO QUANDO O USUÁRIO ACESSA A PÁGINA PARA CADASTRO, POR PADRÃO O RECURSO É ATIVADO QUANDO SE CLICA EM ALGUM ELEMENTO HTML.	94
FIGURA 35: SOLICITAÇÃO DE CADASTRO NO AMBIENTE COLABORATIVO COM DADOS DE PERFIL DO USUÁRIO.....	95
FIGURA 36: DIAGRAMA DA INTERAÇÃO DO USUÁRIO COM A FERRAMENTA DE CADASTRO E BANCO DE DADOS.....	96
FIGURA 37: INTERFACE DE APOIO AO CADASTRAMENTO DE USUÁRIOS GERENCIADA PELO ADMINISTRADOR DO AMBIENTE COLABORATIVO EM MN.....	96
FIGURA 38: DIAGRAMA DE INTERAÇÃO DO ADMINISTRADOR COM O SISTEMA DE CADASTRAMENTO DE USUÁRIOS.	97
FIGURA 39: TEXTO INTRODUTÓRIO EXIBIDO QUANDO O USUÁRIO ACESSA O QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE DE OPINIÃO.....	98
FIGURA 40: INTERFACE DE ENTRADA DO E-MAIL DO USUÁRIO PARA ACESSO AO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO.....	99
FIGURA 41: INTERFACE PARA SUBMISSÃO FACILITADA DE SIMULAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO	100
FIGURA 42: DIAGRAMA DE INTERAÇÃO DO USUÁRIO COM O AMBIENTE FACILITADO DE SUBMISSÃO DE SIMULAÇÃO E COMUNICAÇÃO DO AMBIENTE COM O CLUSTER DO LAD	

PARA O PROCESSAMENTO E ENVIO DAS IMAGENS SIMULADAS (RETORNADAS AO AMBIENTE/USUÁRIO).....	101
FIGURA 43: GRÁFICO EM CAIXA PARA MOSTRAR A DISTRIBUIÇÃO DA AMOSTRA EM RELAÇÃO À IDADE, TEMPO DE FORMAÇÃO E TEMPO NO CARGO/FUNÇÃO ATUAL NA ÁREA DE MN. .	103
FIGURA 44: GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DA MOSTRA EM RELAÇÃO ÀS INTERVENÇÕES NO AMBIENTE.....	104
FIGURA 45: OPINIÃO DOS USUÁRIOS EM RELAÇÃO À RELEVÂNCIA DOS ITENS DO MENU, BANCOS DE IMAGENS, CONTRIBUIÇÃO DOS USUÁRIOS, QUALIDADE DOS MATERIAIS, SOFTWARES LIVRES, FÓRUMS DE DISCUSSÃO E POSSIBILIDADE DE SUBMISSÃO DE SIMULAÇÕES NO AMBIENTE COLABORATIVO.	105
FIGURA 46: OPINIÃO DOS USUÁRIOS EM RELAÇÃO AOS RECURSOS DE INTERFACE (ORGANIZAÇÃO DOS ELEMENTOS NO AMBIENTE COLABORATIVO); INFORMAÇÃO, CONTATO DO GRUPO E PROTÓTIPO DE SUBMISSÃO DE SIMULAÇÃO.....	111
FIGURA 47: (A) IMAGEM DA AQUISIÇÃO REAL NA CÂMARA FORTE PHILIPS PARA O TESTE DE SENSIBILIDADE COM A FONTE <i>FLOOD</i> SOBRE O DETECTOR COM COLIMADOR VXGP; (B) IMAGEM DA AQUISIÇÃO REAL NA CÂMARA FORTE PHILIPS PARA O DESCONTO DO FUNDO (<i>BACKGROUND</i>) NO TESTE DE SENSIBILIDADE.....	138
FIGURA 48: IMAGEM DA SIMULAÇÃO PARA O TESTE DE SENSIBILIDADE COM ROI PARA A MEDIDA DAS CONTAGENS TOTAIS (IGUALMENTE FOI EMPREGADA ESTA ROI NA IMAGEM EXPERIMENTAL). CABE RESSALTARMOS QUE NA SIMULAÇÃO NÃO TEREMOS RADIAÇÃO DE FUNDO.	138
FIGURA 49: PERFIL DAS CONTAGENS POR PIXEL NAS IMAGENS DE AQUISIÇÃO EXPERIMENTAL EM COMPARAÇÃO.....	139
FIGURA 50: (A) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 5 CM DO DETECTOR; (B) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 10 CM DO DETECTOR; (C) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 15 CM DO DETECTOR E (D) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 20 CM DO DETECTOR.....	140
FIGURA 51: (A) IMAGEM SIMULADA DA FONTE PONTUAL A 5 CM DO DETECTOR; (B) IMAGEM SIMULADA DA FONTE PONTUAL A 10 CM DO DETECTOR; (C) IMAGEM SIMULADA DA FONTE PONTUAL A 15 CM DO DETECTOR E (D) IMAGEM SIMULADA DA FONTE PONTUAL A 20 CM DO DETECTOR.....	140
FIGURA 52: SENSIBILIDADE DO SISTEMA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA FONTE-DETECTOR PARA O COLIMADOR VXGP.	140
FIGURA 53: (A) AQUISIÇÃO COM FONTES LINEARES SOBRE O COLIMADOR VXGP PARA ANÁLISE DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA NO EIXO X DO DETECTOR; (B) AQUISIÇÃO COM FONTES LINEARES SOBRE O COLIMADOR VXGP PARA ANÁLISE DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NO EIXO Y DO DETECTOR; (C) IMAGEM DA AQUISIÇÃO DAS CONTAGENS DE FUNDO PARA DESCONTO DE CONTAGENS NAS IMAGENS (A) E (B).	141

- FIGURA 54: (A) IMAGEM DE SIMULAÇÃO COM FONTES LINEARES SOBRE O COLIMADOR VXGP PARA TESTE DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA, (B) IMAGEM DE SIMULAÇÃO COM FONTES LINEARES À 10 CM DO SISTEMA DE DETECÇÃO COM COLIMADOR VXGP PARA TESTE DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA..... 142
- FIGURA 55: (A) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 5 CM DO DETECTOR; (B) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 10 CM DO DETECTOR; (C) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 15 CM DO DETECTOR E (D) IMAGEM DA FONTE PONTUAL A 20 CM DO DETECTOR..... 142
- FIGURA 56: COMPORTAMENTO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA COM COLIMADOR VXGP COM A VARIAÇÃO DA DISTÂNCIA FONTE-DETECTOR. 144
- FIGURA 57: ESPECTRO DE ENERGIA PARA O ^{99m}Tc , DADOS EM COMPARAÇÃO DA AQUISIÇÃO EXPERIMENTAL VERSUS SIMULAÇÃO. 144

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PARÂMETROS DA CONSTRUÇÃO DA BLINDAGEM DA CABEÇA DA CÂMARA GAMA...	62
TABELA 2: PARÂMETROS DE CONSTRUÇÃO DO COLIMADOR VXGP.....	63
TABELA 3: MODELAGEM DO CRISTAL CINTILADOR.....	63
TABELA 4: MODELAGEM DO COMPARTIMENTO TRASEIRO.....	64
TABELA 5: DADOS DO TESTE DE SENSIBILIDADE, COMPARAÇÃO EM ERROS PERCENTUAIS.	139
TABELA 6: DADOS DO TESTE DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA (RES_ESP_SIS) E TAMANHO DO PIXEL UTILIZANDO O COLIMADOR VXGP (MEDIDAS NA SUPERFÍCIE E À 10 CM DO COLIMADOR), COMPARAÇÃO EM ERROS PERCENTUAIS.....	143
TABELA 7: DADOS DESCRITIVOS DA DISTRIBUIÇÃO DE ALGUMAS DAS VARIÁVEIS COLETADAS SOBRE A AMOSTRA E SUA INTERAÇÃO.	164
TABELA 8: DADOS PERCENTUAIS DE OPINIÃO DOS USUÁRIOS RELACIONADOS AOS TRÊS BLOCOS INICIAIS DO QUESTIONÁRIO.....	165
TABELA 9: DADOS PERCENTUAIS DE OPINIÃO DOS USUÁRIOS RELACIONADOS AO QUARTO BLOCO DO QUESTIONÁRIO.....	165

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA	3
1.2 PROBLEMA	4
1.3 HIPÓTESE	5
1.4 QUESTÃO DE PESQUISA	6
1.5 OBJETIVO GERAL	6
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.7 JUSTIFICATIVA	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 IMAGENS EM MEDICINA NUCLEAR	9
2.1.1 Aquisição de Imagens de Cintilografia	9
2.1.2 Reconstrução Tomográfica em Medicina Nuclear	11
2.1.2.1 Métodos Analíticos de Reconstrução	12
2.1.2.2 Métodos Iterativos de Reconstrução	13
2.1.3 Quantificação de Imagens em Medicina Nuclear	14
2.1.4 Interação da Radiação com os Tecidos: Atenuação	16
2.2 SPECT CARDÍACO	19
2.2.1 Protocolos de Aquisição de Imagens de Perfusão Miocárdica	20
2.2.2 Análise das Imagens	22
2.3 MODELOS FÍSICOS E MATEMÁTICOS EM MEDICINA NUCLEAR	24
2.3.1 Modelo Antropomórfico NCAT 4D	26
2.4 SIMULAÇÕES PELO MÉTODO MONTE CARLO	28
2.4.1 Pacote GATE de Simulação de MC	29
2.4.1.1 <i>Grid</i> Colaborativo e Computacional	31
2.5 EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA	33
2.5.1 Internet e Ciberespaço	35
2.5.2 Tecnologias da Informação e da Comunicação - TIC	37
2.5.3 Ambientes Virtuais de Suporte à Aprendizagem	37
2.5.4 Categorias de Ambientes Virtuais	39
2.5.5 Interatividade e Aprendizagem	43
2.5.6 Hipertextos e Discussões Mediadas por Computador	44

2.5.7 Comunidades Virtuais de Aprendizagem e Prática.....	46
2.5.8 Ambientes Virtuais na Área Médica.....	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1 REQUISITOS DO AMBIENTE COLABORATIVO	52
3.2 DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE COLABORATIVO	54
3.2.1 Banco de Imagens Clínicas	55
3.2.2 Banco de Imagens Experimentais	56
3.2.3 Banco de Imagens Simuladas	61
3.2.4 Simulações para Modelagem de Estudos SPECT.....	62
3.2.4.1 Parâmetros para a modelagem da geometria da câmara.....	62
3.2.4.2 Parâmetros para a modelagem do processamento do sinal.....	64
3.2.4.3 Parâmetros para modelagem de processos físicos.....	65
3.2.4.4 Parâmetros para modelagem das fontes radioativas	66
3.2.4.5 Protocolos realizados nas aquisições das imagens experimentais.....	68
3.2.4.6 Análise empregada nas imagens experimentais e simuladas	71
3.2.4.7 Parâmetros para a modelagem do paciente virtual em estudos SPECT.....	74
3.2.5 Protótipo para Submissão de Simulações MC	76
3.3 AMOSTRA	77
3.4 MODERAÇÃO	79
3.5 TESTES PARA A VALIDAÇÃO DAS FERRAMENTAS.....	79
3.6 TESTE PARA A VALIDAÇÃO DO AMBIENTE COLABORATIVO EM MN	80
3.7 ANÁLISES EMPREGADAS APÓS O TESTE DE INTERAÇÃO	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4.1 AMBIENTE COLABORATIVO EM MEDICINA NUCLEAR	86
4.1.1 Funcionalidades do Ambiente Colaborativo	87
4.1.1 Armazenamento, Segurança e Transporte de Dados.....	91
4.1.2 Implementações Realizadas no Ambiente Colaborativo.....	93
4.1.2.1 Implementação de cadastramento de novos usuários:.....	93
4.1.2.2 Implementação de análise através de questionário de opinião:.....	97
4.1.2.3 Protótipo para Submissão Facilitada de Simulações Monte Carlo.....	99
4.1.3 Bancos de Imagens.....	101
4.2 VALIDAÇÃO DO AMBIENTE COLABORATIVO EM MN	102

5 CONCLUSÕES	117
6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	119
7 REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE A	130
APÊNDICE B	134
APÊNDICE C	138
APÊNDICE D	146
APÊNDICE E	164

1 INTRODUÇÃO

A Medicina Nuclear (MN) é uma especialidade médica de diagnóstico e terapia, que utiliza isótopos radioativos associados ou não a moléculas que fazem parte dos processos bioquímicos. Nas imagens de MN, é possível observar o comportamento fisiológico de sistemas, órgãos e tecidos, após a captação do material radioativo pelo sistema de interesse. Através da emissão da radiação gama detectada por uma câmara de cintilação, a biodistribuição do material radioativo é associada a informações clínicas sobre o processo fisiológico.

Os parâmetros de aquisição e os métodos de processamento das imagens de MN podem influenciar na interpretação dos exames. Associações médicas publicam guias para a formação de médicos na interpretação das imagens (*Society of Nuclear Medicine: Procedure Guidelines Manual*), uma vez que as instituições podem desenvolver seus próprios métodos de aquisição e processamento para os estudos clínicos. Assim, a interpretação das imagens muitas vezes acaba sendo realizada fora da esfera tecnológica de um serviço de MN e depende fortemente da experiência e das habilidades do médico nuclear (FOLKS et al, 2002).

O estudo e revisão de casos clínicos por meio da visualização de imagens arquivadas de instituições desempenham um papel importante na formação dos residentes em MN. Porém, este método de ensino possui limitações, tais como a dificuldade de acesso a determinados casos ou até eventos de rara periodicidade (WALLIS et al, 1995).

Atualmente, com a disponibilidade das tecnologias digitais e virtuais, como a rede Internet, é possível o acesso a ambientes virtuais que disponibilizam materiais instrucionais ou plataformas de suporte a aprendizagem. Alguns estão destinados ao ensino dos processos e parâmetros envolvidos no diagnóstico por imagens.

Normalmente, os materiais são oferecidos na forma de cursos *online* de acesso aberto ou restrito, como o projeto europeu *EMERALD*¹, destinado ao ensino de processos de imageamento médico para físicos médicos e engenheiros; ou os cursos para estudantes de medicina, como o *College of Medicine & Health Science*². Estes ambientes disponibilizam textos em formato convencional (arquivos para *download*, geralmente no formato pdf) ou na forma de hipertextos, além de bancos de imagens de pacientes com os respectivos diagnósticos.

No entanto, os ambientes de aprendizagem na área médica não costumam utilizar a incorporação dinâmica de conteúdo, proveniente da interação com os usuários. Em geral, em tais ambientes virtuais, a interatividade com o usuário restringe-se apenas à liberdade de opção pelo caminho a ser percorrido dentro do aplicativo (navegação), não possibilitando a interação efetiva proporcionada pela inserção de novos questionamentos no ambiente através do uso de fóruns e *chats*.

As tecnologias computacionais e de colaboração disponíveis atualmente podem ser utilizadas para auxiliar a compreensão dos processos envolvidos na obtenção e processamento de imagens médicas.

Além da aquisição experimental com modelos antropomórficos físicos reais, a simulação computacional de imagens pelo método Monte Carlo (MC) é largamente utilizada para resolver problemas da Física Médica, devido à natureza estocástica dos processos de emissão, transporte e detecção da radiação (BRAMBILLA, 2007 & SILVA, 1998). Esta modelagem matemática pode ser utilizada para simular os efeitos produzidos por mudanças de parâmetros nas aquisições de imagens de MN (ZAIDI, 1999). O método de MC é bastante útil para problemas complexos, que não podem ser modelados através de métodos determinísticos ou empíricos, impraticáveis devido ao custo. Outra vantagem da simulação computacional é a obtenção de imagens realísticas sem a necessidade de realizar exames em pacientes, evitando os efeitos biológicos da radiação em humanos e os custos envolvidos. As simulações são utilizadas em testes e na otimização de protocolos de aquisição, na validação de novas implementações de processamentos e algoritmos de reconstrução das imagens.

¹ EMERALD. Disponível em: <<http://www.emerald2.net>>. Acesso em: 31 de mar. 2008.

² COLLEGE OF MEDICINE & HEALTH SCIENCES. Disponível em: www.squ.edu.om/med/. Acesso em: 31 de mar. 2008.

Programas de simulação de MC especialmente projetados para a área de MN foram desenvolvidos nos últimos dez anos, dentre os quais se destaca o aplicativo GATE (*Geant4 Application for Tomographic Emission*) para simulação de sistemas PET (*Positron Emission Tomography*) e SPECT (*Single Photon Emission Tomography*). Este pacote de ferramentas computacionais foi desenvolvido a partir do programa Geant4 (*Geometry and Tracking*) pela equipe do CERN (*Centre Européen de Recherche Nucléaire*), e vem sendo utilizado pela comunidade científica devido à sua aplicação versátil e adaptada para o campo da MN (STRUL et al, 2003).

As simulações de MC normalmente exigem um tempo computacional na ordem de centenas de horas em função dos múltiplos cálculos necessários para rastrear o transporte das partículas e fótons (BEENHOUWER et al, 2007). Em função do custo computacional, a parametrização é utilizada para diminuir o tempo de processamento, por meio do uso de agregados de computadores em rede ou *cluster*.

A computação em rede, também denominada *grid*, possui grande potencial para permitir o acesso de médicos e pesquisadores a recursos computacionais. Atualmente, existem iniciativas em *grids*, relacionadas com sua funcionalidade. Os termos normalmente utilizados são: *grids* computacionais, *grids* de informação e *grids* de colaboração (FOSTER et al, 2003).

Este trabalho desenvolveu e validou um ambiente colaborativo visando à formação de pessoal em Medicina Nuclear que poderá ser utilizado, futuramente, em aplicações da tecnologia *grid*.

1.1 Tema

A análise visual das imagens de MN proporciona um diagnóstico confiável apenas quando os médicos, devido à sua experiência, conseguem reconhecer os fatores que podem promover alterações ou até mesmo artefatos nas imagens. Tais fatores são abordados no ensino médico tradicional, mas a rapidez no desenvolvimento de novos equipamentos de aquisição de imagens e programas de processamento exige uma capacitação continuada desses profissionais.

Apesar dos materiais de apoio para compreensão de processos físicos e da prática clínica no ensino estar disponíveis, inclusive *online*, normalmente tratam-se de materiais disponibilizados por meio de mídia digital (*CDROM*) ou módulos de aprendizagem de cursos via *web*, ou seja, por meio do ensino a distância (EAD). Ainda, podem ser encontrados ambientes que proporcionam simulações de pacientes virtuais, banco de imagens com ferramentas de busca ou ferramentas para análise de imagens (KAHN et al, 2007; MAGILL et al, 2007; JÖNSSON et al, 2005; WALLIS et al, 1995). Porém, a obtenção destes materiais normalmente envolve custos, ou em caso de materiais de acesso livre, os ambientes são pouco amigáveis para o usuário leigo em informática.

No presente trabalho foi desenvolvido e disponibilizado um ambiente colaborativo para formação de pessoal em Medicina Nuclear. Para avaliar este ambiente foram disponibilizados a um grupo de profissionais atuantes na área de MN imagens médicas clínicas, imagens experimentais adquiridas com modelo antropomórfico e simuladas pelo aplicativo GATE, assim como bancos de documentos relacionados à área. A avaliação do ambiente foi realizada em relação à opinião dos usuários após testes de interação. A título de protótipo, o ambiente disponibilizou inicialmente imagens de SPECT de cardiologia nuclear, que representa o exame de maior demanda na área, para a discussão e interação dos usuários no ambiente.

1.2 Problema

O estudo de caso é uma importante ferramenta para o aprendizado do médico nuclear, mas o método tradicional de análise visual de um grande número de exames acarreta algumas limitações, estando fortemente relacionada com a experiência do profissional. Nem sempre são analisados casos de todos os tipos na residência médica. O uso de filmes, bancos de imagens ou o método tradicional do ensino médico possui ainda algumas desvantagens. O residente pode terminar seu treinamento sem ter tido oportunidade de observar determinados casos ou fazer comparações entre casos e eventos raros (WALLIS et al, 1995).

Outra limitação na formação em MN é a falta de imagens que apresentem eventos tais como: falhas do equipamento, erros na marcação dos radiofármacos, mudanças nos protocolos de aquisição e nos processamentos. Além disso, as estações de trabalho (*workstations*) costumam ser pouco flexíveis para explorar diferentes processamentos e configurações de aquisição.

Particularmente na interpretação das imagens de SPECT cardíaco, a metodologia para reconstrução e análise dos resultados costuma ser customizada dentro de cada serviço de MN. As imagens produzidas na MN são fortemente dependentes de todo o pessoal envolvido com os procedimentos, do bioquímico que prepara o radiofármaco, ao técnico que o injeta no paciente, até o físico que realiza o controle da qualidade do sistema de aquisição e otimiza as reconstruções. Cada uma dessas etapas pode contribuir com o produto final: a imagem para o diagnóstico (FOLKS et al, 2002).

As formas disponíveis para o aprendizado médico normalmente são as discussões em torno de bancos de imagens clínicas, o acompanhamento de especialistas nas análises das imagens, as interações com simulações de pacientes virtuais, os cursos *online* e o estudo por meio da leitura da bibliografia da área. Dentro desta realidade, o seguinte problema se coloca no que diz respeito à capacitação de pessoal em MN: Como auxiliar a diminuir a lacuna existente entre a formação inicial e a necessidade de formação continuada dos profissionais que atuam nas equipes de MN?

Neste trabalho é proposto um ambiente virtual que possibilita a interatividade aliada ao poder computacional, para a formação da equipe multidisciplinar que atua em MN.

1.3 Hipótese

Uma comunidade virtual que possibilita a troca de experiências, em um ambiente virtual colaborativo através de ferramentas de gerenciamento de conteúdo livre, dinâmico e amigável, auxilia a formação de profissionais em Medicina Nuclear.

1.4 Questão de Pesquisa

Que funcionalidades devem ser disponibilizadas em um ambiente virtual colaborativo para auxiliar a formação continuada de pessoal na Medicina Nuclear?

1.5 Objetivo Geral

Investigar as potencialidades e limitações de um ambiente virtual colaborativo para formação de pessoal em Medicina Nuclear.

1.6 Objetivos Específicos

- Desenvolver um ambiente virtual colaborativo disponibilizando funcionalidades (bancos de imagens, materiais de apoio e ferramentas de interação) que permitam a troca de experiências e a capacitação continuada de equipes em Medicina Nuclear.
- Validar o ambiente virtual colaborativo proposto com profissionais experientes da área de Medicina Nuclear.

1.7 Justificativa

A formação tradicional dos profissionais em MN ainda possui limitações, principalmente na questão da lacuna entre a formação de base e a formação continuada, a limitação de materiais (casos) e interação entre profissionais para a troca de experiências. A tecnologia computacional pode ser um recurso utilizado para que a formação em MN seja mais efetiva de forma abrangente, ou seja, desde a formação inicial, residência médica e capacitação continuada, além das equipes que atuam na área em diversos serviços de MN e nas instituições acadêmicas.

Os ambientes virtuais colaborativos podem ser utilizados para promover locais de acesso à informação e interação de usuários de áreas de interesse específicas, possibilitando a ampliação de bancos de imagens e casos médicos de

forma interativa e dinâmica na busca e troca de informação/experiência. Através desta tecnologia, não há limitações geográficas e a colaboração entre os usuários possibilita uma gama maior de informação, não dispersa na rede internet, mas selecionada a partir de critérios definidos por grupos de acesso no ambiente.

Particularmente na MN, as principais empresas fabricantes de equipamentos dispõem de um ou mais métodos de reconstrução tomográfica, vendem tais programas a preços fora da realidade brasileira, da ordem de dezenas de milhares de dólares. Para realizar a reconstrução e a visualização de imagens tomográficas fora do ambiente clínico, é necessária uma estação de trabalho dedicada à reconstrução, visualização e análise. Este tipo de estação de trabalho possui alguns inconvenientes, como o alto custo de *software* e *hardware* e a especificidade das ferramentas de análise de imagens. Por outro lado, ferramentas desenvolvidas com o código fonte aberto, são dispersas e com interfaces pouco amigáveis, pouco disponíveis para manipulação por parte do usuário final.

Os médicos residentes em MN são formados para sua atuação clínica a partir de estudos de casos, acompanhamento da rotina clínica junto a especialistas e realizando leitura da bibliografia disponível na área. A questão ética dos efeitos biológicos relacionados com a radiação, além de que esta prática considerada minimamente invasiva deva trazer benefícios ao paciente mesmo em casos de repetição e o alto custo dos materiais de insumo impossibilita o aprendizado a partir da rotina de repetição de exames com diferentes opções de aquisição ou processamento das imagens. Sendo assim, não é possível, nem factível, a utilização dos recursos reais de um serviço (pacientes, equipamentos, insumos e pessoal) somente para a capacitação na residência médica.

A computação em *grid* nasceu da necessidade de recursos computacionais que, muitas vezes, excediam a capacidade disponível em uma única instituição. Em 1998, a definição de *grid*, fornecida por Foster, Kesselman e colaboradores, estabelecia o *grid* computacional como “uma infra-estrutura de *hardware* e *software* que fornece acesso seguro, consistente, extensivo e de baixo custo às altas capacidades computacionais para o usuário” (FOSTER et. al., 1998). Mais tarde, Foster (2002) incluiu a organização virtual como um aspecto central que domina o conceito atual de *grid* como “o compartilhamento de recursos de forma coordenada e a solução de problemas em organizações virtuais dinâmicas e multi-institucionais.”

Diversas aplicações da computação em *grid* vêm sendo desenvolvidas na área da saúde (SIMBIO, 2003; HEALTHGRID, 2010). Os *Healthgrids*³ são aplicações em *grid* compreendendo serviços ou componentes de *middleware* que lidam com problemas específicos decorrentes do processamento de dados biomédicos. Os recursos utilizados em *Healthgrids* são os bancos de dados, o poder computacional, a experiência médica e inclusive, alguns equipamentos médicos. Eles podem ser vistos como ambientes onde os dados de interesse médico podem ser armazenados, processados e facilmente disponibilizados para outros usuários.

A aplicação da tecnologia *grid* na prática clínica é menos utilizada, mas ela já apresenta aplicações em processamento de imagens, como na detecção de câncer de mama (MAMMOGRID, 2007) e na identificação de áreas de ativação neural em imagens de ressonância magnética funcional (OLABARRIAGA et al, 2007).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um ambiente colaborativo para formação ampla de pessoal em MN (tanto em formação básica como continuada) que disponibilize um conjunto de ferramentas de acesso simples, bancos de documentos e bancos de imagens (simuladas, experimentais e clínicas) que poderá ser base de acesso em um *grid* computacional e de colaboração. Este ambiente poderá beneficiar a formação de residentes e a capacitação continuada de pessoal em MN, em virtude de sua flexibilidade, acesso facilitado, baixo custo e possibilidade de atualização dinâmica de conteúdos.

³ www.healthgrid.org

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Imagens em Medicina Nuclear

Nos tópicos a seguir, são descritas as principais etapas para se obter imagens de cintilografia que são utilizadas em diagnóstico clínico.

2.1.1 Aquisição de Imagens de Cintilografia

A aquisição de imagens em MN utiliza a emissão de radiação gama proveniente de um radiofármaco distribuído em um órgão ou tecido de interesse no interior do paciente. Um radiofármaco é a combinação de um radionuclídeo a um fármaco, que tem como objetivo mapear um processo fisiológico de uma região, sistema ou órgão de interesse. O processo de união entre o fármaco e o radionuclídeo é chamado de marcação. O radionuclídeo mais utilizado no processo de marcação em MN é o Tecnécio-99 metaestável (^{99m}Tc), obtido a partir do decaimento do ^{99}Mo (meia-vida física de 66h), que é gerado pela fissão do ^{235}U (THRALL, 2003).

Hal Anger desenvolveu uma câmara de cintilação que detecta a radiação gama, convertendo-a em radiação visível. Esta câmara é composta pelos seguintes elementos principais: colimador, cristal cintilador, tubos fotomultiplicadores (PMT – *Photomultiplier Tubes*), *hardware* e *software* (ANGER, 1958). Um esquema de uma câmara de cintilação pode ser visualizado na Figura 1.

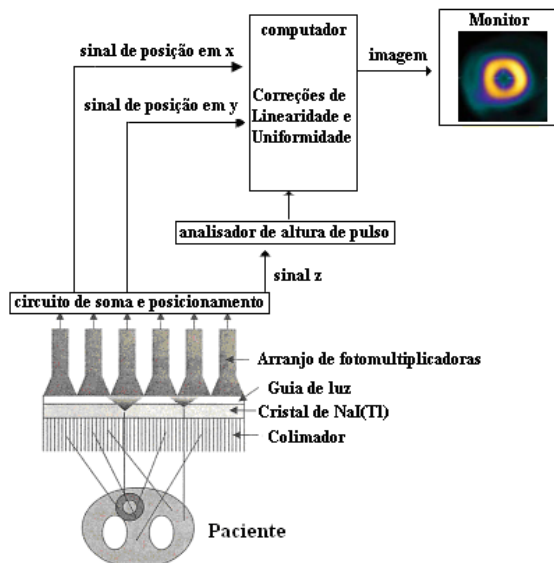


Figura 1: Componentes de uma câmara de cintilação e seus princípios básicos.
 FONTE: SORENSON, 2003; Modificada pela autora.

A radiação gama é emitida a partir do local de captação do radiofármaco no interior do paciente. Ao percorrer o corpo, a radiação pode interagir com os tecidos, sendo absorvida e/ou espalhada. A radiação que atravessa o paciente atinge um colimador, formado por pequenos orifícios em uma placa de chumbo, que permitem apenas a passagem de fótons gama em uma direção preferencial. Os fótons que atravessam o colimador atingem o cristal cintilador, que converte a radiação gama em luz visível. A luz emitida na cintilação é dividida entre os PMT's, que a convertem em fotoelétrons. No PMT, os elétrons são acelerados gradualmente e por meio de dinodos, são multiplicados, amplificando o sinal de saída. Os sinais obtidos a partir dos PMT's são aplicados ao circuito eletrônico que soma e subtrai suas amplitudes, produzindo três saídas: dois sinais de posicionamento da cintilação (x e y); e um sinal de intensidade, que é a soma dos sinais de todos os PMT's (z). Apenas os sinais cuja energia está em uma faixa pré-determinada são considerados, reduzindo as contagens da radiação espalhada no corpo, que possui menor energia.

O resultado final do processo é a produção de uma imagem digital $f(x,y)$, discretizada tanto em coordenadas espaciais, quanto em intensidade, visualizada no monitor. A imagem é representada na forma de uma matriz, cujos sinais em x e y são, respectivamente, as linhas e colunas da imagem. O sinal da intensidade z é representado pelo brilho do pixel na imagem (GONZALES et al, 2003).

Assim, a distribuição tridimensional de atividade no corpo do paciente é detectada na câmara de cintilação e representada em uma projeção bidimensional. A Figura 2 mostra o esquema da projeção de uma distribuição de atividade captada nos rins.

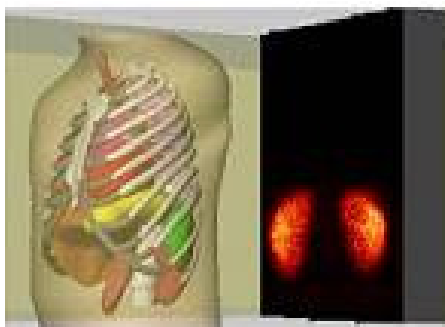


Figura 2: Projeção de uma distribuição de atividade nos rins.

2.1.2 Reconstrução Tomográfica em Medicina Nuclear

Na aquisição tomográfica, a distribuição tridimensional do volume de atividade é obtida a partir das projeções realizadas em diversos ângulos (θ) ao redor do paciente (SORENSEN et al, 2003).

A solução para o problema da reconstrução tomográfica, como uma função de suas projeções, foi proposta por Radon (Equação 1) em 1917 e pode ser realizada através de métodos analíticos ou algébricos (SORENSEN et al, 2003). O problema da reconstrução tomográfica consiste em calcular uma função de distribuição bidimensional $f(x,y)$, a partir do conjunto de dados de projeções, ou seja, a partir da transformada de Radon, resolvendo a equação inversa à integral de linha $g(\theta,s)$, como representado no esquema da Figura 3.

$$\mathfrak{R}(f) = \int_{\text{linhaAB}} f(x,y) dt \quad \text{Equação 1}$$

onde, $f(x,y)$ é a distribuição bidimensional de atividade do objeto e t é a distância medida ao longo da linha AB de projeção (Figura 3a).

A forma usual de representação dos dados tomográficos é através de uma matriz chamada sinograma (Figura 3c) ou transformada de Radon do corte, que apresenta os perfis de contagem em função do ângulo da projeção (Figura 3b).

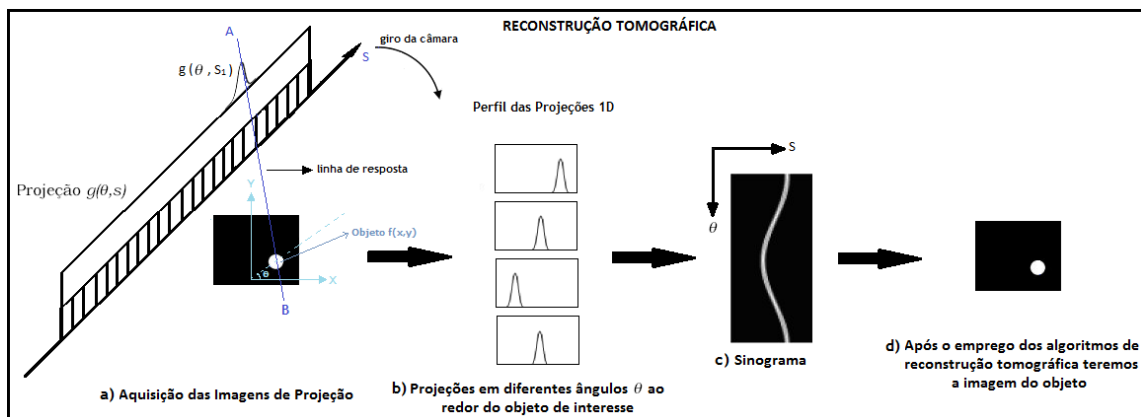


Figura 3: Esquema do processo de aquisição da imagem e reconstrução tomográfica.

2.1.2.1 Métodos Analíticos de Reconstrução

O método mais rudimentar de reconstrução tomográfica consiste em retroprojetar cada perfil de contagem através do plano de projeção. Retroprojetar significa tomar o valor de um elemento adquirido em um ângulo θ e colocar este valor em todos os elementos ao longo de uma linha no mesmo ângulo na matriz da imagem. Como a distribuição real da fonte ao longo da linha é desconhecida, todos os elementos na linha são preenchidos com este mesmo valor. Este processo é repetido para todos os elementos captados em todos os ângulos θ e os valores retroprojetados reforçam uns aos outros em determinado ponto (SILVA,1998). Na Figura 4a apresentamos um esquema do método de retroprojeção simples, e o efeito produzido pela inclusão gradativa de número de projeções utilizadas na reconstrução (Figura 4b).

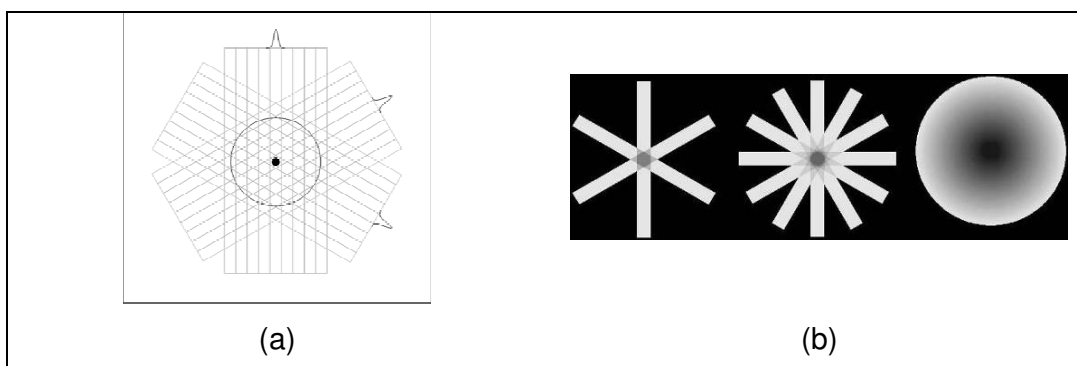


Figura 4: (a) Reconstrução tomográfica pelo método de retroprojeção simples. (b) Aumento do número de projeções (3 projeções, 6 projeções e várias projeções) na reconstrução da imagem.

Ao utilizarmos a retroprojeção simples é gerado um borramento na imagem causando a perda na resolução e detalhes dos objetos, também reconhecido como

“artefato estrela”, em função da superposição dos raios de eventos somados provenientes das projeções (como visualizado na Figura 4b).

Buscando minimizar este efeito na imagem causado pela reconstrução por retroprojeção simples, foi desenvolvida uma metodologia de convolução das imagens de projeção com um filtro rampa (filtro que permite a passagem de altas frequências). Este método, denominado Retroprojeção Filtrada ou *Filtered Backprojection* (FBP), utiliza o Teorema do Corte de Fourier (*Fourier Slice Theorem*) (SORENSEN et al, 2003) para obter a solução analítica do problema de inversão, recuperando a imagem $f(x,y)$, a partir do conjunto de projeções unidimensionais $g(\theta,s)$.

O algoritmo da retroprojeção filtrada (FBP), que utiliza o filtro rampa, é o método analítico mais utilizado nos algoritmos de reconstrução tomográfica, pois é a técnica mais rápida e que apresenta resultados satisfatórios. O filtro rampa reduz o borramento eliminando sinais de baixa frequência espacial, porém amplifica os sinais de alta frequência (CASTRO et al, 2000). A solução para esse problema é convoluir a imagem com um filtro de suavização, do tipo passa baixa, passa banda ou passa alta frequência. O filtro de suavização pode ter várias formas como, por exemplo, os filtros Butterworth, Hanning, Hamming, Shepp-Logan, entre outros (SILVA, 1998).

No entanto, o método FBP não possibilita a aplicação de correções relacionadas aos efeitos físicos de atenuação e espalhamento diretamente no processo de reconstrução. A reconstrução por meio de métodos iterativos propicia vantagens em relação à incorporação destas correções, como descrito a seguir.

2.1.2.2 Métodos Iterativos de Reconstrução

Os métodos iterativos de reconstrução tomográfica procuram a solução numérica para resolver as equações das projeções. Os métodos proporcionam uma qualidade de reconstrução superior aos métodos analíticos, pois é possível incorporar correções de atenuação e espalhamento diretamente nos algoritmos de reconstrução (CASTRO et al, 2000).

Entre as abordagens para a resolução do problema da reconstrução iterativa, estão as que examinam a probabilidade da relação entre a imagem da seção transversal (a solução) e os dados de projeção, e buscam a solução

baseando-se na máxima verossimilhança (*ML - Maximum Likelihood*) ou na máxima entropia. Uma modificação do método de reconstrução por máxima verossimilhança, utilizando o algoritmo *Expectation-Maximization*, é denominado *ML-EM (Maximum-Likelihood Expectation Maximization)*. Os dados de projeção podem ser modelados supondo que a contagem de fótons segue uma distribuição de Poisson. O algoritmo compreende duas fases: na primeira fase, denominada E, é calculado o valor esperado condicional da função de verossimilhança; na segunda fase, denominada M, se maximiza o valor esperado com relação à estimativa da imagem reconstruída anteriormente, para fornecer a nova estimativa (SILVA, 1998).

Uma adaptação do método *ML-EM*, porém com um processamento mais acelerado, é o método *OSEM (Ordered Sub-sets Expectation Maximization)* no qual o sinograma é dividido em subconjuntos (*sub-sets*) para que o processamento ocorra mais rapidamente.

A Figura 5 apresenta um esquema que representa o método de reconstrução iterativa.

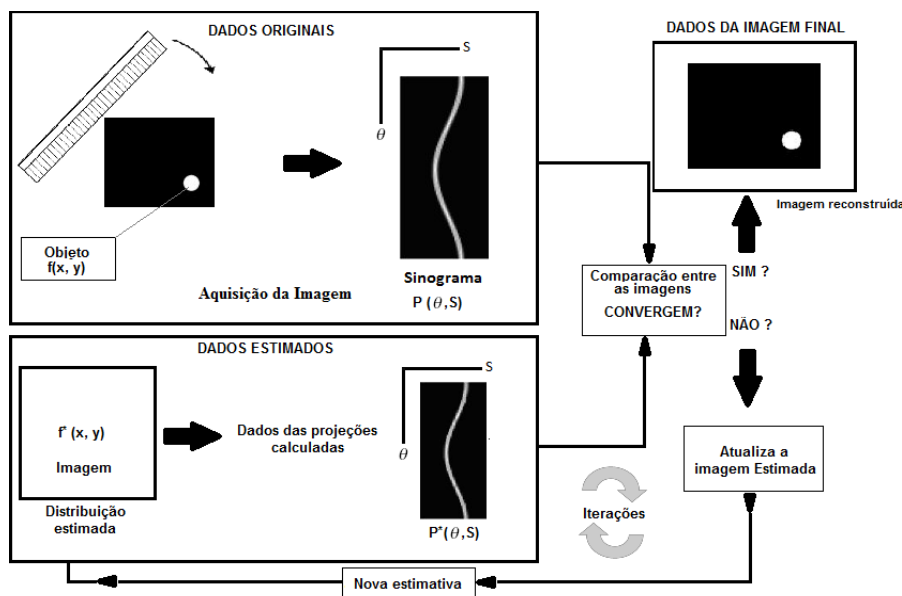


Figura 5: Esquema ilustrativo para exemplificar os passos da reconstrução iterativa.

2.1.3 Quantificação de Imagens em Medicina Nuclear

A quantificação de imagens da distribuição de um radionuclídeo em aplicações clínicas pode ser descrita em três níveis. Um nível trata da detecção de

lesões e sua localização nas imagens. O segundo nível trata da determinação das dimensões (área e volume) da região de captação do radionuclídeo com a máxima precisão. Por fim, no terceiro nível, o objetivo da quantificação de imagens em MN é determinar a concentração absoluta do radionuclídeo em função do tempo (JASZCZAK et al, 1981).

Os fatores que mais contribuem para afetar a quantificação de imagens de MN em procedimentos de SPECT podem ser divididos em quatro tipos principais relacionados aos: aspectos fisiológicos do paciente; desempenho do sistema de detecção; algoritmos de reconstrução; e aspectos físicos (JASZCZAK et al, 1981).

Aspectos fisiológicos relacionados à biodistribuição do radiofármaco nos pacientes e o tempo transcorrido entre a marcação, administração e a aquisição, podem afetar a quantificação das imagens. Além disso, os movimentos involuntários ou voluntários do paciente durante a aquisição podem gerar artefatos na imagem.

Fatores relacionados com o desempenho do sistema (câmara/colimador), que podem ser otimizados por meio da calibração do equipamento, também influem na quantificação, como a sensibilidade e suas variações em diferentes regiões do detector, mudanças na geometria do colimador, linearidade de resposta e a resolução espacial e energética.

A quantificação das imagens também é influenciada pelos algoritmos de reconstrução tomográfica (analíticos ou iterativos), pela escolha do filtro espacial (tipo e frequência de corte) e pela amostragem espacial, tanto linear (tamanho da matriz de aquisição), como angular (número de ângulos de projeção).

Os principais fatores que afetam a quantificação das imagens são aqueles relacionados com os fenômenos físicos de emissão da radiação e a interação desta radiação com os tecidos do corpo. A atividade administrada ao paciente deve ser suficiente para que a imagem obtida tenha uma estatística de contagens adequada no que se refere à relação sinal-ruído. Os processos de atenuação e espalhamento da radiação gama, que dependem da energia emitida (entre demais fatores), caso não sejam corrigidos, também afetam a quantificação das imagens.

Todos os fatores descritos anteriormente afetam a precisão e a acurácia da quantificação das imagens em aquisições SPECT em MN.

Além de cuidados com os fatores descritos anteriormente, artefatos podem ser gerados por problemas com o radiofármaco (problemas na eluição do gerador,

defeitos dos *kits*, falhas na marcação dos *kits* e validade da marcação) e/ou problemas técnicos (administração, dose, volume, número de partículas e atividade adequada, extravasamento, erro de material, contaminações, tempo injeção-imagem inadequado e posicionamento).

Assim, pode-se observar que existem muitos fatores que podem contribuir para a perda da qualidade da imagem em MN. Portanto, a capacitação das equipes de MN é de extrema importância, pois visa permitir à equipe identificação e otimização dos fatores que potencialmente degradam as imagens, afetando a quantificação e o diagnóstico.

A seguir, são apresentados com maior detalhamento dois fenômenos físicos que influem na quantificação das imagens de MN: o espalhamento Compton e o efeito fotoelétrico (atenuação). Estes fenômenos e suas consequências serão discutidos no ambiente virtual colaborativo.

2.1.4 Interação da Radiação com os Tecidos: Atenuação

Na faixa de energia dos fótons emitidos pelos radionuclídeos utilizados em MN (<1,02 MeV) (BRAMBILLA, 2007), dois fenômenos físicos de interação da radiação com os tecidos são significativos: o espalhamento Compton e a absorção fotoelétrica. Isto provoca uma diminuição geral das contagens na imagem, também denominada atenuação, caracterizada por uma probabilidade fixa de ocorrência por unidade de comprimento do meio absorvedor. Uma forma conveniente de descrever este processo é através do coeficiente de atenuação linear μ , que depende da energia dos fótons e da composição e geometria do meio atenuador. Considerando uma intensidade inicial do feixe de fótons I_0 emitida por uma fonte de radiação dentro do corpo, a intensidade final I , após percorrer uma espessura x no meio, será dada pela Equação 2:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu \cdot x} \quad \text{Equação 2}$$

A Figura 6 ilustra um esquema das possibilidades de interação dos fótons provenientes de um volume radioativo de interesse, que depende da composição do meio e da energia do fóton emitido. Alguns fótons não sofrem qualquer interação com os tecidos do corpo em sua trajetória até o detector, sendo denominados fótons

primários (Figura 6a). A energia dos fótons também pode ser absorvida integralmente pelos elétrons dos tecidos, por meio de um processo denominado absorção fotoelétrica, produzindo a ionização do meio (Figura 6b). Também pode ocorrer o espalhamento Compton, com a mudança da energia e direção do fóton (Figura 6c).

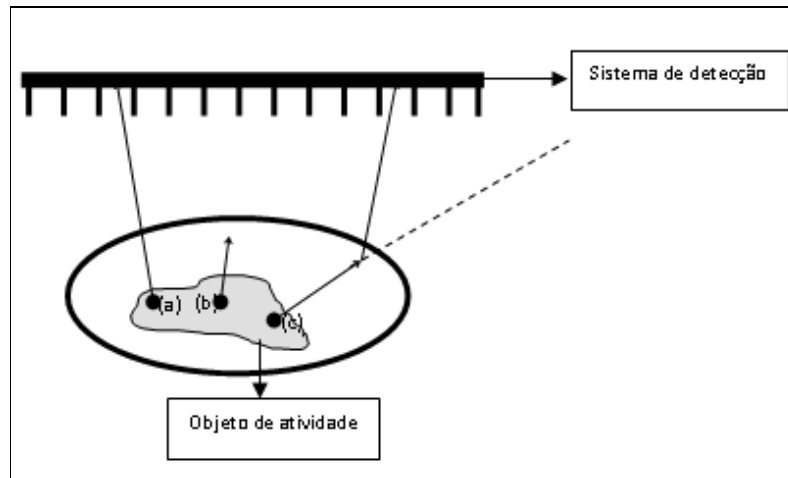


Figura 6: Esquema das probabilidades de interação dos fótons provenientes de um volume radioativo de interesse com a matéria, (a) Fóton primário, (b) Efeito fotoelétrico, (c) Efeito Compton.

Fonte: SILVA, 1998: Modificada pela autora.

O espalhamento Compton é o processo no qual o fóton interage com um elétron livre, ou um elétron fracamente ligado aos átomos que compõe os tecidos do corpo humano. Tal processo faz com que parte da energia do fóton incidente seja espalhada, mudando a direção de propagação, enquanto a outra parte é transferida para um elétron do meio, também denominado elétron de recuo. Quanto maior a energia do fóton incidente, menor é o ângulo de espalhamento. O espalhamento também depende da composição do meio e da distribuição do radionuclídeo no corpo (JOHNS et al, 1983). O espalhamento reduz o contraste e a nitidez na imagem devido à inclusão de contagens que não são provenientes da direção de emissão inicial do fóton. A detecção dos fótons espalhados depende da resolução energética da câmara, pois fótons com energias próximas não são discriminados em câmaras de baixa resolução energética. A largura da janela de energia utilizada na aquisição afeta, da mesma forma, a quantidade de fótons espalhados detectados. Os efeitos do espalhamento podem ser minimizados ao utilizarmos uma largura menor da janela de energia na aquisição.

As principais técnicas desenvolvidas para realizar a correção de espalhamento em imagens de SPECT são as que envolvem, de alguma maneira, uma análise do espectro de energia e as que se baseiam na modelagem de uma função de distribuição de espalhamento para ser deconvoluída da imagem obtida na energia do fotopico (CASTRO et al, 2000).

A absorção fotoelétrica reduz o número de fótons detectados devido à transferência integral de energia aos átomos do meio. A energia absorvida do fóton incidente pelo átomo do meio é transferida a um elétron orbital (fotoelétron) que é ejetado produzindo a ionização e excitação do meio. Esta ionização e excitação do meio proporcionam uma maior dose ao paciente. Não há mecanismos de mudança dos parâmetros de aquisição que permitam a redução da absorção fotoelétrica. A probabilidade de ocorrência deste efeito é decrescente à medida que aumenta a energia do fóton incidente e crescente quando aumenta o número atômico do material do meio absorvedor. Como uma das prioridades é expor o paciente a mínima dose de radiação, uma solução interessante é utilizar técnicas que envolvam altas energias diminuindo o efeito fotoelétrico minimizando danos celulares que podem provir deste.

Em casos clínicos, as diferentes estruturas do corpo humano, que atuam como absorvedoras e espalhadoras, devem ser caracterizadas a partir de seus diferentes coeficientes de atenuação.

Fatores que dependem do sistema de detecção, como a degradação da resolução espacial com a distância paciente-colimador e o tipo de colimador utilizado, também influenciam na perda de fótons na formação da imagem.

Com o objetivo de “recuperar” os fótons atenuados, podem ser utilizados métodos de correção de atenuação com o uso de imagens de transmissão ou com a estimativa de mapas de correção. No caso do uso de imagens de transmissão para correção de atenuação, mapas de coeficientes de atenuação podem ser estimados por meio de sistemas híbridos com SPECT, utilizando fontes seladas de Gd-153 ou tomografia computadorizada por raios X.

Os sistemas SPECT/CT possuem custos mais elevados do que os sistemas SPECT com fontes seladas, mas, por outro lado, promovem maiores taxas de emissão de fótons permitindo uma aquisição em tempo muito curto (segundos a poucos minutos). Os sistemas com fontes de Gd-153 necessitam reposição de suas

fontes periodicamente devido ao decaimento radioativo e, além disso, incluem na estatística de contagens, os fótons espalhados devido à imagem de transmissão.

Em geral, a quantificação das imagens depende da escolha do método de correção de atenuação, além do desempenho adequado da câmara e da otimização dos protocolos na rotina de um serviço de MN.

No intuito de problematizarmos as necessidades de capacitação para que todas as fases do estudo sejam realizadas com bom desempenho pelas equipes de MN, neste trabalho será abordado o protocolo de SPECT cardíaco.

2.2 SPECT Cardíaco

O estudo clínico a partir de imagens de cintilografia da perfusão miocárdica é comumente utilizado no diagnóstico de doença arterial coronariana (DAC). Entretanto, este estudo também é importante no diagnóstico de infarto agudo do miocárdio (IAM), estratificação de risco após o infarto e avaliação do miocárdio viável frente à fibrose em pacientes com DAC crônica (THRALL et al, 2003).

Os estudos de perfusão miocárdica podem ser realizados utilizando diferentes radiofármacos, sendo os mais utilizados, o ^{99m}Tc -sestamibi, o ^{201}Tl , o ^{99m}Tc -tetrofosfim e o ^{99m}Tc -teroboxime. Os traçadores marcados com ^{99m}Tc apresentam pequenas diferenças entre si na biodistribuição (relação hepato-renal) e pequenas diferenças técnicas (marcação a quente X marcação a frio). As imagens são praticamente indistinguíveis. Na rotina clínica, os traçadores marcados com ^{99m}Tc são mais utilizados por apresentarem características físicas mais adequadas à câmara de cintilação de NaI(Tl), pela sua maior disponibilidade e menor custo operacional. Apenas em situações específicas, como na avaliação da presença de viabilidade miocárdica em pacientes com miocardiopatia isquêmica, o estudo com ^{201}Tl , com protocolo de redistribuição tardia, apresenta sensibilidade superior ao estudo convencional utilizando radiofármacos marcados com ^{99m}Tc .

A dosimetria favorece os radiofármacos marcados com ^{99m}Tc devido às suas características, sendo as principais, a curta meia-vida física de 6,02 h e a emissão de fótons gama “puro” (89%) em seu decaimento no estado metaestável.

2.2.1 Protocolos de Aquisição de Imagens de Perfusão Miocárdica

Cada instituição pode desenvolver seus próprios protocolos de aquisição de imagens, contudo, existem orientações específicas, denominados *guidelines*, para os estudos em cardiologia nuclear e para orientação da interpretação médica das imagens. Tais orientações são publicadas pelo Colégio Americano de Cardiologia (*American College of Cardiology*), Sociedade de Medicina Nuclear (*Society of Nuclear Medicine*), Sociedade Americana de Cardiologia Nuclear (*American Society of Nuclear Cardiology*) e pela Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization*).

No caso específico das imagens de perfusão miocárdica com o traçador ^{99m}Tc -sestamibi, podem ser realizados estudos planos ou utilizando a técnica tomográfica (SPECT).

Para a aquisição de uma imagem de perfusão miocárdica plana, costuma-se administrar uma atividade em torno de 370 MBq (10 mCi) ao paciente, de forma a obter uma contagem estatisticamente adequada (750 k a 1 M por imagem), mesmo com um colimador de alta resolução. As imagens da fase do repouso são adquiridas de 60 a 90 minutos após a administração do radiofármaco, nas incidências anterior, oblíquo anterior esquerda (35° a 40°), oblíquo anterior esquerda de 60° a 70° e lateral esquerda. As altas taxas de contagens fornecidas pelos agentes marcados com ^{99m}Tc permitem a aquisição da imagem acoplada simultaneamente ao eletrocardiograma (ECG), isto é, gatilhada pelo ECG (*gated scintigraphy*). A grande vantagem da imagem gatilhada é a possibilidade de avaliar a função do miocárdio pela análise de motilidade da parede miocárdica e pela medida de seu espessamento (THRALL et al, 2003).

Protocolos têm sido desenvolvidos para realizar estudos tomográficos de perfusão miocárdica em estresse e em repouso, que podem ser realizados em um ou dois dias. Nos exames realizados em um único dia, mais comuns, o primeiro estudo costuma ser realizado com 370 MBq (10 mCi) e o segundo, 3 horas a 4 horas depois, com 740 MBq (20 mCi) a 1110 MBq (30 mCi). Algumas instituições preferem primeiramente realizar o estudo de esforço (estresse), enquanto outras realizam primeiramente o exame em repouso. Se o estudo de estresse é realizado inicialmente, o estudo de repouso pode ser evitado, no caso do resultado do primeiro

ser normal, diminuindo a dose no paciente. A interpretação deve levar em conta a atividade residual do exame anterior.

Existem variações nas configurações do sistema para a aquisição que determinam a qualidade final das imagens. São elas: o tipo de colimador utilizado, a escolha da aquisição contínua ou descontínua, o comprimento do arco percorrido e o formato da órbita de aquisição.

Para as imagens SPECT de perfusão miocárdica recomenda-se utilizar um colimador de alta resolução ou de propósito geral. A aquisição descontínua (*step and shoot*), na qual a câmara apenas adquire contagens em posições fixas, costuma ser a mais utilizada. Em relação ao arco de aquisição, a configuração mais utilizada é o arco de 180° , para câmaras de uma ou duas cabeças (detectores a 90° entre si), com este arco iniciando em 45° na posição oblíqua anterior direita, e terminando em 135° , na oblíqua posterior esquerda. Uma vantagem da utilização desta configuração é o maior conforto, devido à possibilidade de o paciente posicionar o braço esquerdo sobre a cabeça durante o exame, também evitando a interferência da coluna na imagem. O tempo de aquisição é de 20 a 25 minutos, sendo a movimentação por desconforto do paciente a principal causa de degradação do SPECT cardíaco. Em relação ao tipo de órbita, a órbita não-circular, limitada pelo contorno do corpo ou elíptica, deveria ser utilizada para manter o detector mais próximo do paciente. Este tipo de órbita aumenta a resolução espacial, que é degradada quanto maior a distância do alvo-detector. Porém, na prática, a órbita circular com o coração no centro de rotação é a mais comumente utilizada nos serviços (THRALL et al, 2003).

Em relação à estatística de contagem no miocárdio, para estudos com ^{99m}Tc , a contagem máxima por pixel na região do ventrículo esquerdo deve ser maior do que 200 (HOLLY et al, 2010).

O SPECT sincronizado com o ECG, ou estudo gatilhado, possibilita o estudo da motilidade da parede do miocárdio de forma global a regional, também permitindo observar os batimentos cardíacos em modo dinâmico (*cine*). O ciclo cardíaco é normalmente dividido em 8 ou 16 imagens (*frames*). Os dados são adquiridos gatilhados com a onda R do ECG, sendo os batimentos arrítmicos filtrados a partir dos ciclos adquiridos. As imagens gatilhadas têm proporcionalmente menor número de contagens por imagem, devido ao número de imagens por ciclo cardíaco, mas a alta taxa de contagem e os sistemas com mais de uma cabeça tornam estes estudos

viáveis. O estudo gatilhado permite o cálculo da fração de ejeção do ventrículo esquerdo, a medida do espessamento da parede e uma melhor análise da distribuição do radiotraçador, além de permitir a visualização tridimensional do miocárdio. (THRALL et al, 2003).

2.2.2 Análise das Imagens

Após a aquisição das imagens, descrita nas seções 2.1 e 2.2, é imprescindível que haja avaliação das projeções (*raw data*) em modo dinâmico (*cine*) para a verificação da ocorrência de eventos que podem gerar artefatos na imagem reconstruída, tais como movimentos voluntários e involuntários do paciente, atenuação causada pelo diafragma e atividade visceral abdominal. Estas situações devem ser evitadas, pois podem causar artefatos nas imagens reconstruídas, como mostram a Figura 7(a) e Figura 7 (b).

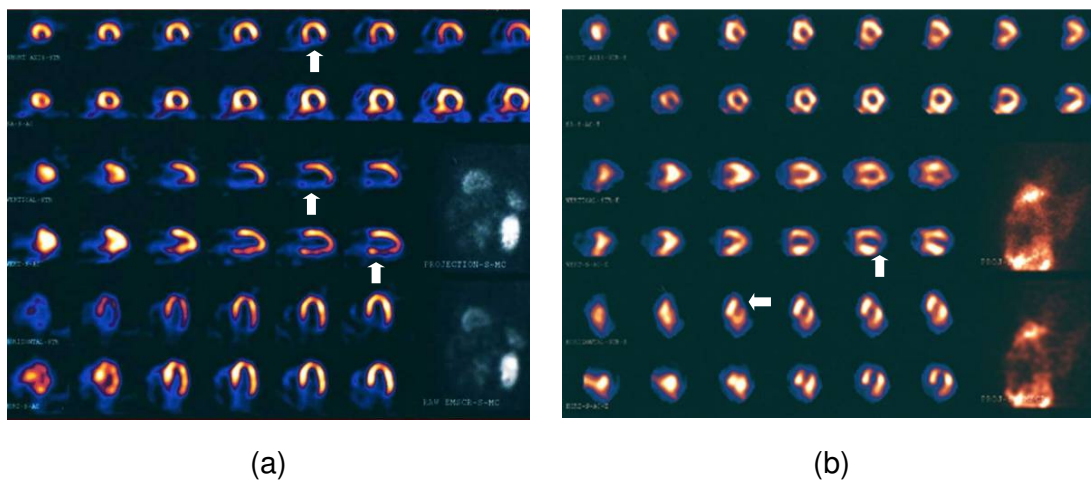


Figura 7: (a) Cortes tomográficos de SPECT cardíaco, onde ocorreu atenuação diafragmática e, (b) Cortes tomográficos de SPECT cardíaco, onde ocorreu atenuação devido à mama. As setas nas imagens indicam algumas áreas que sofreram atenuação.

Após esta verificação, quando não há evidências de problemas de aquisição, as projeções podem ser processadas utilizando algoritmos de reconstrução (seção 2.1.2) definidos pelos serviços de MN.

A análise do estudo e avaliação qualitativa das imagens de perfusão do miocárdio costuma ser realizada após a reorientação dos eixos de visualização dos cortes tomográficos. Os planos de análise do miocárdio são apresentados na Figura

8 (a), bem como os cortes reconstruídos nestes planos em uma imagem SPECT, na Figura 8 (b).

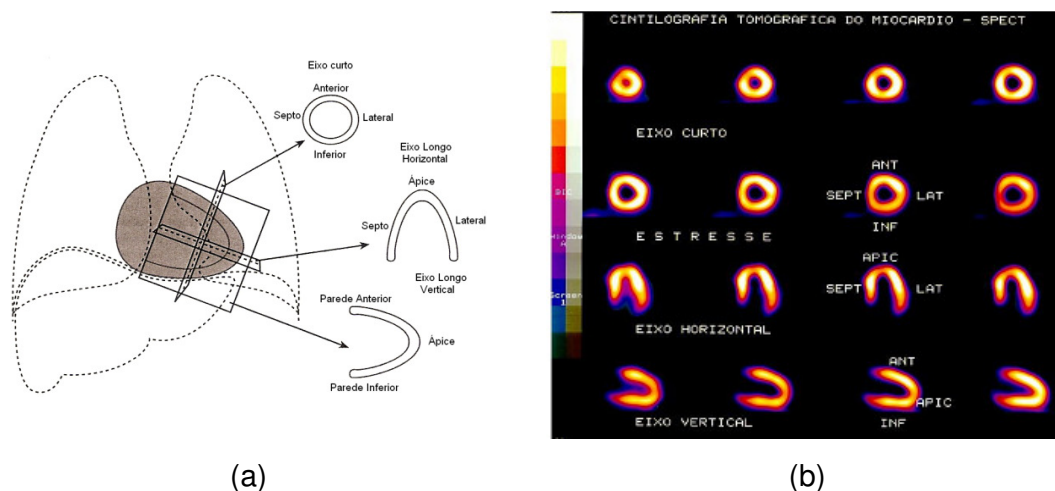


Figura 8: (a) Esquema dos planos de cortes de um exame de SPECT cardíaco. (b) Imagem dos cortes de um exame de SPECT de um paciente normal nos diferentes planos em estresse.
Fonte: FRANZ, 2006; Modificada pela autora.

Além disso, geralmente os cortes são analisados comparando-se as aquisições em repouso e estresse (Figura 9).

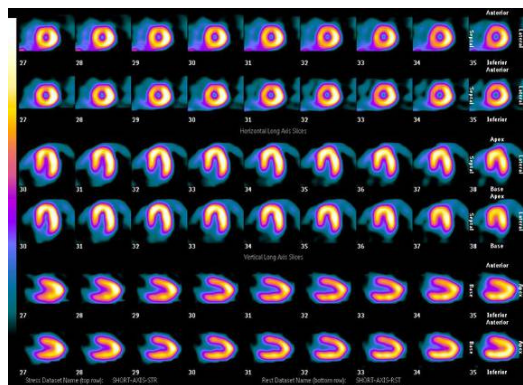


Figura 9: Cortes tomográficos nas fases de repouso e estresse em estudo de SPECT do miocárdio, para comparação.

A avaliação de estudos de SPECT cardíaco pode ser realizada de forma quantitativa e semi-quantitativa, através do cálculo da fração de ejeção ou da análise da captação em diferentes segmentos do mapa polar nas regiões do ventrículo esquerdo (HOLLY et al, 2010).

A aplicação de métodos de correção de atenuação permite a melhoria da acurácia nas análises quantitativas em SPECT cardíaco. Para avaliar tais métodos de correção e testar o desempenho dos sistemas de aquisição das imagens, são

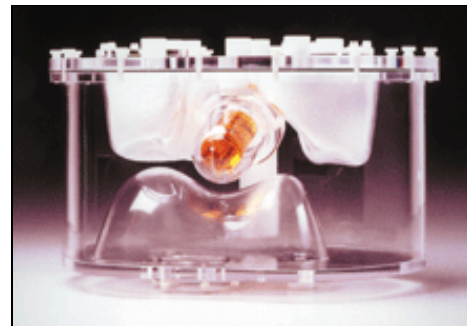
utilizados modelos, também denominados *phantoms*, que representam as características físicas e geométricas da anatomia humana. Em modelos físicos, usualmente confeccionados em acrílico, são inseridas atividades variáveis de um radionuclídeo com água em diferentes compartimentos, simulando a biodistribuição do radiofármaco no corpo humano (O'CONNOR, M.K et al, 2002 & SKIADOPOULOS, S. et al, 2009). Modelos matemáticos também são utilizados com a mesma finalidade (SEGARS et. al, 2007; LJUNGBERG, M., STRAND, S. E. and KING, M. A, 1998; ZAIDI, H. & SGOUROS, G., 2003).

2.3 Modelos Físicos e Matemáticos em Medicina Nuclear

O objetivo principal da utilização de *phantoms* é promover a absorção e o espalhamento da radiação emitida de maneira a representar similarmente a interação da radiação com tecidos humanos reais. *Phantoms* geométricos e antropomórficos (Figura 10) são usados rotineiramente em MN para testar o desempenho dos sistemas de aquisição de imagens e a acurácia da análise das imagens. Também é possível avaliar: o efeito das variações intrínsecas de resposta do sistema de aquisição; a acurácia dos métodos de compensação de efeitos de atenuação e espalhamento; o efeito da resolução espacial finita e espalhamento Compton na qualidade da imagem; a medida de contraste, percentual de ruído e razão sinal-ruído; a ocorrência de artefatos devido à amostragem incompleta; a fusão de imagens em sistemas híbridos e os métodos empregados na correção de atenuação (JASZCZAK, 2008).



(a)



(b)

Figura 10: (a) *Phantom* geométrico Jaszczak, utilizado em testes de MN. (b) *Phantom* antropomórfico de torso com inserção cardíaca, utilizado em estudos de MN.

Fonte: <<http://www.spect.com>>.

Um *phantom* matemático é um modelo que representa virtualmente órgãos e tecidos do corpo humano, um determinado sistema ou ainda um corpo inteiro. Os primeiros *phantoms* matemáticos, como por exemplo, o *phantom* Adam/MIRD5 (Figura 11) eram compostos apenas por esferas, cilindros, discos e estruturas regulares que se aproximavam da geometria do corpo humano (KRAMER et al, 1982). Atualmente, os *phantoms* matemáticos simulam composições específicas, podendo representar elementos encontrados nos tecidos, músculos, ossos, entre outras estruturas do corpo humano real e formas não regulares, mais realísticas.

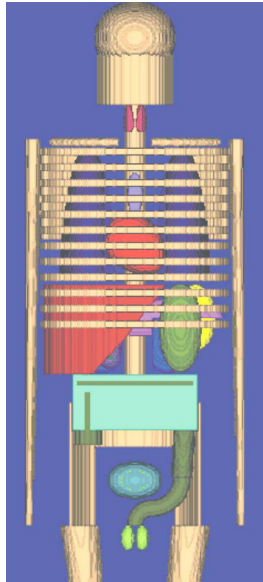


Figura 11: *Phantom* geométrico Adam/MIRD5
Fonte: KRAMER, 1982.

A complexidade dos *phantoms* matemáticos vem aumentando, incluindo maiores detalhes geométricos, a caracterização mais precisa da composição dos tecidos e a inclusão de aspectos dinâmicos, como a biodistribuição de radiofármacos e os movimentos respiratório e cardíaco (Figura 12) (SEGARS et. al, 2007; LJUNGBERG, M., STRAND, S. E. and KING, M. A, 1998).

Os modelos computacionais são empregados na área de MN para melhor compreensão dos processos de formação e reconstrução da imagem, desempenho dos sistemas de aquisição e, particularmente, na análise de problemas de atenuação e espalhamento. Alguns modelos possuem aplicações mais específicas, de acordo com sua flexibilidade. O modelo 4D NCAT é comumente utilizado em simulações de Monte Carlo para estudos relacionados ao miocárdio, devido às suas características morfológicas e dinâmicas.

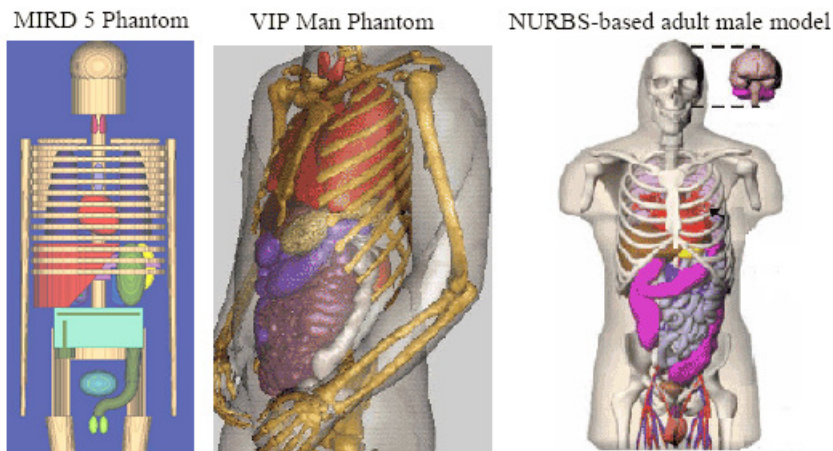


Figura 12: Evolução de modelos utilizados em simulação computacional.
Fonte: STABIN, 2006. Modificada pela autora.

2.3.1 Modelo Antropomórfico NCAT 4D

O *phantom* matemático NCAT 4D (4D *NURBS-based Cardiac Torso*) foi desenvolvido para fornecer modelos flexíveis e realísticos de pacientes em pesquisas de imagens médicas (SEGARS, 2002). As formas dos órgãos foram modeladas com superfícies *B-splines* não-uniformes (*NURBS*), usando os dados do projeto *Visible Human CT* da *National Library of Medicine* como base para as superfícies. A definição das superfícies *NURBS* permite um alto grau de flexibilidade na modelagem de variações anatômicas, tornando mais realística a simulação em relação aos modelos geométricos (Figura 13). Além disso, o NCAT 4D permite modelar movimentos de respiração e batimentos cardíacos, possibilitando o ajuste a dados de pacientes reais (SEGARS, 2001).

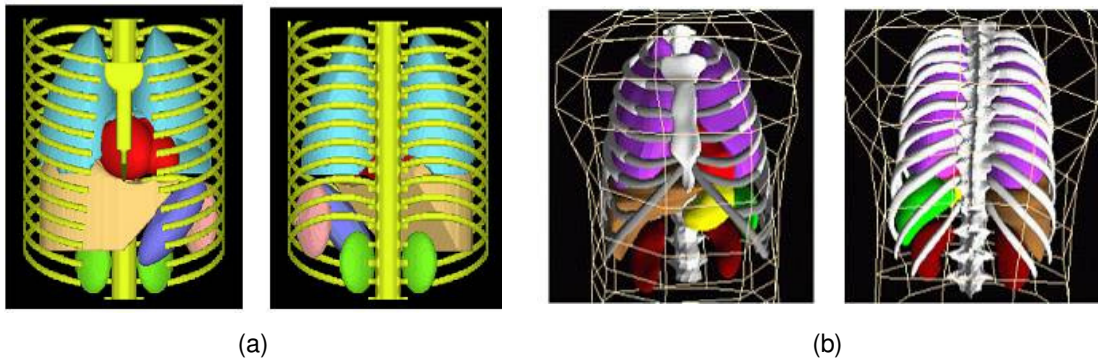


Figura 13: Comparação entre os modelos (a) geométrico MCAT e (b) antropomórfico NCAT.
Fonte: SEGARS, 2001.

Assim, utilizando diferentes transformações, as superfícies *NURBS* podem ser alteradas de forma a combinar com a anatomia específica de um grupo ou um paciente específico. A interface para a modelagem do aplicativo pode ser visualizada na Figura 14.

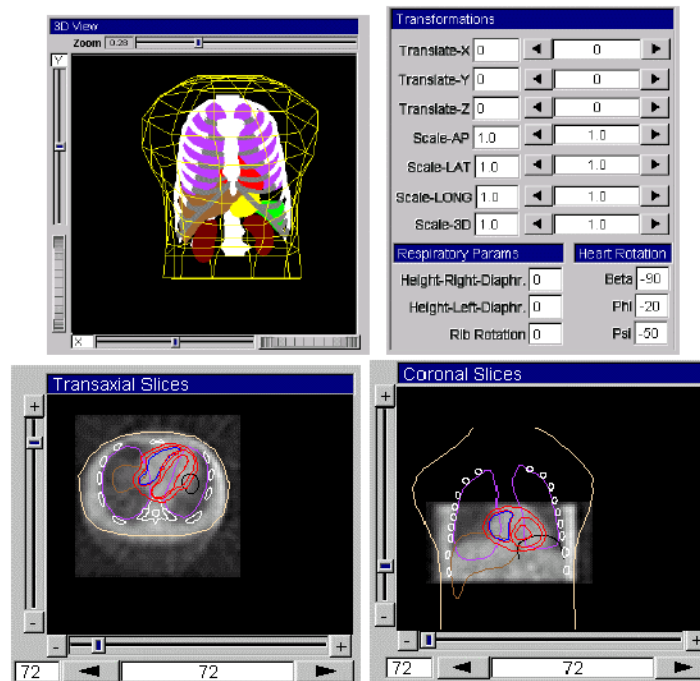


Figura 14: Interface gráfica para variações das características dos órgãos e movimentos do modelo antropomórfico.

Fonte: SEGARS, 2001.

Assim, os modelos computacionais podem ser extremamente úteis na modelagem e simulação dos processos de aquisição de imagens em MN, tanto para a pesquisa, como para o ensino. No ambiente colaborativo desenvolvido neste trabalho, foi disponibilizado o modelo computacional NCAT 4D. Em uma primeira etapa, este modelo é utilizado nas simulações computacionais de otimização e disponibilizado para uso no ambiente facilitado de submissão de simulações. Futuramente, o usuário poderá variar a atividade administrada ao modelo NCAT 4D, de acordo com os tipos de biodistribuição referidos na literatura (SEGARS et al., 2002 e FUNK et al., 2006).

Para a simulação dos processos de aquisição das imagens em MN, são utilizadas técnicas de simulação computacional, como a simulação de Monte Carlo, que será descrita na seção a seguir.

2.4 Simulações pelo Método Monte Carlo

O método Monte Carlo (MC) é um modelo estatístico baseado na geração de números aleatórios que podem modelar os processos físicos, particularmente a emissão, transporte e detecção da radiação. O método MC vem sendo largamente utilizado por diferentes áreas da Física Médica (ZAIDI, 1999).

Em MN, as aplicações mais frequentes do método MC são: a modelagem de detectores com estudo sobre a geometria, resolução e eficiência, tanto para PET (*Positron Emission Tomography*) (LAMARE, F. et al., 2006) como para SPECT (ASSIÉ K. et al., 2004; STRUL, D. et al., 2003; CHEN, C. et al, 2008; PARK, M. et al., 2009), a avaliação de técnicas de correção de imagens (SEGARS, W. P., MORI, S. G., CHEN, T. Y., and TSUI, B. M. W., 2007), tais como a atenuação e o espalhamento, na análise da quantificação de imagens (LJUNGBERG, M., STRAND, S. E. and KING, M. A, 1998) e cálculos de dose absorvida (ZAIDI, H. and SGOUROS, G., 2003).

A utilização do método de MC permite separar os fótons primários dos espalhados em diferentes conjuntos de projeção em MN. As projeções podem ser calculadas para qualquer distribuição de atividade e atenuação, tanto para objetos homogêneos quanto heterogêneos. Portanto, é possível, utilizando as informações das imagens obtidas das simulações, uma comparação com a realidade clínica a fim de avaliar os métodos de correção e quantificação das imagens reais (SILVA, 1998 & BRAMBILLA, 2007).

Alguns códigos de MC vêm sendo desenvolvidos para aplicação na área da MN. O pacote SimSET⁴ (*Simulation System for Emission Tomography*) para tomografia de emissão, desenvolvido pela equipe da Universidade de Washington em Seattle vem sendo utilizado. O último programa que tem sido o bastante utilizado pela comunidade científica, inovador em sua versatilidade para promover as simulações MC, é o pacote GATE⁵ (*Geant4 Application for Tomographic Emission*), desenvolvido pela equipe do CERN (*European Organization for Nuclear Research*). Este pacote será descrito resumidamente a seguir, pois foi utilizado neste trabalho.

⁴ http://depts.washington.edu/simset/html/simset_main.html

⁵ <http://www.opengatecollaboration.org>

2.4.1 Pacote GATE de Simulação de MC

As ferramentas que utilizam o método MC possuem uma série de desvantagens e limitações em termos de validação, precisão e/ou apoio. O pacote *Geant4*⁶ (*Geometry and Tracking*) foi originariamente projetado para simular a interação de partículas de altas energias com a matéria. Ele serve de base nos processos de transporte de radiação para o pacote GATE. Criado pela equipe do CERN (*Centre Européen de Recherche Nucléaire*) para pesquisas em física de partículas, atualmente é um ambiente flexível, no qual colaboram cientistas (cientistas da computação, físicos e engenheiros) de *software* com o objetivo de desenvolver, manter e fornecer suporte aos seus usuários. O *Geant4* inclui os modelos físicos de transporte da radiação com a matéria, que vem sendo continuamente validados, além de ferramentas de modelagem e um eficiente sistema de visualização. Apesar disso, os pacotes do *Geant4* são complexos e requerem uma aprendizagem gradual de suas funcionalidades e a compreensão dos processos de transporte a serem simulados.

O aplicativo GATE (*Geant4 Application for Tomographic Emission*) incorpora as bibliotecas do *Geant4* em um pacote de ferramentas de simulação modular e versátil projetado especialmente para simular imagens de tomografia de emissão, utilizadas no diagnóstico por imagens em MN. Uma das características mais inovadoras do GATE é a sua capacidade para sincronizar todos os componentes dependentes do tempo, como taxas de contagem, coincidências aleatórias, tempo morto e decaimento, a fim de permitir uma descrição coerente e realística do processo de aquisição das imagens de MN. Quanto à definição da geometria de aquisição das imagens, as características físicas e geométricas do equipamento e todos seus componentes podem ser definidos na forma estática ou em movimento, com o uso de linhas de comando (SANTIN et al, 2007).

Todos os movimentos dos elementos geométricos são mantidos sincronizados com a evolução da fonte de atividade. Para este objetivo, a aquisição é subdividida em uma série de etapas no tempo, nas quais os elementos da geometria são considerados em repouso. Os tempos de decaimento são gerados

⁶ <http://www.cern.ch/geant4>

dentro dessa série de etapas, de maneira que o número de eventos diminui exponencialmente, de série em série, e diminui também no interior de cada série, de acordo com o decaimento da fonte, para cada radionuclídeo (LAPIS, 2008).

Além disso, o histórico de interações do *Geant4* pode ser utilizado para imitar um detector de saída realístico. A resposta eletrônica do detector é modelada como uma cadeia de processamento linear desenhado pelo usuário para reproduzir, entre outros, a detecção cruzada (*cross-talk*), a resolução de energia e o rendimento das fotomultiplicadoras.

A utilização do GATE é ampliada pelo mecanismo de geração de *scripts*, através dos quais, os usuários podem projetar e controlar completamente as simulações (desde o modelo de geometria até a atividade e resposta do detector) usando macros, sem qualquer código C++. O GATE permite a modelagem explícita do tempo, que inclui movimento do detector, movimento do paciente, decaimento radioativo, tempo-morto, tempo de vôo e a cinética de traçadores radioativos. Existem interfaces e aplicativos para criar modelos voxel e pacotes de reconstrução de imagens que melhoram a integração do GATE com a modelagem (SANTIN et al., 2007).

A estrutura do GATE é constituída de módulos que podem estar todos contidos em apenas um *script*, dentro de um arquivo, ou divididos em diversos *scripts*, compostos por diversos arquivos. Cada módulo desempenha uma função: a geração de fótons; a busca e interação com objetos; a colimação; a detecção e a amostragem. Os módulos podem ser editados pelo usuário de forma a configurar a simulação de acordo com seus critérios ou configurações particulares (LAPIS, 2008). A Figura 15 ilustra esquematicamente a arquitetura dos módulos do programa GATE.

Apesar da flexibilidade das ferramentas computacionais *Geant4* e GATE e do acesso a simulações cada vez mais realísticas, o custo computacional é alto. As simulações proporcionadas por esses pacotes necessitam de um alto desempenho computacional normalmente exigindo centenas de horas de processamento para que tenhamos acesso a informações realísticas. No intuito de acelerar o processamento, a simulação em paralelo vem sendo utilizada, proporcionando um maior desempenho computacional e um acesso às informações em tempo viável e com maior eficiência. O processamento pode ser dividido entre diversas CPU's (*cluster*

computacional), tratando-se de dados correspondentes a uma mesma simulação. Nesse caso, ainda pode-se ampliar a proposta quando se necessita de maior desempenho, gerando uma “rede de processamento” através de métodos baseados na tecnologia *grid*, que será discutida a seguir.

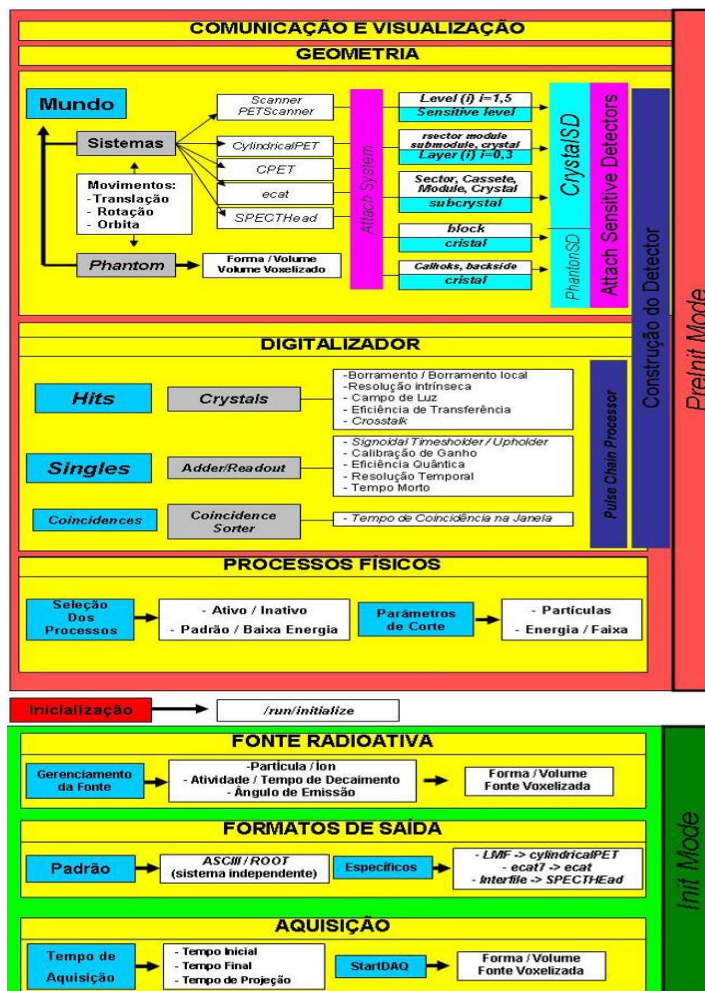


Figura 15: Arquitetura dos módulos do pacote GATE
Fonte: LAPIS, 2008.

2.4.1.1 Grid Colaborativo e Computacional

A computação em rede, também denominada *grid*, possui grande potencial para permitir o acesso de médicos e de pesquisadores a recursos computacionais potentes.

Uma maneira de classificar os *grids* relaciona-se com a funcionalidade oferecida e as aplicações que são suportadas. Os termos normalmente utilizados

são: *grids* computacionais, *grids* de informação e *grids* de colaboração (FOSTER et al, 2003).

O pacote GATE através do EGGE⁷ (iniciativa em *grid* lançada pela *European Union* para infraestruturas de *grid* na Europa) é um estudo piloto na aplicação biomédica. As simulações do GATE distribuídas em *grid*, através da paralelização de computadores, obtêm resultados significativos de ganho no tempo e serão viáveis em um futuro muito próximo na rotina clínica em algumas aplicações específicas. As aplicações consistem de 1785 CPU's distribuídas em 23 locais da Europa e Taiwan (STAELENS et. al, 2006).

As simulações paralelizadas são realizadas em três fases: a divisão dos processos (*job splitting*), a simulação real (em uma série de CPU's) e a fusão dos arquivos de saída (*file merging*). O processo consiste em fazer a divisão dos processos de PET ou SPECT em função da decomposição de um processo no domínio temporal, onde a divisão é realizada em um número menor de processos (BEENHOUWER et al, 2007). Os processos ocorrem da mesma maneira, sem simplificações, sendo, somente divididos em vários processos individuais.

A fusão dos arquivos na saída pode ser realizada pela ferramenta ROOT⁸, que realiza as atividades de divisão e fusão. A implementação não requer a interação com o usuário; ela é realizada automaticamente quando desejado. Esta divisão de processos, originada da quebra de uma única simulação, pode então ser processada por múltiplos computadores (processadores), denominados *clusters*.

Portanto, o desenvolvimento estrutural de uma maior distribuição das simulações de MC vem sendo estudada, promovendo a tecnologia *grid* na quebra de processos, a fim de obter um ganho em tempo computacional significativamente maior.

Neste trabalho foram desenvolvidas e validadas as estruturas de um ambiente colaborativo e computacional que poderão ser implementadas futuramente em um ambiente *grid*. Este tipo de computação colaborativa permite a criação de “laboratórios sem paredes”, ampliando as interações entre usuários (relações

⁷ <http://www.eu-egee.org/>

⁸ <http://root.cern.ch/drupal/>

interpessoais) e o acesso a recursos computacionais, mesmo em casos nos quais existam limites geográficos.

A comunicação e colaboração entre pessoas envolvidas em um ambiente colaborativo exigem a compreensão das bases teóricas da educação a distância (EAD). Este tema será apresentado resumidamente na seção a seguir.

2.5 Educação a Distância

A educação à distância (EAD) surgiu como uma via alternativa à educação presencial, para sujeitos que não tinham acesso ao ensino tradicional. As primeiras propostas de EAD eram principalmente por meio de correspondência, onde a interação professor-aluno era lenta e unidirecional (orientações originadas pelo professor para o andamento do curso). Um passo importante foi a incorporação de novos suportes tecnológicos para a transmissão de conteúdos (rádio, televisão, áudio e mídias). Isto permitiu a sincronia no tempo de instrução, abrindo novas possibilidades, principalmente motivacionais (BEILER, 2004).

Acreditamos que o objetivo da educação se centra em aprender a aprender e a desenvolver a curiosidade, estimulando a aprendizagem para o enriquecimento da vida em todos os setores. Também envolvem o aprendizado em resolver problemas novos e planejamento de novas soluções. Na sociedade atual, com o acesso facilitado à informação, torna fundamental aprender a localizar informações pertinentes e convertê-las em conhecimento, relacionando-as com a realidade. Particularmente, com o surgimento de novas áreas interdisciplinares, cada vez mais presentes em nosso cotidiano, como no caso da Medicina Nuclear, é de extrema importância para o profissional aprender de forma interdisciplinar integrando-se de modo a perceber outras dimensões dos problemas.

A nova sociedade do conhecimento exige capacidade de localizar, compreender, analisar, aplicar e relacionar diferentes dados, os quais se têm acesso, convertendo-os em conhecimento útil e aplicável. Neste caso, nos referimos à capacidade necessária de transformar os conteúdos em saber. A educação se converte em um dos requisitos imprescindíveis para que isto seja possível, não

somente atuando na formação inicial, mas em uma formação necessária ao longo da vida e em todos os âmbitos de relação humana, mediante constante renovação.

A necessidade de formação permanente de pessoal, dado ao avanço acelerado do conhecimento, hoje se torna mais viável devido às possibilidades da tecnologia da informação e comunicação (TIC). Nos próximos anos será cada vez mais imprescindível o conhecimento e acesso à internet para atividades de rotina como comprar, vender, divertir-se. Da mesma forma, no meio educacional, o uso das TIC vem influenciando a formação inicial a formação continuada dos profissionais.

Em suma, produzir uma aprendizagem mais ampla está relacionado a uma maior capacidade de acesso e flexibilidade para o estudante, em um enfoque mais centrado no aluno, por meio das novas vias de interação. Esta nova forma de compreender a aprendizagem está identificada com a educação a distância, sendo esta definida como uma possibilidade de comunicação permanente entre os participantes no processo de formação, graças às novas tecnologias que estão derrubando alguns dos obstáculos do ensino tradicional (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

Pertencemos a uma realidade educacional assimétrica cujos desafios demandam soluções práticas e inovadoras em relação à oferta de educação, especialmente da educação superior e sua continuidade. Junto às ofertas acadêmicas, também há propostas de formação provenientes de empresas, que centram seus objetivos na atualização de seus empregados e equipes de trabalho (DANTAS, 2008; CARNEIRO, 2008; ALBERIO, 2004). As redes de informação e de comunicação vêm se expandindo rapidamente e o profissional, que deseja manter-se no mercado de trabalho precisa de constante atualização. A partir disso, a educação a distância e os sinônimos desta modalidade, apresentam especificidades que podem, quando implementadas com critérios de qualidade, contribuir sensivelmente com a ampliação e a interiorização da oferta de educação continuada (LITTO & FORMIGA, 2009).

O surgimento da internet permitiu explorar novas possibilidades de aprendizagem à distância, graças às rupturas assíncronas que definem a nova educação à distância. Inicialmente, professores e alunos aprendiam em locais e tempos distintos. Graças às tecnologias de informação e comunicação (TIC), pode-se desenvolver uma formação síncrona onde alunos e professores se encontram em

um mesmo momento não importando o lugar físico. Isto só se tornou possível devido à conectividade que abrange juntamente as ferramentas de comunicação *online* propiciando novas formas de aprendizagem, independente ou em grupos quebrando o tradicionalismo de ensino presencial (ALMEIDA, 2003). Esta nova estruturação da EAD permite desenvolver diferentes modalidades de aprendizagem, tanto em formação inicial, quanto na formação continuada, autônoma e independente.

2.5.1 Internet e Ciberespaço

Como proponente de recursos informativos, formativos e comunicativos, a internet⁹ está servindo de base para uma educação a distância cada vez mais presente, ao possibilitar seu acesso em qualquer local. A rede se converte em um local de convergência de diferentes usuários do meio educacional e profissional.

As novas relações de mediação em modelos de negócios na rede ou relações difusas entre consumo e geração de recursos são também exemplos de trocas infra-estruturais propiciados pelo fenômeno da internet. Sua dimensão possibilita criar e gerir ambientes virtuais de aprendizagem que melhoram o acesso do estudante aos materiais, facilitando o intercâmbio de opiniões e a realização de tarefas em conjunto. Por outro lado, é a vertente social da rede que permite que nasçam comunidades de aprendizagem, em sua maioria sendo dinâmicas e abertas ao acesso de dados e informações (BRENNAND, 2001).

As experiências educativas no ciberespaço tendem a abertura, apresentam um baixo nível de estruturação e, em geral, cumprem com um modelo construtivista, no qual os estudantes aprendem praticando e interagindo entre si e com moderadores (ANDRADE, 2003). Por outro lado, aplicações isoladas dos recursos comunicativos da internet permitem gerar espaços delimitados para o desenvolvimento de experiências setoriais. O ciberespaço é uma construção social integrada no marco tecnológico da rede internet (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). Os recursos que o definem são a sua não materialidade física e ser um espaço prático, ou seja, um espaço virtual, não material e um espaço de

⁹ http://www.escolanet.com.br/dicionario/dicionario_i.html - possibilita a comunicação global entre milhões de usuários. Recentemente, a Internet, e especialmente a WWW ou World-Wide-Web virou o meio de EAD de maior crescimento. Acesso em 22/10/2010.

prática social, que se define a partir da interação das pessoas que o “habitam” (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). Nesse sentido, ao falarmos em ciberespaço, estamos nos referindo ao lugar onde transcorrem as relações que são possíveis graças à tecnologia da internet, ou seja, uma tecnologia social. Além disso, o ciberespaço nos permite analisar os fenômenos socio-educativos na internet que também produzem a interpretação das características e ferramentas que fazem possível a participação nesse contexto (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007; LÉVY, 1999).

Na perspectiva das ciências sociais, a internet não é considerada somente um sistema de distribuição da informação. A internet acima de tudo é um meio de comunicação e informação que pode ser adaptado para que ocorram as interações sociais (LÉVY, 1999). A rede constitui um cenário para a prática social, assim como os lugares tradicionais de encontro em espaço físico tradicional. Na internet é possível compartilhar experiências, conhecer e estabelecer relações com pessoas distantes, intermediar processos e em geral, executar uma socialização virtual. O ciberespaço provém do conceito da contraposição do mundo físico e virtual referindo-se especificamente às relações produzidas em um ambiente virtual, não euclidiano (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

Assim como a educação presencial, a EAD deve ofertar uma educação de qualidade. Esta modalidade também deve disponibilizar competências e preocupar-se com infra-estrutura, bagagem cultural, requisitos, fatores sociais e econômicos, acesso e familiaridade com as ferramentas, entre outros aspectos. A EAD não é mais ou menos importante que a educação presencial só não possui uma localização específica para atuar. Ela abrange uma aprendizagem baseada na utilização de tecnologias e na interação síncrona e assíncrona. Diferentemente do ensino tradicional a aula dará espaço aos estudantes autônomos; o professor que era um provedor de conhecimento passa a ser um mediador, sendo guia para a obtenção do mesmo conhecimento e os materiais e métodos estarão incluídos na ampla utilização das TIC. A questão não é somente a tecnologia em si, mas utilizá-la efetivamente para a produção de conhecimento (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

A ruptura espaço-temporal propicia uma verdadeira revolução na educação, o desaparecimento de ensino-aprendizagem sequencial. Se no ensino tradicional a

sequencialidade é o fundamento da proposta educativa, as novas propostas de aprendizagem, graças às TIC, possibilitam um processo educativo interativo através de redes, onde o estudante é ativo, não procedendo de maneira sequencial e abrangendo distintos níveis de informação dinamicamente (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

2.5.2 Tecnologias da Informação e da Comunicação - TIC

As tecnologias de informação e comunicação, também conhecidas como TIC, são importantes, pois possibilitam o armazenamento, o processamento e a transmissão de dados e informações permitindo também a sua reelaboração (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). Dentro da perspectiva das TIC, todos que tem acesso a este tipo de ferramenta, possuem acesso à informação facilitado (AFONSO, 2000).

As TIC permitem uma maior flexibilidade em relação à rotina, fazendo com que as pessoas possam se concentrar em atividades essenciais, independentemente do nível de seu conhecimento, permitindo a maior disponibilidade de tempo para a reflexão, redescobrimto, planejamento, criação e inovação de tarefas. Também propiciam trocas através dos canais de comunicação, que já supôs um grande avanço na EAD tradicional (PERALTA & COSTA, 2007).

As tecnologias digitais oferecem grandes possibilidades para atingir metas de aprendizagem de alta qualidade. A troca de experiências não ocorrerá por mera aplicação tecnológica nos ambientes colaborativos, sendo esta aplicação efetiva, somente quando empregada conscientemente através da prática da ação formativa (RICOY & COUTO, 2009).

2.5.3 Ambientes Virtuais de Suporte à Aprendizagem

A aprendizagem em ambientes virtuais pode apresentar-se como uma alternativa educacional de grande eficácia, podendo desempenhar um papel inestimável no desenvolvimento cultural de um grupo a partir de suas especificidades.

A principal inovação das últimas décadas na área da educação foi a criação, implantação e aperfeiçoamento de uma nova geração de plataformas para EAD que abriram possibilidades para promover oportunidades educacionais para grandes contingentes populacionais, não mais tão-somente de acordo com critérios quantitativos, mas principalmente, com base em noções de qualidade, flexibilidade, liberdade e crítica (LITTO & FORMIGA, 2009). Para maximizar as vantagens da EAD, há a necessidade de utilização de um arsenal específico (meios de comunicação, técnicas de ensino, métodos para aprendizagem, entre outros), obedecendo a princípios de qualidade. Seu público tende a ser não convencional incluindo áreas específicas, usuários específicos ou ainda usuários com características pertinentes.

Um aspecto importante é a possibilidade de contatar um facilitador ou tutor, que se comunique com os outros participantes em um ambiente, de forma que exista a oportunidade para o debate entre eles verticalmente e horizontalmente (aluno-professor e aluno-aluno); e que as discussões sejam guiadas pelo facilitador/tutor.

O tutor/moderador pode desenvolver sua orientação de forma individual, de forma exclusiva em uma determinada tarefa, ou ainda compartilhando sua ação na função de guia de aprendizagem. De acordo com os modelos de tutoria, este tipo de docente deve considerar uma série de tarefas chave para a execução dos objetivos de aprendizagem. Entre as principais tarefas estão: gerenciar o processo de aprendizagem, orientar o grupo e seus sujeitos de acordo com as necessidades detectadas, prover informação e recursos, cultivar o dinamismo no grupo moderando debates, etc; motiva e facilita a aprendizagem não apenas transmitindo a informação, supervisiona e avalia o grupo superando as lacunas e erros, e ainda, investiga maneiras de inovar o ambiente proposto (PALLOFF & PRATT, 1999).

Em função disso, nos parece lógico que seja necessário definir perfis, competências e tarefas diferentes nestes ambientes contrapondo o que o docente tradicional está acostumado.

Sendo assim, uma colaboração efetiva deve levar em conta a possibilidade do estudante/membro de um ambiente ter a chance para experimentar trabalhar em grupo e não somente isoladamente, havendo uma produção coletiva (LITTO & FORMIGA, 2009). Outro ponto importante, é que o moderador das discussões incentive a interação entre os membros do grupo mantendo a ética e trazendo novos

problemas relacionando à tecnologia disponível para auxiliar os membros do grupo em relação aos seus problemas cotidianos.

Estamos em uma nova época, reunindo as novas tecnologias de comunicação e novos conceitos de organização virtual, a rede. Essas novas tecnologias de educação podem gerar condições de auxílio ou a própria aprendizagem com mais interatividade, através de caminhos não lineares, em que o usuário determina seu ritmo e disponibilidade (LITTO & FORMIGA, 2009).

Os ambientes virtuais podem ser categorizados na forma apresentada a seguir.

2.5.4 Categorias de Ambientes Virtuais

Atualmente, a aprendizagem via internet pode ser distribuída em três categorias, segundo Litto e Formiga (2009):

- a) Quando possuem estrutura de curso, com duração de 20 minutos, 20 horas ou 20 semanas.
- b) Quando não possuem estrutura de curso, mas permitem diversos tipos de aprendizagem, como operação via *Web 2*, equipamentos científicos localizados em centros de pesquisa distantes, ambientes de realidade virtual, participação de comunidades virtuais de aprendizagem e de prática e tutoria avulsa.
- c) Quando contém acervos de forma digital (portal coletivo de periódicos científicos), bibliotecas, museus e arquivos virtuais, repositório de objetos de aprendizagem (conteúdos modulares que em grandes dimensões exigem ferramenta de diálogo na interface com o aprendiz para determinar o escopo e características da informação desejada antes de indicar sugestões).

Neste trabalho destacamos a segunda categoria de ambiente virtual, a qual será utilizada como base para o desenvolvimento do Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear.

O conceito de rede social, junto com o uso massivo de *software* livre está chegando ao mundo educativo e transformando os conceitos clássicos de *e-learning* (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). A categoria Web 2.0 equivale a uma

rede social, o internauta não é mais um mero “navegador”. O internauta passa a ser um fabricante de conteúdos e é protagonista nos processos que ocorrem nos espaços que interage/acessa.

Frente ao modelo clássico, a nova web não se constrói somente em torno de comunidades baseadas em grupos ou fóruns virtuais. A participação mediante redes sociais se baseia principalmente na atividade dos internautas, na sua intervenção direta sobre o conteúdo da web. É o sujeito quem pondera a qualidade de um *post*¹⁰ ou introduz opiniões concretas.

Aplicar métodos baseados na colaboração não afeta somente a gestão da interatividade, quanto também implica reconsiderar o papel dos conteúdos dentro do processo de ensino-aprendizagem. Estes elementos podem ser criados e distribuídos de distintas maneiras. Ao invés de serem compostos, organizados e estruturados, como no *e-learning* clássico, os conteúdos podem ser distribuídos como ocorre em *blogs*. No processo de distribuição, consumo e redesenho no grupo, o conteúdo vai enriquecendo e transformando-se de acordo com os interesses de cada programa. Neste sistema o mais importante é o critério do conteúdo, os padrões que permitem aos usuários gerir os documentos de sua redação, apresentação e integração em uma determinada plataforma. Essas tarefas podem realizar-se contando com a participação do grupo, uma vez que tenha aproximação social ao conteúdo e seja compartilhado o conhecimento/experiências.

Na sociedade da informação, os processos de inovação se baseiam na capacidade de reconfigurar os pressupostos de partida na construção do conhecimento. Esse conhecimento passa a ser dinâmico, flexível, não está fixado e sim flui na rede de comunicação e não é somente analógico, como basicamente digital. Com estes conceitos, assumimos que a aprendizagem não provém somente dos conteúdos de ensino, mas da forma como são empregados por docentes e estudantes. O objetivo nestas plataformas não é dispor materiais de ensino completos, com princípio e fim, dotados de uma metodologia linear e um sistema de avaliação que avalie a aquisição de conhecimento. O uso de comunidades de

¹⁰ Segundo wikipédia, A enciclopédia livre: entradas de texto cronológicas em websites/blogs, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Post>, acesso em 01/11/2010.

colaboração, como neste trabalho, tem um conceito de complemento às próprias tarefas e troca de experiências da prática profissional.

As comunidades de prática seguem uma linha recorrente dos estudos do comportamento social no ciberespaço, surgindo a partir das interpretações de fenômenos sociais em locais físicos convencionais (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). Seus princípios tornam-na uma proposta adequada para compreender a interação através da internet e as formas de facilitar a aprendizagem de uma comunidade em rede. Estas comunidades de prática são caracterizadas por buscar a construção de aprendizagens desde a interação comunicativa até a comparação de experiências práticas entre indivíduos.

Hoje se considera claramente insuficiente qualquer processo de formação baseado exclusivamente nos conhecimentos de um docente ou em um determinado manual de estudos. Oferecer materiais que gerem diferentes pontos de vista de um determinado assunto, apresentar materiais incompletos que levem ao usuário a busca de informação (dentro ou fora do ambiente) trabalha indiretamente as competências de análise, busca, interpretação e seleção por parte do sujeito. A utilização progressiva de apresentação dos materiais também é um recurso interessante para estabelecer um ambiente de aprendizagem.

A aprendizagem colaborativa tem como bases teóricas os enfoques de Piaget (1975) e Vygotsky (1998) sobre a interação social em *e-learning* recorrendo a este eixo metodológico aplicando-os nas cibercomunidades que se preocupam com qualquer forma de conhecimento. De uma forma geral, a aprendizagem colaborativa consiste em um conjunto de métodos e estratégias sustentados por tecnologias que possibilitam ao grupo ou seus membros se responsabilizarem por suas aprendizagens.

Existem muitas propostas de classificação para tais ambientes, mas neste caso, tratamos de um ambiente que utiliza métodos vinculados ao saber, ou seja, métodos expositivos, de auto-aprendizagem, de resolução de problemas, entre outros. Os métodos devem utilizar enfoques participativos, na qual é solicitada uma atividade para o adulto (sujeito de aprendizagem), apoiado em sua bagagem de conhecimentos prévios no contexto em que atua, onde atua, dando-lhe também, opções para redirecionar atividades/discussões no ambiente em função de suas necessidades, interesses, conhecimentos anteriores e experiências.

Os modelos pedagógicos fazem referência a protótipos ou esquemas que guiam e dão estrutura ao pensamento e ação de todos os envolvidos nos processos educativos. Esses modelos normalmente nascem de teorias, ideologias, valores e normas; que pretendem interpretar a realidade e conduzi-la em função de objetivos específicos (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

Neste trabalho será utilizada a abordagem construtivista, para a construção do ambiente colaborativo. Nesse modelo, os procedimentos e estratégias cognitivas que levam o aluno, mediante sua atividade direta e pessoal, à construção do próprio conhecimento e elaboração de significados são importantes. Os docentes, neste caso, passam a ser mediadores/facilitadores, programam e organizam o processo e também devem incentivar a dinâmica e interação no grupo, facilitando os recursos. Destacam-se neste modelo a aprendizagem colaborativa, a flexibilidade para alcançar os objetivos desejados, entre outras possibilidades. Além disso, este modelo é centrado no discente, pondo a atenção na aprendizagem mais que no ensino, o aluno/usuário é protagonista de sua formação, diferindo de formas tradicionais. Este modelo está centrado nas interações do tipo síncronas e assíncronas, propiciadas por tecnologias colaborativas e das TIC, onde os estudantes/profissionais trocam ideias, com a combinação destas conduzindo à aprendizagem. Este aprendizado surge através da interação social, construindo consensos através da cooperação em grupo.

Os conteúdos deste modelo são flexíveis, adaptáveis, fluidos e dinâmicos, com sua concretização dependendo do trabalho individual e grupal. A colaboração e os objetivos compartilhados são a base que conduz a aprendizagem utilizando as TIC.

Este modelo também está baseado na comunicação através da internet, na qual a interação pode ocorrer de forma horizontal (aluno – aluno), vertical (docente – aluno), simétrica e assimétrica. Quando as aplicações possuem um contexto específico de aprendizagem podendo classificá-la como um modelo de aprendizagem virtual. Este modelo favorece o estudo autônomo e independente, propiciando também a autogestão formativa com a mediação do docente, o trabalho em equipe no ciberespaço e processos interativos de alta complexidade.

2.5.5 Interatividade e Aprendizagem

A teoria socioconstrutivista de Vygotsky assume que é por meio das interações que os seres humanos se desenvolvem e aprendem. O autor define como zona de desenvolvimento proximal justamente o espaço entre o que um indivíduo pode aprender sozinho e onde pode chegar por meio de interações com outros indivíduos de maior experiência, pois ao interagir os sujeitos revelam seus conhecimentos potenciais desenvolvendo novas potencialidades em patamares mais elevados (LITTO & FORMIGA, 2009). A busca de uma aprendizagem através da interação e a consciência de que os conhecimentos/verdades são provisórios, estando em permanente construção/reconstrução e apresentando-se em rede, devem gerar uma atitude positiva em relação à formação continuada, à troca contínua e à persistência intelectual. Paulo Freire também defende a importância da interação na educação, inicialmente denunciando modelos que implicam a memorização mecânica de conteúdos contrapondo a educação humanista e problematizadora pressupondo o diálogo (LITTO & FORMIGA, 2009).

Sendo assim, cabe-nos enfatizar que a busca do conhecimento é um processo discursivo, através de princípios como os da teoria hermenêutica¹¹ e dialética¹², que está presente no conflito, procurando-se manter os princípios da ética, comcomitantemente com o comprometimento social com a educação.

O modelo construtivista prevê uma base sólida que permite considerar as comunidades na rede como artefatos de ação social e educativa integrados em um espaço praticado como o da Internet. Partindo deste raciocínio, o conceito, gestão e manutenção das comunidades estão em função das visões particulares de seus membros e é independente de ações externas, onde as renegociações permanentes ocorrem em um contexto cultural específico.

O construtivismo social sustenta que o conhecimento, tanto científico como de qualquer outra natureza, não se obtém através de significados objetivos e é

¹¹ Segundo o Dicionário Aurélio, a **Hermenêutica** é a arte de interpretar os livros sagrados e os textos antigos: hermenêutica sagrada. / Teoria da interpretação de vários sinais como símbolos de uma cultura. / Arte de interpretar leis. <http://www.dicionariodoaurelio.com/Hermeneutica>. Acesso em 12/12/2010.

¹² Segundo o Dicionário Aurélio, a **Dialética** é a arte de argumentar ou discutir. / Maneira de filosofar que procura a verdade por meio de oposição e conciliação de contradições (lógicas ou históricas). <http://www.dicionariodoaurelio.com/Dialetica>. Acesso em 12/12/2010.

construído por meio da interação e do discurso sociais. Assim, o conhecimento nunca é totalmente correto por si mesmo, mas corresponde a uma verdade contextualizada em uma determinada cultura, situação, linguagem. Nenhum ponto de vista é mais válido perante os demais, visto que todos estão relacionados a um determinado contexto social que lhes dão significado. Neste modelo o conhecimento não é objetivo nem subjetivo, mas se forma contextualmente e dialogicamente sendo criado através de negociações superando a visão do modelo autoritário e teórico de transmitir a informação. A tecnologia atua neste contexto, como mediadora para produzir conhecimento de forma distinta da tradicional.

O modelo construtivista traz uma série de implicações importantes, dentre elas: a proposição de múltiplas representações da realidade e a complexidade do mundo real, evitando simplificar a instrução; a possibilidade de o sujeito realizar atividades reais autênticas; a criação de um ambiente que proporcione um mundo real baseado em casos, ao invés de instruções sequenciais predeterminadas; o esforço da prática de reflexão; a utilização de contextos, conteúdos e conhecimentos dependentes de construção e suporte; e a construção colaborativa de conhecimentos através da negociação social.

2.5.6 Hipertextos e Discussões Mediadas por Computador

Nas discussões em grupo, quando seus membros já pertencem a um nível considerado maduro, ou seja, quando todos os membros do grupo tiveram a chance de dar sua opinião (posições e argumentos), normalmente, chega-se a um consenso ao final das discussões. Os hipertextos podem dar suporte às discussões de trabalho em equipe, ajudando na organização do raciocínio e planejamento da discussão.

Segundo Lévy (2004), conhecemos muito pouco sobre a forma que são realmente trocadas as informações no interior dos grupos, porque as ideias de pessoas distintas podem combinar-se de maneira eficaz ou bloquearem-se mutuamente. Assim, a elaboração de tecnologias intelectuais não pode ser dissociada da pesquisa empírica da cognição.

As chamadas *redes de conversação* surgem ao decorrer das conversas quando o propósito não é resolver problemas nem tomar decisões individualmente, mas, propor à comunidade as novas possibilidades que podem ameaçar de certa forma as finalidades de cada um, ou do grupo como um todo. Dentro desta perspectiva, o hipertexto auxilia na discussão coletiva ajudando a cada interlocutor situar-se dentro de uma estrutura lógica na discussão que está em andamento, pois assim, oferece uma representação gráfica da rede de argumentos (LÉVY, 2004).

No hipertexto, o debate se torna uma construção progressiva de uma rede de argumentação e documentação que está sempre presente aos olhos da comunidade, podendo ser modificada em qualquer momento. Desta forma, pode-se examinar o discurso, sem perder a linha geral de argumento e detalhes relativos às questões.

Com o hipertexto, o distanciamento intelectual entre os membros de um grupo é praticamente nulo, pois é possível continuamente ser informado de qualquer nova ideia ou processo relacionado a determinado trabalho que o grupo realiza. Além disso, um novo integrante já tem de início toda a informação no instrumento coletivo, o que é de valor inestimável. O hipertexto ou a multimídia interativa adequa-se particularmente ao uso em educação e capacitação de pessoal. É bem conhecido o papel fundamental do envolvimento pessoal do integrante de um grupo (alunos, por exemplo) no processo de aprendizagem. Quanto mais ativamente uma pessoa participar da aquisição de um conhecimento, mais ela irá integrar e reter aquilo que aprender. Assim, além do hipertexto ser uma ferramenta eficaz para a comunicação e a inteligência coletivas, pode também servir para meio de esclarecimentos sobre determinados assuntos (LÉVY, 2004).

A operação elementar da atividade interpretativa é a associação; dar sentido a um texto é o mesmo que ligá-lo, conectá-lo a outros textos, e, portanto, acaba sendo equivalente a montar um hipertexto. Já se sabe que pessoas distintas podem atribuir sentidos muitas vezes opostos em relação a uma mesma mensagem. Isso acontece, pois por um lado o texto acaba sendo o mesmo para cada um, por outro, o hipertexto pode ser completamente distinto. O que é importante neste contexto é que o usuário capta a informação de acordo com uma rede de relações particular. Para que ocorra compartilhamento na coletividade de um mesmo sentido não basta que cada um dos membros receba a mesma mensagem. O papel do hipertexto é o de

reunir, não apenas textos, mas também as redes de associações, anotações e comentários às quais eles são vinculados pelas pessoas. Ao mesmo tempo, a construção do senso comum encontra-se exposta como que materializada, sendo esta, a elaboração coletiva de um hipertexto (LÉVY, 2004). A experiência de cada usuário traz consigo uma bagagem de referências e associações comuns, uma rede hipertextual unificada, um contexto que pode ser compartilhado no grupo, capaz de reduzir a incompreensão sobre determinados temas.

O efeito de uma mensagem é o de modificar, complexar, retificar um hipertexto, criar novas associações em uma rede contextual que se encontra sempre anteriormente dada. O objetivo principal de uma teoria hermenêutica da comunicação não será, portanto, nem a mensagem, nem o emissor, nem o receptor, mas sim o hipertexto que é como a reserva de um sistema sempre móvel das relações e seus sentidos. A metáfora do hipertexto dá conta da estrutura indefinidamente recursiva do sentido, pois já que ele conecta palavras e frases cujos significados remetem-se uns aos outros, dialogam e ecoam mutuamente para além da linearidade do discurso, um texto já sempre um hipertexto, uma rede de associações (LÉVY, 2004).

2.5.7 Comunidades Virtuais de Aprendizagem e Prática

É através da conversação que cada vez mais trabalhos colaborativos vêm sendo desenvolvidos. Nesse espaço, surgem várias propostas para a prática de ensino e aprendizagem. Comunidades Virtuais de Prática (CVP), segundo Wenger (1998), são grupos de pessoas, informalmente reunidas, com objetivos específicos em comum que compartilham conhecimento sobre determinados assuntos cujos membros aplicam este conhecimento na prática. Esta abordagem de gerenciamento de conhecimento é reconhecida por facilitar a transformação do conhecimento tácito em explícito. Uma CVP tem uma característica que a torna muito atrativa: a força de experiências para auxiliar na solução de um problema que outros já vivenciaram. Aprende-se através dos exemplos de outros, das dicas e orientações e da reflexão conjunta (LITTO & FORMIGA, 2009).

O planejamento deste tipo de ambiente é uma atividade técnica em que um sujeito experiente ou um grupo de experientes planejam um ambiente de acordo com o cenário em que trabalham e a meta que estabelecem, onde estão sequenciados e ordenados racionalmente todas variáveis e dispositivos de formação que devem estar presentes para sua realização (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007). O plano de ação, após o planejamento, é a consequência, tratando-se de definir tanto as grandes finalidades como o modo de organização destas. Deve embasar-se nos objetivos e prioridades formativas, assim como os procedimentos de atuação. Para isto, deverá partir das características dessa organização, da comunidade foco e de seu ambiente, assim como suas necessidades dos indivíduos a quem se dirige.

As comunidades têm sua avaliação através dos próprios membros durante o processo, dentro de um determinado contexto, o que a torna muito competente.

A análise de situações permite captar a vida de uma determinada comunidade, tal como vêem seus usuários em um nível perceptivo. Uma comunidade nunca apresenta uma organização linear, sendo realidades complexas de interação fortemente ligadas ao ambiente em que estão imersas. Portanto, deve-se ter em conta que toda comunidade é composta por diferentes níveis de análise que vão do explícito ao implícito, que conta com uma história e um ambiente, determinando todas suas decisões de forma clara. A análise do ambiente é extremamente importante, pois mesmo que o planejamento tenha sido executado corretamente, na prática só será eficaz se atender às circunstâncias e necessidades específicas de um determinado grupo de usuários. Não existe um único instrumento (nenhum sendo o melhor) para tal avaliação, o importante é estabelecer diferentes recursos a partir dos quais se obtêm a informação que se deseja investigar. Basicamente, podem ser realizadas entrevistas, questionários e observações, entre outras. Quando o principal objetivo é avaliar a reação dos participantes diante do ambiente, se utilizam os questionários ou entrevistas presenciais ou virtuais, individualmente ou coletivamente, as discussões do grupo e as informações dadas pelos participantes. Portanto, um propósito fundamental da avaliação é a melhora da proposta como via de melhoria da formação. A avaliação está intimamente relacionada com a qualidade das ofertas de ambientes e seus recursos.

A avaliação se justifica por algumas razões: se a proposta foi efetiva, proporciona comentários e sugestões por parte do usuário; monitora o andamento da proposta; indica a conclusão de objetivos e a necessidade de reformulá-los; possibilita a avaliação do planejamento para futuros planos; justifica o planejamento de métodos inovadores de formação; avalia a reação dos usuários diante dos conteúdos, métodos, e recursos empregados, a atuação do tutor/moderador, a aprendizagem adquirida durante o período de interação; e a transferência real para o mundo prático do que foi aprendido (ARETIO, CORBELLA & FIGAREDO, 2007).

2.5.8 Ambientes Virtuais na Área Médica

O aprendizado através de ambientes virtuais vem crescendo com a evolução do poder computacional e das tecnologias da informação e comunicação. Porém, a tecnologia por si só não faz a educação melhor ou mais eficiente. Os projetos que tratam do aprendizado por meio digital, denominado *e-learning*, possuem a capacidade de um acesso remoto e de construção de redes que permitem o desenvolvimento de novas propostas para a educação médica. A rede pode ser utilizada para ampliar habilidades e competências, como a capacidade de gerenciamento para a busca, seleção e síntese de informações, podendo ampliar essas habilidades nos alunos. No entanto, as mudanças na educação médica nem sempre são fáceis, nem mesmo quando as vantagens parecem bem claras (GOTTHARDT et al., 2006). A seguir serão apresentados alguns exemplos de sistemas de ensino virtuais na área médica.

Os sistemas de ensino *on-line* normalmente possuem a forma de cursos, fóruns de comunicação, páginas com questões de múltipla escolha e sistemas de auxílio à tomada de decisão (GOTTHARDT et al, 2006).

Em Omã, no Oriente Médio, na Sultan Qaboos University, o ensino médico por meio da abordagem *e-learning* e telemedicina vem se desenvolvendo como parte integrante do curso de medicina. Segundo o pesquisador que avaliou a experiência (ALRAWAHI, 2006), a informática acarreta benefícios ao treinamento e à pesquisa, permitindo o acesso, o desenvolvimento e a implementação de novas tecnologias para suporte na área da saúde dos profissionais médicos e cientistas da

área biomédica. O estudo mostra que a utilização de suportes *on-line* no aprendizado resguarda o paciente de inconvenientes, possibilitando a criação de pacientes virtuais para o treinamento de estudantes no atendimento clínico.

A simulação de estações de trabalho (*workstations*) no campo da radiologia é utilizada no sistema TEMPO (KAHN et al, 2007), que dispõe de módulos de educação com testes de múltipla escolha, para acesso instantâneo à aprendizagem, em um conceito denominado de *just-in-time learning*. O sistema utiliza o contexto clínico radiológico da visualização das imagens, como idade, sexo e parte do corpo visualizada e sugere aos usuários módulos apropriados para o aprendizado. O projeto utilizou um banco de artigos, módulos de aprendizagem e busca das imagens dependentes dos dados anteriores.

Em MN, o estudo de casos é importante na parte do treinamento do médico. Contudo, os casos disponíveis ou até mesmo os bancos de imagens possuem limitações. Normalmente as instituições que não possuem programas de residência não disponibilizam imagens dos pacientes para o ensino médico. O projeto *TF-Web* do *Mallinckrodt Institute of Radiology* da *Washington University, em Saint Louis* (WALLIS, et al., 1995), é uma iniciativa que busca utilizar a capacidade local e remota de acesso à rede para ampliar a visualização de casos de MN, acessando diversas bases de dados e criando uma grande base de imagens para o ensino médico.

O projeto NUCLEONICA consiste em um ambiente integrado e uma plataforma de colaboração pela Internet (bancos de dados, aplicativos de *softwares* e cursos de treinamento). No curso proposto são abordados os conceitos básicos da ciência nuclear e sua tecnologia, adequados para o pessoal da indústria nuclear, organizações de pesquisa nuclear, universitários, autoridades regulatórias e institutos de medicina nuclear. Os tópicos abordados são: a história da radioatividade, tabelas de núclídeos, proteção radiológica e saúde em relação ao armazenamento e transporte de materiais radioativos (MAGILL et al., 2007).

Existem outras iniciativas na área de ensino a distância, como os dois projeto EMERALD e EMIT (JÖNSSON et al., 2005), que promovem educação e treinamento na área da física médica, financiado pela EFOMP (*European Federation of Organizations for Medical Physics*). O programa possui hospitais e universidades da Europa como colaboradores, trabalhando em cinco áreas: diagnóstico em

radiologia, MN, ressonância magnética, ultrassom e radioterapia. Cada área é separada e inclui 50 módulos de treinamento, com tarefas em livro de atividades, textos e um banco de imagens. Atualmente, 65 países utilizam o programa de treinamento, que foi sendo desenvolvido entre físicos médicos europeus.

Uma iniciativa de programa de treinamento a distância para tecnólogos em MN (PATTERSON, 2002) foi financiada pela IAEA (International Atomic Energy Agency) e foi desenvolvida e coordenada pelo Westmead Hospital, de Sydney, denominado DAT (*Distance Assisted Training Programme for Nuclear Medicine Technologists*). O material distribuído, na forma de módulos de estudo, era enviado aos estudantes pelo correio, que eram orientados em seus locais de trabalho. A estrutura básica do curso envolvia unidades que variavam de 1 a 4 unidades por módulo. Cada módulo exigia em média 35 a 40 horas de estudo e o curso total exigia 500 horas, necessitando de 4 a 5 horas de estudo por semana por 2 anos. Os temas básicos e avançados eram apresentados em uma sequência lógica de aprendizagem começando pela física básica e proteção radiológica, imagens clínicas até tomografia de emissão e revisão da literatura médica. O projeto vem sendo ampliado, com a inserção de arquivos de filmes e links de referência, acessíveis pela rede e em versões em CD-ROM.

A iniciativa mais recente neste âmbito foi desenvolvida pela Sociedade Americana de Físicos em Medicina (*American Association of Physicists in Medicine - AAPM*), juntamente com a Sociedade Norte Americana de Radiologia (*Radiological Society of North America – RSNA*) em Maio de 2009. Foram criados módulos *online* de física no site¹³ da *AAPM* para educar os radiologistas e residentes em radiologia sobre conceitos relevantes de física, como descrito no currículo¹⁴ disponibilizado no site. Os módulos são auto-explicativos e incluem auto-avaliação, buscando a compreensão e aquisição de experiências por parte dos usuários. Cada módulo foi desenvolvido por grupos individuais, sempre incluindo um físico e um radiologista, e vêm sendo revisados em relação ao conteúdo e qualidade.

Os módulos proporcionam uma compreensão básica dos seguintes tópicos: imagens em geral, radiologia, mamografia, fluoroscopia, radiologia

¹³ <http://www.aapm.org/education/webbasedmodules.asp>. Acesso em 12/12/2010.

¹⁴ <http://www.aapm.org/education/documents/Curriculum.pdf>. Acesso em 12/12/2010.

intervencionista, tomografia computadorizada (TC), e processamento de imagens. Porém, para a interação com os módulos, os usuários autorizados são os membros pertencentes às sociedades da *AAPM* e *RSNA*.

Assim, concluí-se que os projetos para o ensino *on-line*, em sua maioria, são cursos em módulos, bancos de dados de imagens, bancos de artigos científicos e sistemas de buscas avançadas de casos. O presente estudo pretendeu ampliar a concepção de uma formação continuada para profissionais da área da MN utilizando um ambiente colaborativo, aliado a um poder computacional, ampliando o conceito de *e-learning*, no qual a preposição “e” passa a ter o sentido de “*enhanced*” ou ensino ampliado, pois utiliza todas as ferramentas de tecnologia da informação e comunicação disponíveis (OLABARRIAGA et al., 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo será descrita a modelagem do Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear realizada nesse trabalho, incluindo informações como, requisitos, restrições, funcionalidades e implementações. Também serão abordados os conteúdos desenvolvidos e disponibilizados no ambiente, assim como sua metodologia para o teste de interação e análises empregadas na validação.

3.1 Requisitos do Ambiente Colaborativo

Com o objetivo de definir os processos computacionais de maior utilização e maior custo computacional na área de MN e os requisitos que satisfariam as necessidades dos usuários da área de MN, inicialmente foram realizadas reuniões exploratórias com equipes multidisciplinares compostas por físicos médicos, médicos nucleares e cientistas da computação. Nestas reuniões foram identificadas as premissas e restrições organizacionais, ambientais e externas do futuro ambiente colaborativo em MN, relacionando aspectos da infra-estrutura das instituições e hospitais parceiros, assim como as questões de segurança e acessibilidade de dados/informações pela equipe de informática. A partir destas definições, o ambiente virtual foi definido com os seguintes requisitos:

- disponibilizar aos usuários uma interface amigável, na qual fosse possível a interação entre usuários e o acesso a conteúdos dinâmicos, na construção de um ambiente colaborativo em MN;
- permitir que os usuários pudessem interagir em fóruns de discussão em torno de questões de interesse;

- disponibilizar conteúdos de interesse em MN, como: bancos de imagens clínicas, experimentais e simuladas pelo método Monte Carlo, além de artigos científicos, dissertações, teses e materiais de apoio;
- permitir futuramente a submissão facilitada de simulações de imagens de MN no aplicativo GATE, com a utilização de recursos computacionais de alto desempenho da PUCRS (fase em protótipo).

A partir das discussões, o exame de perfusão do miocárdio definido emergiu como a aplicação específica na validação do ambiente, devido ao fato desse exame ser o mais frequente na rotina dos serviços de MN. Com base nas informações/necessidades apresentadas em reuniões com os físicos médicos e médicos nucleares dos serviços parceiros, os seguintes tópicos de discussão foram escolhidos para iniciar a interação no ambiente: escolha de parâmetros de aquisição (número de projeções, órbita, entre outros), parâmetros de reconstrução tomográfica utilizando métodos analíticos e iterativos e casos envolvendo artefatos nas imagens. Também foram incluídos estudos de casos clínicos com imagens e diagnóstico passível de discussão. Definiu-se que ferramentas de visualização e processamento de imagens disponíveis na rede, como o *software* ImageJ¹⁵, estariam disponibilizadas para utilização no ambiente. Concomitantemente foi desenvolvido um protótipo de ambiente para submissão de simulação de imagens utilizando os recursos do Laboratório de Alto Desempenho da PUCRS e possibilidade de paralelização das simulações. Para a criação do banco de imagens simuladas, um equipamento Philips FORTE, foi modelado utilizando os recursos disponíveis no pacote GATE. Este passo de modelagem e validação é imprescindível para que as imagens simuladas sejam realísticas e possam ser utilizadas nas discussões dos tópicos. Imagens experimentais obtidas com modelos físicos antropomórficos foram adquiridas e incorporadas ao banco de imagens.

Definiu-se que os parceiros contribuiriam enviando conjuntos de imagens de pacientes, sempre tendo garantido o anonimato do paciente e da instituição. Como o conteúdo do ambiente colaborativo é dinâmico e depende do interesse dos usuários, inicialmente foi decidido que seria disponibilizado um número limitado de imagens e documentos.

¹⁵ <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

Foi estabelecido que o gerenciamento do conteúdo e da segurança do ambiente colaborativo seria realizado por um administrador anônimo, o qual pode selecionar os usuários que solicitam cadastro, conforme seu perfil, definido previamente para o ambiente, podendo ativá-los e/ou desativá-los do acesso ao ambiente, conforme regras pré - estabelecidas.

O ambiente deveria possibilitar a colaboração através da atuação de moderadores, que são profissionais experientes na área de MN e reconhecidos por todos os usuários que interagem no ambiente colaborativo. Ao moderador seria designada a função de coordenar e guiar as discussões, selecionando os temas de maior relevância a serem debatidos em fórum.

A seguir, estão especificados mais detalhadamente, os aspectos do desenvolvimento do ambiente colaborativo.

3.2 Desenvolvimento do Ambiente Colaborativo

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do ambiente colaborativo foi o Moodle¹⁶ (*Modular Object – Oriented Dynamic Learning Environment*) amplamente utilizado pela comunidade acadêmica nas áreas de graduação, pós-graduação, cursos de extensão, entre outras possibilidades.

Esta ferramenta livre para gestão de conteúdo permite a criação de comunidades e apóia a aprendizagem, apresentando funcionalidades já disponíveis para uso do administrador no ambiente, tais como a gerência e categorização de conteúdos, mudança de idioma e abertura de conta de usuários, entre outras funcionalidades. Caso alguma implementação seja necessária, as novas funcionalidades podem ser programadas em linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*) e *Jquery* (*Api Javascript*) e adicionadas à ferramenta.

Algumas das funcionalidades que foram definidas pelo grupo de pesquisa, a partir dos requisitos do ambiente, foram desenvolvidas de acordo com os detalhes mostrados nas subseções a seguir.

¹⁶ <http://moodle.org/>

3.2.1 Banco de Imagens Clínicas

O banco de imagens clínicas foi criado para disponibilizar imagens nas discussões, ou situações para análise, como o caso de um paciente normal (Figura 16) que teve sua imagem processada de diversas formas com o objetivo de mostrar a influência do processamento sobre o resultado final da imagem (Figura 17). As imagens clínicas de casos comumente apresentados nos serviços de MN foram fornecidas pelos serviços colaboradores deste projeto. Estas imagens podem ser acessadas através de download de arquivos DICOM ou de imagens processadas evidenciando os cortes tomográficos, assim como, podem ser analisadas através dos visualizadores disponibilizados no ambiente colaborativo.

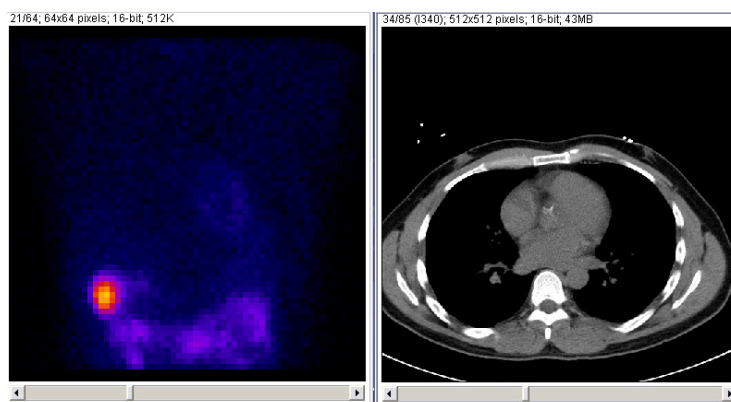


Figura 16: Projeções de um paciente em aquisição de SPECT em repouso (esquerda) e cortes de uma imagem de Tomografia Computadorizada por RX para gerar um mapa para correção de atenuação não uniforme (direita).

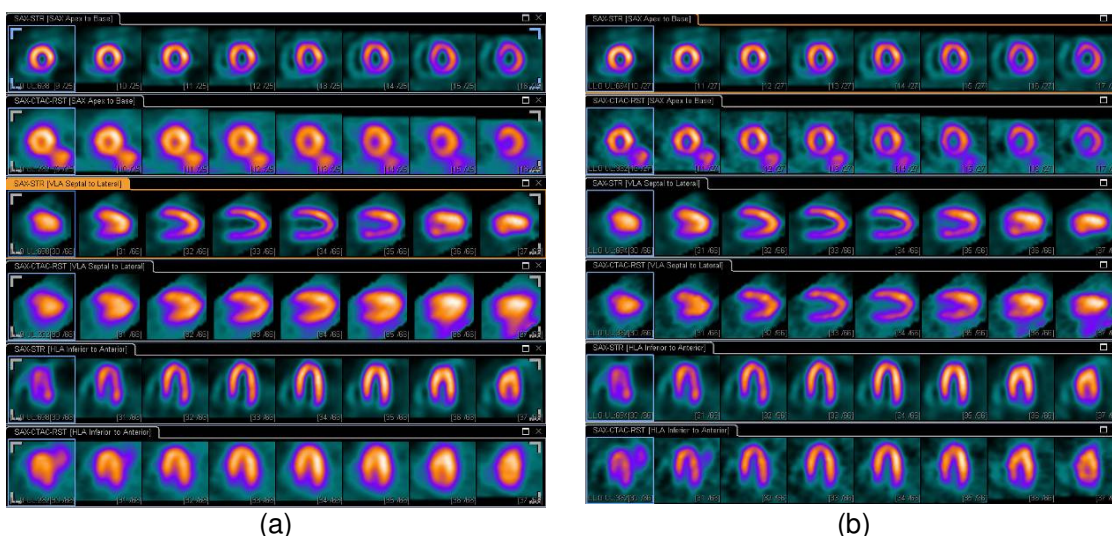


Figura 17: Imagem do paciente da Figura 16 processada por FBP com variação da frequência de corte utilizada no processamento para o filtro Butterworth (a) Imagem processada com frequência de corte 0,2 e ordem 1 (b) Imagem processada com frequência de corte de 0,6 e ordem 1.

A Figura 17 ilustra um exemplo de imagem presente no banco de imagens clínicas, reconstruída pelo método FBP utilizando um filtro de suavização *Butterworth*, apresentando variações na frequência de corte utilizada no processamento.

A Figura 17 (a) ilustra como o uso da frequência de corte mais baixa no filtro *Butterworth* torna a imagem mais suavizada, excluindo eventos de alta frequência, havendo uma perda na resolução ou perda de detalhes na imagem. Por outro lado, quando a frequência de corte aumenta, são incluídos sinais de alta frequência, melhorando a definição de detalhes na imagem, porém elevando o ruído.

Neste tipo de situação, o usuário pode comparar o tipo de processamento realizado, ao analisar diferentes imagens após a aplicação dos filtros. Outras imagens relacionadas aos casos observados em pacientes da rotina clínica também foram disponibilizadas através de imagens das projeções (formato DICOM) tais como, imagens com atenuação de mama, atenuação de diafragma e captação de alça intestinal.

3.2.2 Banco de Imagens Experimentais

Neste trabalho foi utilizado o modelo antropomórfico de tórax com inserção cardíaca descrito a seguir, com intuito de disponibilizar imagens no ambiente com modificações de parâmetros disponíveis em literatura nas aquisições de estudo do miocárdio com ^{99m}Tc em repouso. As aquisições experimentais foram realizadas nos serviços colaboradores (disponível no ambiente em *Projeto>Parceiros*), lembrando que o material utilizado acarretou muito pouco custo adicional aos serviços. Normalmente se tratavam de sobras de material, ou ainda material que não seria mais utilizado para aquisições com pacientes.

Modelo Antropomórfico de Tórax com Inserção Cardíaca

O modelo físico de tórax utilizado neste trabalho foi desenvolvido pela empresa *Data Spectrum Corporation* e suas especificações definidas por Ronald J. Jaszczak, pioneiro em aplicações para o desenvolvimento de equipamentos *SPECT*, pesquisa e controle da qualidade na área de MN.

Este modelo possui um tamanho médio de tórax para simular o corpo humano, incluindo em seu interior a região da metade do fígado até um terço dos pulmões. Alguns compartimentos são preenchidos com água e material radioativo quando desejado, como, o fundo (*background*), pulmões e fígado. Todos os compartimentos são desenvolvidos com material que modela a atenuação do corpo humano. Os pulmões, por exemplo, são preenchidos com esferas de poliestireno para simular os brônquios. A coluna vertebral é confeccionada com teflon (material de alta densidade) com coeficiente de atenuação similar ao dos ossos.

Um modelo adicional, denominado *insert* cardíaco, pode ser adicionado ao tórax para simular o compartimento do miocárdio e o compartimento sanguíneo. Com este simulador é possível adicionar anormalidades representando hipocaptações e hipercaptações no miocárdio (ventrículo esquerdo), simulando regiões de infarto ou isquemia. Assim, este modelo possibilita a avaliação de parâmetros de aquisição para estudos do miocárdio e os efeitos de métodos de reconstrução e processamento e seus efeitos na imagem final.

As concentrações de atividade para as aquisições experimentais foram definidas conforme Hung-Yi e colaboradores (2006), a partir de uma estimativa da concentração de atividade baseada nas imagens de pacientes. O modelo antropomórfico pode ser visualizado esquematicamente na Figura 18.

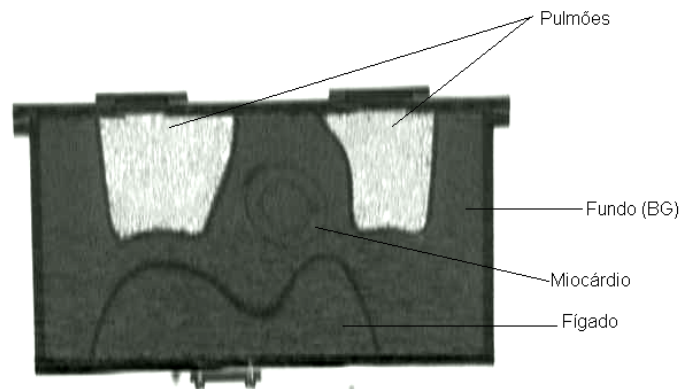


Figura 18:Esquema do modelo físico de tórax com insert cardíaco
Fonte: Willowson, et.al (2008). Modificada pela autora.

As aquisições foram realizadas nos serviços parceiros deste projeto (disponível no sitio *web*), procurando-se variar os protocolos de aquisição. As

imagens experimentais (em formato DICOM) estão disponibilizadas no banco de imagens do projeto no sítio *web* no *Menu Imagens>Imagens Experimentais*.

Protocolos Realizados para as Aquisições das Imagens

Nas aquisições experimentais, realizadas no serviço de Medicina Nuclear A utilizou-se ^{99m}Tc , com atividade no momento da aquisição de 1305,36 MBq (35,28 mCi), com o modelo posicionado com os “pés” para o *gantry* do sistema, onde o modelo foi posicionado com movimentação da maca. Foi utilizado o colimador de propósito geral (VXGP). Os eventos detectados foram selecionados dentro de uma janela de energia de 20% centrada em 140 keV em um arco de 180° (45° oblíquo anterior direito – 45° oblíquo posterior esquerdo), na qual a imagem era coletada em 32 ou 64 projeções. A matriz de aquisição foi definida em 64 x 64 pixels com um pixel quadrado de 6,4 mm e zoom de 1,46. O tempo da aquisição foi pré-determinado em 5s por projeção, procurando estabelecer uma média de contagem de 150k contagens por projeção. Foram realizadas aquisições com janela dupla (centrada em 106,5 keV - 30%) e tripla (centradas em 124,24 keV e 152,25 keV - 3%), para a realização de correções de espalhamento e diferentes tipos de órbitas (circular e não-circular). A Figura 19 ilustra o procedimento de preparo e posicionamento do modelo para estudos do miocárdio. Também foram realizadas aquisições de tomografia computadorizada por raios X para possibilitar a confecção de mapas de atenuação para correções nas imagens (sistema não híbrido). A aquisição do CT foi realizada em um equipamento de Tomografia Computadorizada (CT) com uma fileira de detectores. A aquisição foi realizada no modo helicoidal com 140 kV, uma corrente de 146 mA, um tempo de exposição de 750 ms para um FOV de 50 cm, com matriz de 512 x 512 pixels para um pixel de 0,976 mm e com espessura de corte de 5 mm. Pode-se ver o posicionamento do modelo no equipamento de CT na Figura 20.



Figura 19: (a) Preparo do modelo físico antropomórfico, conforme as concentrações de atividade de referência; (b) Posicionamento do modelo na câmara Philips FORTE para protocolos de aquisição com ^{99m}Tc -Sestamibi.



Figura 20: Modelo físico posicionado em equipamento de CT (Siemens) para aquisição de imagem para gerar mapa de correção de atenuação não uniforme.

Nas aquisições experimentais realizadas com a câmara no serviço de Medicina Nuclear B, dedicada a estudos cardiológicos, foi utilizado no momento da aquisição 953,12 MBq (25,76 mCi), com o modelo posicionado com a “cabeça” virada para o *gantry*. O colimador utilizado foi o LEHR e o tipo de órbita para a aquisição foi elíptica. Foram realizadas 64 projeções em um arco de 180° (45° oblíquo anterior direito - 45° oblíquo posterior esquerdo). A matriz utilizada na aquisição foi de 64×64 pixels para um pixel quadrado com tamanho de 6,4 mm e zoom 1. O tempo da projeção foi de 10 segundos considerando uma média de 150k contagens por projeção. Os eventos detectados foram selecionados dentro de uma janela de energia de 20% centrada em 140 keV quando realizadas aquisições com janela dupla (centrada em 106,5 keV - 30%). Para a realização de correções de

atenuação com fonte linear externa de Gadolínio (^{153}Ga) do sistema foram utilizadas janelas de 12% centradas em 118 keV para espalhamento da imagem de emissão e 20% centradas em 100 keV as janelas de transmissão e espalhamento (*down scatter*).

A Figura 21 ilustra as aquisições com correção de atenuação utilizando fonte de transmissão (^{153}Ga).



Figura 21: Modelo físico posicionado em equipamento SPECT com fonte de transmissão para mapa de atenuação não uniforme.

Nas aquisições experimentais realizadas com a câmara do serviço de Medicina Nuclear C, dedicada a estudos cardiológicos, foi utilizado no momento da aquisição 1295 MBq (35 mCi), com o modelo posicionado na altura do tórax onde o paciente fica posicionado na rotina. O colimador utilizado foi o LEHR e o tipo de órbita para a aquisição foi elíptica. Foram realizadas 64 projeções em um arco de 180° (45° oblíquo anterior direito - 45° oblíquo posterior esquerdo). A matriz utilizada na aquisição foi de 128 x 128 pixels para um tamanho de pixel de 4,8 mm e zoom 0,6. O tempo da projeção foi de 10 segundos, considerando uma média de 150k contagens por projeção. Os eventos detectados da emissão e transmissão foram selecionados dentro de janelas de energia de: 20% centrada em 140 keV. Procurou-se realizar aquisições com movimento voluntário do paciente movendo o modelo em primeiro momento em 0,5 cm em uma das projeções e em segundo momento 2 cm para avaliar o impacto na imagem e a correção do *software* em casos de movimento do paciente.

No total foram realizadas 12 aquisições para a disponibilidade de algumas variáveis para investigação dos usuários no ambiente. Os protocolos foram

realizados de acordo com referências de *guidelines* (disponíveis no ambiente em *Documentos>Artigos*) da área buscando proporcionar ao usuário imagens para a comparação em análises da qualidade destas imagens. Para todos os procedimentos foram tomadas medidas de proteção radiológica para estudos com materiais radioativos. Foram utilizados: jaleco, luvas descartáveis, dosímetro, plásticos para a proteção de superfícies e método do esfregão se necessário. Os supervisores de proteção radiológica participaram das aquisições em todos os serviços na prevenção de acidentes e exposições desnecessárias.

3.2.3 Banco de Imagens Simuladas

Ao longo do desenvolvimento do trabalho o programa de simulação GATE¹⁷ (*Geant4 Application for Tomographic Emission*) foi atualizado, exigindo novas validações do sistema SPECT.

Durante a primeira etapa do projeto foram realizadas diversas simulações buscando uma correspondência coerente entre o sistema de aquisições de imagens SPECT construído virtualmente e o sistema SPECT real (câmara gama FORTE *Philips*).

Segundo RODRIGUES (2006, p.17), o desempenho de uma câmara é caracterizado pelos seguintes parâmetros: resolução em energia, sensibilidade, resolução espacial, linearidade e uniformidade. Desde a geometria e a composição do detector de uma câmara SPECT até seus componentes podem influenciar em sua resposta e a forma como estão relacionados neste meio. A seguir estão descritas as etapas dos parâmetros de modelagem nas simulações do sistema de aquisição SPECT virtual.

¹⁷ <http://www.opengatecollaboration.org>

3.2.4 Simulações para Modelagem de Estudos SPECT

3.2.4.1 Parâmetros para a modelagem da geometria da câmara

Inicialmente, a geometria da câmara e seus componentes foram construídos, baseados nos dados do fabricante *Philips* (“FORTE system with *JETStream acquisition*”) e das respostas dos testes de aceitação do equipamento (BORGES, 2005). A geometria é inserida no que chamamos mundo de simulação. Este mundo de simulação é definido como um cubo em que podem ser adicionados volumes “filhos”, ou seja, geometrias que desejamos inserir neste cubo para simular uma situação real em aquisição de imagens médicas em MN. O mundo, neste caso, trata-se de um cubo de arestas de 100 cm composto por ar, a fim de representar uma sala de MN, na qual, são inseridos: equipamento, fonte radioativa, paciente, fenômenos físicos de emissão, transporte e detecção da radiação ionizante. A blindagem da cabeça foi construída conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Parâmetros da construção da blindagem da cabeça da câmara gama.

Blindagem da Cabeça	
Geometria	Caixa
Composição	Chumbo
Dimensões	X = 10,45 cm Y = 48,40 cm Z = 38,40 cm
Espessura	Ao redor = 0,4 mm Atrás = 0,3 mm

O colimador (tipo *foil*) foi construído conforme a

Tabela 2 baseado no colimador VXGP (propósito geral) utilizado em aplicações

clínicas com ^{99m}Tc .

Tabela 2: Parâmetros de construção do colimador VXGP.

Colimador VXGP	
Geometria	Colimador de furos paralelos (hexagonal)
Composição	Septa: Chumbo Buracos: Ar
Dimensões	Z = 38 cm Y = 48 cm
Altura do buraco	X = 4,20 cm
Raio interno buraco	0,089 cm
Espessura septal	0,0152 cm

O cristal cintilador de NaI(Tl) foi modelado conforme a

Tabela 3.

Tabela 3: Modelagem do cristal cintilador.

Cristal Cintilador	
Geometria	Caixa
Composição	Iodeto de Sódio NaI(Tl)
Dimensões	Z = 38 cm Y = 48 cm
Espessura	X = 0,95 cm
Eficiência	40000 fótons/MeV

O compartimento traseiro da câmara visa representar os tubos PMT's, a eletrônica associada ao sistema, assim como, o guia de luz na geometria do equipamento. Os parâmetros estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Modelagem do compartimento traseiro.

Compartimento traseiro	
Geometria	Caixa
Composição	Vidro ($2,5 \text{ g.cm}^{-1}$)
Dimensões	Z = 38 cm
	Y = 48 cm
Espessura	X = 5 cm

Na Figura 22 podemos observar a geometria da cabeça/detector como um todo, no mundo de simulação.

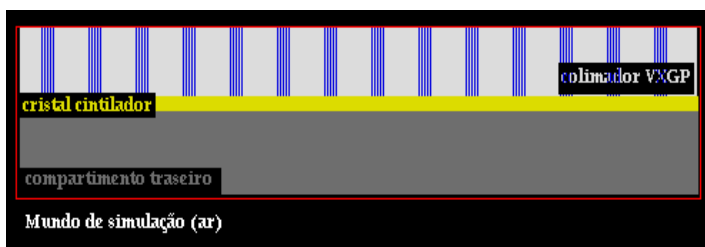


Figura 22: Geometria da cabeça/detector da câmara gama SPECT Forte Philips construída virtualmente (em vermelho, o contorno representando a blindagem).

3.2.4.2 Parâmetros para a modelagem do processamento do sinal

O processamento do sinal, realizado pelo módulo *digitizer* do GATE foi criado para representar a análise da resposta de detecção e seleção de fótons, de acordo com as seguintes características:

- Resolução energética:** A resolução energética reportada pelo fabricante e pelos testes de aceitação foi introduzida para que a máquina virtual apresentasse a mesma resposta em termos de *FWHM* para esta variável. A resolução energética do sistema é de 0,097, ou seja, a capacidade da câmara distinguir a energia entre os fótons que estão interagindo no detector é de 9,7%.

- b) Borramento gaussiano: Este borramento gaussiano é uma função matemática (gaussiana) que suaviza a distribuição de sinais detectados no cristal cintilador, a fim de representar o borramento na resolução espacial devido o detector. Através de análises empíricas (comparando o valor esperado com o simulado aumentando o borramento gradualmente), concluímos que este borramento é de 3,5 mm, ou seja, este é o desvio padrão a ser introduzido na gaussiana que suaviza a distribuição de eventos detectados pelo sistema.
- c) Janela de Energia: A janela de energia foi definida em 20%, baseada em estudos clínicos realísticos, na qual são aceitos os eventos de energia na faixa de (126 keV – 154 keV), baseada na energia principal do radionuclídeo utilizado ^{99m}Tc (140 keV).

Ainda é possível acrescentar dados como: *pile-up*, tempo morto do detector, dupla janela de energia, entre outros parâmetros que levam ao processamento de sinais. Vale a pena ressaltar que alguns dos parâmetros não foram introduzidos nas simulações por falta de dados do fabricante sobre o equipamento (composições dos materiais e respectivas dimensões que compõem a cabeça da câmara após o cristal). No entanto, a representação de um equipamento real é garantida quando se obtém a mesma resposta em relação às características principais da resposta de detecção do sistema (ASSIÉ, 2004).

As informações que podem ser obtidas deste processamento em relação aos dados do evento (fóton emitido pela fonte radioativa) são: energia, local de interação, fenômenos físicos que ocorreram no decorrer da trajetória e posição de interação, entre outros. Podem-se gerar as imagens cintilográficas simuladas a partir de tais informações em uma matriz que é especificada na saída com seu tamanho de pixel associado (*projections module*).

3.2.4.3 Parâmetros para modelagem de processos físicos

Estes parâmetros descrevem como as partículas emitidas pela fonte de radiação interagem com a matéria e como ocorre seu decaimento ao longo do tempo. Os parâmetros físicos foram modelados a fim de não produzirem efeitos secundários (partículas ou radiação secundária de baixa energia, elétrons, raios X e

delta, decorrentes de eventos que resultam da interação da radiação com a matéria do fóton principal). Esta simplificação foi realizada com o objetivo de minimizar os cálculos de Monte Carlo e acelerar o processo de simulação dos eventos. A radiação secundária é mais relevante em estudos de dosimetria interna, estudos de desempenho e geometria de detectores, entre outros, do que na análise de imagens, por isso, optamos desativar estes fenômenos.

Os fenômenos físicos utilizados são aqueles que descrevem a interação de fótons com a matéria: espalhamento Rayleigh, espalhamento Compton e efeito Fotoelétrico. As bibliotecas que descrevem estes fenômenos foram testadas, a fim de avaliar se a interação de fótons com a matéria corresponde às leis teóricas da física, a partir da análise sobre o coeficiente de atenuação mássico efetivo (Argenta et. al, 2010). Sendo assim, parte-se da ideia, que se tem um processo físico realístico, porém com fenômenos controlados na simulação de Monte Carlo que representam a situação da prática clínica.

3.2.4.4 Parâmetros para modelagem das fontes radioativas

Inicialmente, foram criadas fontes com geometrias equivalentes as utilizadas na rotina prática de controle de qualidade em equipamentos SPECT. Estas fontes podem ser chamadas de fontes padrão, pois são utilizadas para a análise de resposta da câmara dependendo do que se deseja analisar na imagem. De acordo com as características principais da câmara, foram construídas as fontes para que tais características fossem analisadas no sistema virtual buscando sempre uma relação o mais próximo possível do sistema real. A geometria das fontes foi construída baseando-se na publicação da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) TECDOC 602/S e NEMA NU - 1- 2001 que descrevem os materiais necessários e os procedimentos da realização do controle de qualidade de equipamentos em MN.

Na simulação, a fonte radioativa é construída a partir de alguns parâmetros a fim de caracterizá-la de acordo com: definição de geometria, composição do material da fonte, material radioativo de acordo com a energia principal ou espectro de energia de emissão do radionuclídeo, atividade da fonte, tempo de decaimento quando desejado, ângulo sólido de emissão, tipo de emissão (fótons ou partículas),

entre outros. Neste trabalho foram construídas as seguintes fontes: uma fonte *flood* (disco de vidro com água e material radioativo diluído), duas fontes lineares e uma fonte “pontual” (esfera). A seguir, são descritas as fontes, bem como suas características definidas no mundo de simulação.

- a) Fonte Flood: esta fonte se trata de um disco de vidro com 10 cm de diâmetro, na qual é introduzida a água com material radioativo diluído e com atividade conhecida. O propósito desta fonte é analisar a sensibilidade do sistema, ou seja, a relação da emissão de fótons da fonte radioativa e a detecção desses fótons pelo sistema de aquisição.
- b) Fontes Lineares: essas fontes tratam-se de dois capilares de vidro com 1 mm de diâmetro interno e 10 cm de comprimento, nas quais é inserido material radioativo. Os capilares são mantidos a uma distância conhecida entre si e sobre o campo de visão do detector com colimador. As fontes são utilizadas para a análise do tamanho de pixel e a resolução espacial do sistema.
- c) Fonte Esfera: foi criada para se aproximar da fonte pontual da prática para os testes de resolução espacial e sensibilidade com a variação da distância fonte-detector. Esta fonte foi criada baseada no diâmetro da seringa de insulina utilizada na confecção da fonte pontual da aquisição de imagens na prática (6,5 mm de diâmetro).

A seguir (Figura 23 e Figura 24), pode-se observar a geometria como um todo nas simulações das aquisições com tais fontes.

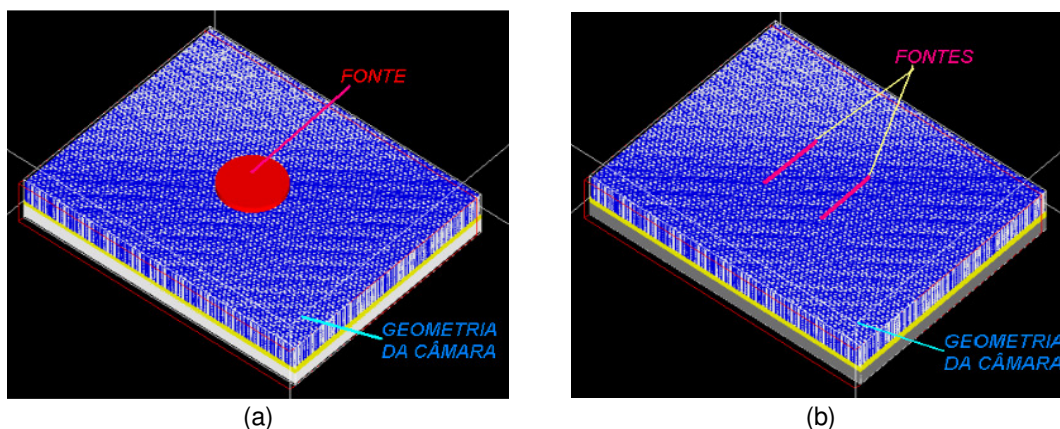


Figura 23: (a) Fonte *flood* na superfície do detector com colimador VXGP e, (b) fontes lineares na superfície do detector com colimador VXGP

Fonte: LAPIS, 2008.

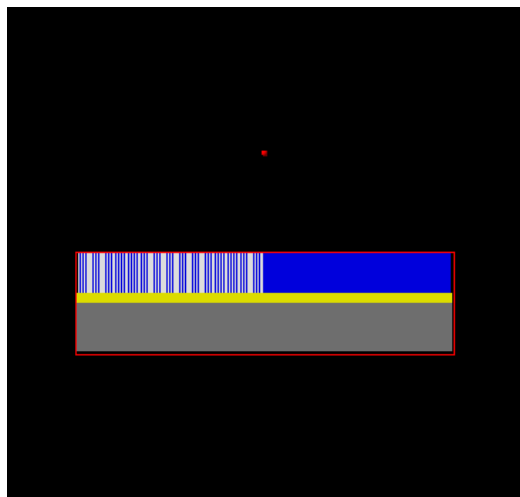


Figura 24: Fonte esfera (pontual da prática) utilizada para análise de sensibilidade e resolução espacial com a distância.

3.2.4.5 Protocolos realizados nas aquisições das imagens experimentais

Foram realizadas aquisições experimentais no equipamento FORTE *Philips* para validação das simulações: sensibilidade do sistema, resolução espacial e espectro de energia. Detalhes dos testes serão descritos a seguir.

Teste de Sensibilidade do Sistema

Na aquisição experimental, utilizou-se uma fonte de ^{99m}Tc , com atividade no momento da aquisição de 45,51 MBq (1,23 mCi), posicionada sobre o colimador VXGP, e centrada no UFOV, dentro de um recipiente cilíndrico, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 1 cm de altura. Os eventos detectados foram selecionados dentro de uma janela de energia de 126 - 140 keV (20% centrada em 140 keV). A matriz de aquisição foi definida em 256 x 256 pixels. O tempo da aquisição foi pré-determinado em 60s.

Foi feita uma aquisição do *background* (radiação de fundo) da sala, com os mesmos parâmetros da aquisição com a fonte radioativa, só que retirando a fonte da sala. O número de contagens foi determinado pela subtração do fundo (TECDOC et al, 1991; SORENSON, 2003).

Foram também realizadas, aquisições para a análise da sensibilidade do sistema com a variação da distância fonte-detector. Foi utilizada uma fonte pontual (6,5 mm de diâmetro na seringa de insulina de 1 ml de volume) que foi posicionada

no CFOV a quatro diferentes distâncias da cabeça da câmara: 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm. A fonte de ^{99m}Tc obtinha aproximadamente 37 MBq (1 mCi) de atividade no momento da aquisição e as imagens foram obtidas com uma matriz de 256×256 pixels, um tempo de aquisição de 60s e uma janela de energia de 20% centrada em 140 keV. Podemos ver a geometria desta aquisição, conforme a Figura 25.



Figura 25: Aquisição de fonte “pontual” posicionada a diferentes distâncias do colimador para o teste de sensibilidade do sistema com a variação da distância fonte-detector.

Teste de Resolução Espacial

Para calcular o valor de FWHM, tanto para a aquisição experimental quanto para a simulação, foi calculado, individualmente, o valor de FWHM para cada um dos três perfis sobre as fontes e foi determinada a média dos valores encontrados, com seus respectivos desvios padrão.

Na aquisição experimental, utilizaram-se duas fontes lineares de ^{99m}Tc , com atividade no momento da aquisição de 923,5 μCi (34,17 MBq) e 910,5 μCi (33,69 MBq), posicionada sobre o colimador VXGP, dentro de dois capilares, ambos com dimensões de 1 mm de diâmetro interno e 10 cm de altura, separados por uma distância de 10 cm. A matriz de aquisição foi de 1024×1024 pixels, dentro da janela de energia de 20% (126 - 154 keV). O tempo da aquisição foi em torno de 312 s e a aquisição acumulou 2 milhões de contagens.

Foi feita uma aquisição do *background* da sala, com os mesmos parâmetros da aquisição com as fontes radioativas, só que retirando as fontes da sala. O número de contagens detectadas foi determinado pela subtração do fundo (TECDOC et al, 1991).

Para o teste de resolução espacial do sistema foram realizadas aquisições com a mesma fonte pontual citada no teste de variação da sensibilidade do sistema, com a variação da distância fonte-detector. Porém, para a análise de resolução espacial do sistema com a variação da distância utilizou-se uma matriz de aquisição 1024×1024 pixels e acumularam-se 500 k contagens para cada uma das quatro distâncias entre fonte-detector: 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm. A geometria para essas aquisições é a mesma que representada na Figura 25.

Como a representação das PMT's e demais geometrias atrás do cristal e do sistema eletrônico foram substituídas por um compartimento traseiro que representa estes componentes segundo a literatura (ASSIÉ et al., 2004), os testes de uniformidade e linearidade, nesse caso não se aplicam, pois também dependem do ganho e resposta destes componentes (principalmente das PMT's). Assim, além dos testes de sensibilidade e resolução espacial, também procuramos avaliar o espectro gerado na detecção da câmara virtual comparando-o com a câmara real.

Espectro de Energia

A análise do espectro de interação da radiação proveniente do isótopo de interesse na aquisição com o detector, que possui um cintilador de NaI(Tl), é uma das mais importantes em validações de sistemas, pois acaba trazendo informações relevantes na aquisição de uma imagem. Através do espectro de energia, avaliam-se os fenômenos físicos de interação da radiação com a matéria (espalhamento Compton, raios X característicos, múltiplos espalhamentos, entre outras regiões do espectro, assim como, a região do fotopico). Pode-se também, baseando-se no espectro, selecionar os fenômenos de interesse na aquisição de uma imagem em SPECT.

O equipamento modelado (FORTE *Philips*) não possibilita o acesso direto à imagem do espectro de energia, nem a informação ponto a ponto deste diretamente. Normalmente, o espectro de energia de alguns equipamentos de MN está disposto durante a aquisição somente na tela do comando, sem que possamos extrair dados diretamente deste a não ser visualmente.

Para adquirirmos tais informações, foram realizadas aquisições ponto a ponto com uma fonte "pontual" de atividade de 37 MBq (1 mCi) de ^{99m}Tc , à 10 cm do

detector com o colimador de propósito geral (VXGP). Foram adquiridas as contagens no intervalo de (40 – 160) keV variando de 5 em 5 keV por ponto. A matriz utilizada foi de 256 x 256 pixels e um tempo de 3 minutos por ponto, cada pico de energia selecionado, em uma janela de energia de 1% centrada no ponto para detectar as contagens. Após a coleta de dados experimentais, o mesmo foi repetido na simulação de MC para compararmos os dois espectros.

3.2.4.6 Análise empregada nas imagens experimentais e simuladas

Foram realizadas análises tanto das imagens experimentais adquiridas com o equipamento Philips FORTE, quanto para as imagens de simulação a fim de compará-las para a validação das simulações. Detalhes da análise serão descritos a seguir.

Análise da Sensibilidade do Sistema

As imagens foram manipuladas no *software* ImageJ¹⁸ de domínio público. Com a imagem resultante da subtração da imagem de aquisição da sensibilidade e do *background*, tem-se a representação das contagens totais, resultante somente da emissão da fonte de interesse no caso experimental. Foi delimitada a região de interesse nesta imagem (ROI) e calculado o número total de contagens. O mesmo foi realizado na imagem de simulação, porém, não há neste caso, imagem de *background*.

As contagens totais destas regiões foram introduzidas na Equação 3 para o cálculo da Sensibilidade (S).

$$S(\text{contg.}Bq\text{s}^{-1}) = \frac{\text{contagens}_{\text{imagem}}}{\text{atividade}(Bq).\text{tempo}(s)} \quad \text{Equação 3}$$

Os dados adicionais da aquisição também foram inseridos nesta equação (tempo de 60s e atividade de 45,51 MBq), onde podemos comparar este resultado com os dados do fabricante e os resultados da aquisição experimental em relação aos dados de simulação com seus respectivos desvios padrão e erro percentual (%).

Um perfil em regiões de interesse nas imagens também pode ser traçado

¹⁸ <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

para uma comparação dos valores de contagem dessas imagens pixel a pixel (análises para as aquisições com a fonte *flood*).

Para a análise da sensibilidade do sistema em relação às variações da distância fonte-detector para o colimador VXGP, foram definidas ROI's de 16×16 pixels, centradas nas imagens, tanto para as imagens experimentais, quanto para as de simulação. Um gráfico pode ser utilizado para a análise da sensibilidade com a variação da distância fonte – detector, comparando as aquisições experimentais e simuladas ponto a ponto.

Quando necessário, pode-se estabelecer uma maior aproximação entre os valores de sensibilidade da câmara de simulação e da câmara experimental, através do cálculo de um fator de correção para a “eficiência de contagem” do equipamento simulado através da razão entre o valor das contagens medidas experimentalmente e o valor das contagens encontradas na simulação. A Equação 4 mostra o cálculo que pode ser realizado:

$$Eff = \frac{N_{exp}}{N_{sim}} \quad \text{Equação 4}$$

onde N_{exp} é o número de contagens obtidas experimentalmente e N_{sim} é o número de contagens obtidas na simulação.

Resolução Espacial do Sistema

A partir das imagens dos capilares, foram traçados três perfis sobre as fontes nas imagens nas regiões do centro e extremidades (superior e inferior). Os perfis foram representados em gráficos de contagens \times pixel da imagem com o programa ImageJ. A partir destes perfis, os dados dos pontos dos gráficos foram introduzidos no programa *Origin 7.0* para ajustes com função gaussiana. Os passos podem ser visualizados na Figura 26 e na Figura 27.

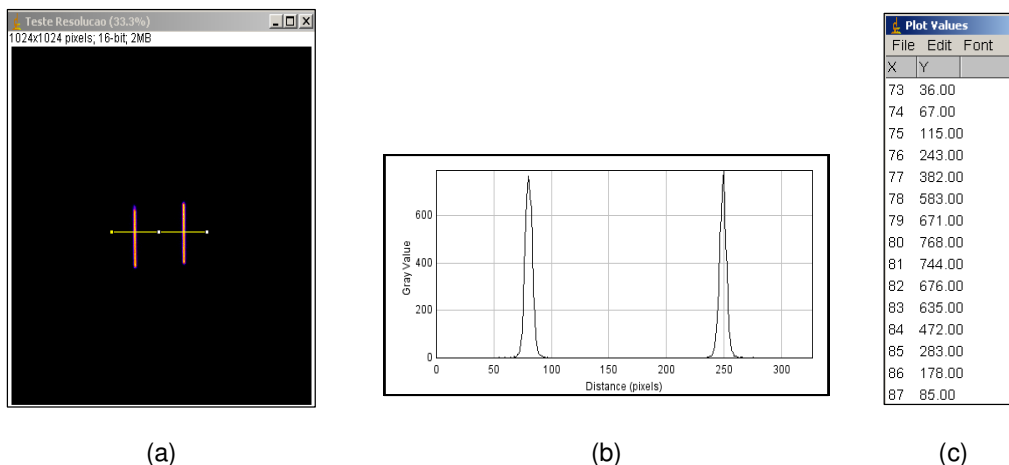


Figura 26: (a) Imagem do perfil traçado sobre as fontes lineares para análise do teste de resolução espacial do sistema, (b) gráfico do perfil traçado sobre as fontes lineares na imagem (a); (c) pontos de referência dos eixos (x;y) do gráfico de (b).

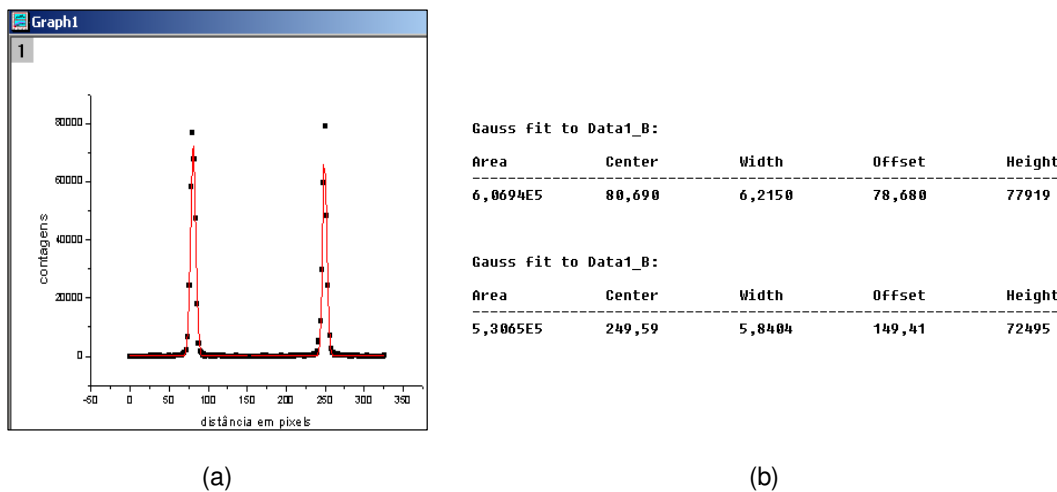


Figura 27: (a) Imagem do gráfico realizado na Figura 26 (b) com ajuste de uma gaussiana no programa *Origin 7.0*, (b) dados do ajuste da gaussiana do gráfico na figura (a).

Com estas informações sobre a imagem, pode-se calcular a resolução espacial média com desvio padrão dos três perfis do sistema pela Equação 5.

$$FWHM = 2,35 \times \sigma$$

Equação 5

Onde é inserida a média dos desvios padrão dados pelas curvas das gaussianas da Figura 27 (a). Pode-se calcular o tamanho do pixel, já que a distância real (D_{real}) de afastamento da fonte era conhecida. Essa distância pode ser determinada através da avaliação da distância entre os centros das gaussianas

(D_{imagem}), conforme ilustra a Figura 27 (b). Fazendo-se D_{real} dividido por D_{imagem} , em pixel, tem-se o tamanho do pixel na imagem. Cabe ressaltar que, na prática, essas aquisições são realizadas nos dois eixos, para constatar a não significância dos desvios medidos nas dimensões x e y tanto do tamanho do pixel quanto da resolução espacial do sistema SPECT. Dessa forma, possibilita-se a utilização desse sistema para as aquisições de imagens com qualidade diagnóstica em cintilografia. Partindo-se desse pressuposto de que o pixel da imagem é quadrado, não se faz necessária a realização da simulação de tamanho de pixel nos dois eixos. Isso acontece porque em simulação computacional o sistema é controlado e a matriz de imagem é ideal, assim a programação para o tamanho de pixel e a resolução espacial não diferem entre si no sistema de coordenadas (x,y). Na simulação foi realizada a aquisição em um eixo, não sendo realizada a aquisição das contagens de fundo. Para a realização da análise foram utilizados os programas ImageJ (para traçar o “plot profile” e avaliar o valor de intensidade de sinal por pixel) e *Origin 7.0* (para traçar o ajuste gaussiano e medir o desvio padrão da curva de Gauss).

Espectro de Energia

Os dados experimentais e de simulação foram avaliados no programa *Origin 7.0*, e histogramas normalizados pelas contagens máximas por Energia foram plotados para a análise ponto a ponto entre os espectros.

3.2.4.7 Parâmetros para a modelagem do paciente virtual em estudos SPECT

Neste trabalho, o modelo NCAT 4D, descrito na subseção 2.3.1, foi utilizado para a modelagem de estudos cardíacos em SPECT. O paciente virtual com captação cardíaca normal teve o modelo de biodistribuição definido a partir de dois estudos disponíveis na bibliografia, realizados por Segars e Tsui (2001) e também por Funk e colaboradores (2005).

A modelagem realizada não fornece movimentos de respiração e batimentos cardíacos simplificando a aplicação. Para a simulação deste tipo de movimento são criados modelos virtuais para cada condição de movimento (cardíaco e respiratório), ou ainda é criado um modelo com a média do movimento. Ambas as formas de desenvolver estes modelos acarretam em um maior número de simulações (uma

simulação para cada movimento/modelo de movimento cardíaco/respiratório) e problemas quanto ao valor do pixel na atribuição de atividade (movimento médio do modelo). Portanto, foi decidido inicialmente disponibilizar um modelo mais simplificado, no qual não são apresentados os movimentos e com biodistribuição normal, possibilitando a simulação de estudos com variações de parâmetros de aquisição e reconstrução de imagens em primeiro momento.

Futuramente, novos modelos antropomórficos e variações na biodistribuição (com e sem patologias/movimentos) poderão ser adicionados ao ambiente colaborativo em MN.

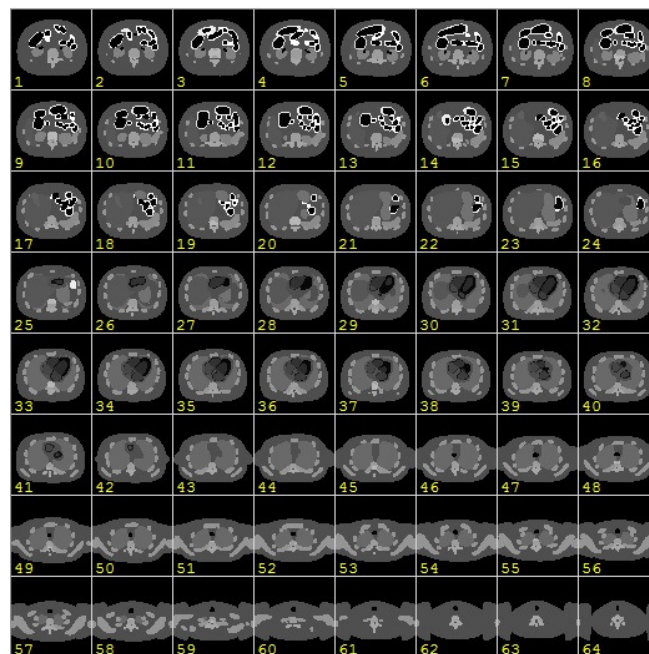


Figura 28: Cortes no plano axial do modelo NCAT na região do tórax, imagem (representando valores de atenuação) utilizada para modelar estudos do miocárdio no programa GATE de simulação MC.

O modelo NCAT utilizado neste trabalho foi modelado com uma matriz de 64×64 pixels e possui 64 cortes para um tamanho de pixel de 0,625 cm representado por um cubo de $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ (Figura 28). A atividade inserida no primeiro modelo de biodistribuição definido por Segars e Tsui em 2001 (Figura 29) possui um total de 291,56 MBq (7,88 mCi) representando uma atividade para estudos de repouso em protocolos de um dia com $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ (HOLLY et al, 2010). Outro modelo de biodistribuição também foi atribuído ao modelo, segundo as concentrações de atividade nos estudos de Funk e colaboradores em 2005 nas mesmas regiões de “captação”.

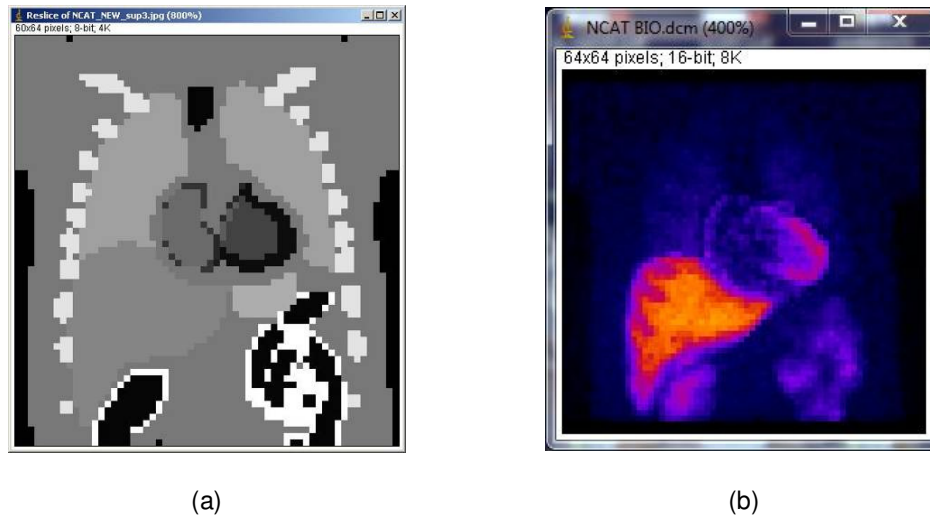


Figura 29: (a) Imagem do modelo NCAT confeccionado para este trabalho em um corte coronal evidenciando a região do miocárdio e (b) Imagem de aquisição simulada do modelo NCAT em uma projeção anterior do modelo no GATE_v5.

O desenvolvimento da modelagem da câmara SPECT e disponibilidade de seus *scripts* de simulação juntamente com o modelo NCAT (modelagem e biodistribuição) encontram-se disponíveis para a aplicação no ambiente colaborativo.

O ambiente de simulações, ainda em protótipo neste trabalho, pretende disponibilizar ao usuário uma forma amigável de promover as simulações de Monte Carlo. Futuramente poderão ser adicionados ao ambiente, outros sistemas de aquisições de imagens e demais modelos antropomórficos. O sistema de aquisição em SPECT e o modelo antropomórfico NCAT modelados neste trabalho encontram-se acoplados nos *scripts* de MC do programa GATE versão 5 e estão disponíveis para a integração no ambiente colaborativo em MN.

Ainda estão em desenvolvimento os *scripts* da programação que liga as opções de seleção do usuário para as simulações de MC no ambiente à execução e processamento nos *clusters* de Alto Desempenho do LAD-PUCRS e retorno de resultados ao ambiente colaborativo (banco de imagens simuladas). Na seção a seguir é descrita a funcionalidade de submissão de simulações facilitadas através do ambiente colaborativo em MN.

3.2.5 Protótipo para Submissão de Simulações MC

Devido à complexidade na confecção de *scripts* de simulação e da

familiarização com os programas de simulação que empregam o método Monte Carlo, atualmente disponíveis aos usuários, foi desenvolvido um ambiente facilitado para gerar imagens simuladas através do ambiente colaborativo em MN. Concomitantemente, o ambiente aciona os equipamentos de alto desempenho do LAD-PUCRS, promovendo as simulações em paralelo, o que aumenta a eficiência de simulação processando-as em tempo viável para o usuário final. O objetivo deste protótipo é propiciar uma interface amigável para a realização futura de simulações com diferentes parâmetros de aquisição, equipamentos, pacientes/modelos de forma flexível para os grupos de MN que interagem no ambiente. Além disso, um banco adicional de imagens simuladas pode ser desenvolvido proporcionando um maior número de possibilidades de análise e discussão no ambiente através destas imagens simuladas.

Nas seções apresentadas até o momento foram descritos o desenvolvimento do ambiente, bem como os materiais/funcionalidades necessários para a inclusão no ambiente colaborativo. A seguir, serão descritas a metodologia de seleção da amostra do teste piloto de interação para a validação deste ambiente, bem como a análise do ambiente colaborativo em MN através da interação e opinião dos usuários.

3.3 Amostra

A amostra dos usuários para a validação do ambiente foi recrutada intencionalmente através de convite nos principais serviços de Medicina Nuclear de Porto Alegre, devido ao perfil dos usuários para a interação no ambiente colaborativo. Sendo assim, o usuário da amostra devia corresponder em geral ao seguinte perfil:

- a) Ser físico médico ou médico nuclear atuante na área com experiência;
- b) Estar familiarizado com as tecnologias que envolvem a análise e o processamento de imagens médicas em Medicina Nuclear;
- c) Concordar com o uso da tecnologia virtual para apoio a formação;
- d) Dispor de um acesso à internet através de banda larga.

Os usuários foram convidados a participar do experimento de interação através de apresentação presencial do pesquisador principal do projeto nos serviços de Medicina Nuclear de Porto Alegre. Estes serviços estão representados no ambiente colaborativo em (*Menu>Projeto>Parceiros*). Além destes, foram convidados participantes atuantes em serviços distantes (um físico médico residente em Fortaleza e dois médicos nucleares resididos, um em Salvador e outro no Rio de Janeiro), pois se tratando de um ambiente virtual colaborativo, a interação e acesso não podem ser impossibilitados pelo limite geográfico. A comunicação com os usuários foi realizada através de e-mails e programas com *chat online*, além de contato pessoal através de visita aos serviços locais. Neste caso, ocorreram explicações adicionais ao projeto e demonstrações da interface que estava sendo desenvolvida.

Os usuários que aceitaram o convite preencheram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido se comprometendo a realizar o teste de interação no protótipo (APÊNDICE B). Foi realizado um teste piloto com 10 físicos médicos e 5 médicos nucleares que aceitaram o convite para a proposta de validação do ambiente. Inicialmente os usuários preencheram um perfil de cadastro no ambiente, onde foram obtidas as informações quanto às variáveis pessoais, profissionais e adicionais dos candidatos a usuários. Ao final da interação, os usuários preencheram um questionário semi-estruturado procurando esclarecer aquilo que entendiam como relevante no ambiente e o que sugeriam para a melhoria da proposta, de acordo com as funcionalidades, qualidade de material disponível e acesso, entre outros aspectos.

A amostra é pequena, pois o ambiente proposto em estudo de nível piloto exige pré-requisitos significativos do usuário para a validação da proposta. O sujeito da pesquisa deve ser um profissional qualificado e reconhecido no mercado nesta área. Normalmente tratam-se de chefes de serviços ou profissionais atuantes na área prática clínica, em empresas de fabricantes dos equipamentos de MN e em pesquisas da área de interesse. Outro pré-requisito está na necessidade de *hardware* adequado e conexão *web* de banda larga, pois ao trabalharmos com imagens médicas é um aspecto fundamental para a adequação do usuário ao ambiente proposto.

3.4 Moderação

A moderação foi dividida entre os usuários de física médica e os médicos nucleares. Portanto, o ambiente trabalhou com dois moderadores experientes na área de Medicina Nuclear e atuantes na formação acadêmica (moderador de Física Médica) e prática clínica (moderador de Médicos Nucleares). Ambos moderadores fizeram parte da equipe de trabalho vinculado ao projeto FRIDA. Não foi desenvolvido programa de capacitação para os moderadores sobre sua atuação em ambientes virtuais colaborativos. Não se obteve tempo viável para o planejamento desta proposta nessa pesquisa.

3.5 Testes para a Validação das Ferramentas

Os primeiros testes realizados referiram-se a testes da interface. Realizaram-se testes para o cadastro de usuários no ambiente e alguns testes para o acesso e validação do questionário de avaliação. Foram recrutados 15 sujeitos para validarem o acesso e o questionário, que não estão relacionados com a amostra de teste final para a validação do ambiente colaborativo em MN. Alguns problemas de interface foram reportados e corrigidos durante os testes.

O questionário foi elaborado pela autora, revisado por especialistas e implementado pela equipe de informática no Google DocsTM (acesso no ambiente demonstrado na Figura 30), no intuito de coletar informações quanto às funcionalidades disponibilizadas, a qualidade do ambiente, críticas e sugestões dos usuários.



Figura 30: Acesso ao questionário de avaliação do ambiente na interface de entrada (*home*) do ambiente colaborativo em MN (quadrado vermelho em destaque na figura).

O questionário foi revisado por especialistas, sendo um da área de EAD e outro da Medicina Nuclear. Após esta revisão, o questionário foi submetido aos 15 participantes (os sujeitos não faziam parte da amostra de validação final do ambiente). As perguntas foram reformuladas para uma melhor compreensão na aplicação da ferramenta em relação às questões levantadas neste primeiro teste. Após a reformulação, os usuários o preencheram novamente, referindo-se à clareza, fácil interpretação e facilidade no preenchimento do questionário, relatando sua extensão adequada e clareza em relação às perguntas realizadas. Ao final, o questionário foi analisado novamente pelo especialista de MN, antes de ser submetido à amostra oficial no teste de validação.

3.6 Teste para a Validação do Ambiente Colaborativo em MN

Foi realizado um teste piloto com 15 usuários cadastrados no ambiente (10 físicos médicos e 5 médicos nucleares) que aceitaram o convite para a proposta de validação do ambiente. Inicialmente os usuários preencheram um questionário/perfil de cadastro do ambiente, na qual foram obtidas as informações quanto às variáveis pessoais, profissionais e adicionais dos candidatos a usuários. Em seguida os usuários recebiam a senha enviada pelo sistema (que podia ser alterada no ambiente após o *login* com a senha inicial). Também estavam discriminadas no e-mail as datas de início do teste de interação. Avisos periódicos eram enviados pelo

administrador para recordar os participantes sobre a realização do teste. Ao final da interação, os usuários preencheram um questionário semi-estruturado (escala *likert* com quatro possibilidades na parte fechada), procurando avaliar aquilo que consideravam relevante no ambiente e o que sugeriam para a melhoria da proposta de acordo com as funcionalidades, qualidade de material disponível e acesso, entre outros aspectos. O questionário utilizou a escala *likert* com apenas quatro possibilidades, pois o usuário deveria se posicionar perante a pergunta realizada, não fornecendo opiniões neutras na análise. Após cada bloco de perguntas fechadas, o usuário podia sugerir ou criticar o ambiente através de “espaços” abertos no questionário. Duas perguntas foram elaboradas no final do questionário, em relação às possibilidades de usar o ambiente no treinamento de equipes nos serviços de MN e para a capacitação continuada de profissionais. Ao final, um “espaço” aberto foi disponibilizado para críticas e sugestões adicionais do usuário.

O teste de interação foi realizado durante um mês contando com a análise de opinião, através de questionário aplicado ao final das interações.

Estatísticas de acesso dos usuários e mapa de clicagem foram armazenados no banco estatístico do ambiente colaborativo (funcionalidades do Moodle). Estes dados foram acessados ao final da interação na busca da compreensão sobre os caminhos percorridos pelos usuários, seus números de *Posts* no ambiente (intervenções nos fóruns de discussão), interação através do número de *Hits* (mapa de clicagem), locais de maior acesso, entre outras possibilidades disponíveis.

Algumas mensagens eram enviadas pelo administrador do ambiente no intuito de esclarecer as formas de interação e a possibilidade de adição de tópicos durante o teste de interação. Além disso, toda vez que ocorria a inserção de novos materiais, *posts* na discussão, entre outras intervenções no ambiente colaborativo, todos os usuários eram informados através de e-mails no final do dia com um resumo ou a cada intervenção no ambiente (usuários podiam optar por esta funcionalidade, ativando ou desativando, assim como definindo o tipo de aviso).

Concomitantemente, foi criado um fórum para os usuários inserirem suas dúvidas ou perguntas em relação ao ambiente ou contatarem a equipe de pesquisa diretamente através do ambiente colaborativo.

3.7 Análises Empregadas após o Teste de Interação

Após os testes de interação, algumas variáveis foram utilizadas na análise de dados sobre o perfil dos usuários (área de atuação, sexo, idade, formação, pós - graduação, tempo de graduação e pós - graduação, tempo no cargo ou função atual), variáveis de acesso (números de *Hits* e *Posts* no ambiente) durante o teste de interação e variáveis coletadas através do questionário na parte fechada (escala *likert*). Primeiramente foram realizadas estatísticas descritivas da amostra do teste e o questionário possibilitou a realização de análise sobre as variáveis categóricas (gráficos de avaliação).

As pesquisas no âmbito de formação e da opinião de sujeitos (parte aberta do questionário) utilizam cada vez mais abordagens qualitativas através de análises textuais, partindo de textos existentes ou produzindo o material de análise a partir de entrevistas, questionários abertos (como foi em parte realizado nesta pesquisa) e observações. Este tipo de análise qualitativa tem como objetivo, aprofundar a compreensão dos fenômenos que o pesquisador investiga com critérios rigorosos ao tipo de informação a ser analisada. Não pretende testar hipóteses para comprová-las ou refutá-las diretamente ao final da pesquisa. Neste caso, a intenção é a compreensão e reconstrução dos conhecimentos existentes sobre os temas investigados. Os resultados da análise dependem tanto dos autores dos textos analisados, sujeitos desta pesquisa, quanto da própria forma de análise do pesquisador.

A análise textual discursiva, utilizada neste trabalho, segundo Moraes e Galiazzi (2007), é normalmente realizada em quatro passos:

- 1- Processo de Unitarização – Nesta fase os textos são examinados em seus detalhes e fragmentados (desconstrução dos textos) no intuito de atingirem-se unidades constituintes, referenciadas aos fenômenos de análise. O processo de unitarização não necessita prender-se ao explícito nos textos exclusivamente. Podem ser construídas unidades que se afastam do explícito, correspondendo a interpretações do próprio pesquisador, atingindo sentidos implícitos dos textos de análise.

Processo de Categorização – Nesta fase são construídas relações entre as unidades de base da unitarização, combinando-as e classificando-as, formando conjuntos próximos, resultando em sistemas de categorias.

- 2- O método dedutivo de análise implica em construir categorias antes mesmo de analisar o texto ou “corpus”. As categorias podem ser deduzidas a partir dos objetivos da pesquisa, construindo-se assim as categorias *a priori*. Já no método indutivo, implica-se construir categorias através das unidades de análise que partiram do “corpus”. Neste caso, o pesquisador organiza conjuntos de elementos semelhantes, geralmente com base em seu conhecimento, formando as categorias emergentes. Ambos os métodos podem ser utilizados combinados em uma análise, sendo um processo de análise misto, onde o pesquisador parte de categorias *a priori*, escolhidas previamente e encaminha-se para categorias emergentes gradativamente ao analisar o “corpus”.
- 3- Processo de Emergência do Novo – Nesta fase ocorre uma impregnação nos materiais de análise a partir dos processos anteriores possibilitando a emergência de uma nova compreensão do todo. Deste processo emergem as novas compreensões, onde os resultados finais não são previstos. Sendo assim, a impregnação nos materiais de análise é essencial para a concretização de uma nova compreensão.
- 4- Processo Auto-Organizado – A nova compreensão é reportada através de um metatexto, onde o autor explicita o novo emergente proveniente de sua análise. A análise textual discursiva visa construir metatextos analíticos que expressam os sentidos lidos num conjunto de textos. Sua estrutura textual é construída por meio de categorias e subcategorias resultantes da análise. Os metatextos são constituídos de descrição e interpretação, representando um modo de teorização¹⁹ sobre os fenômenos investigados. Sua qualidade não

¹⁹ Segundo o Dicionário Aurélio, **Teorizar** é Expor teorias sobre. / Emitir sobre um assunto julgamentos enunciados em forma teórica; reduzir a teorias: o que sobrevive não são as teorias, mas as realidades que teorizamos. <http://www.dicionariodoaurelio.com/Teorizar>. Acesso em 12/12/2010.

depende somente de sua validade e confiabilidade, também é consequência do pesquisador assumir-se autor de seus argumentos.

Esta abordagem de análise possui um ciclo de operações iniciado pela unitarização dos materiais do “corpus”, movendo-se para a categorização das unidades de análise. Na impregnação atingida neste processo, podem emergir novas compreensões, aprendizagens, que são constituídas através da auto-organização (MORAES e GALIAZZI, 2007). A explicitação do novo se dá em forma de metatextos, em que a qualidade e originalidade são dadas em função do envolvimento do autor com os materiais de análise. Este processo é fortemente dependente dos pressupostos teóricos e epistemológicos²⁰ assumidos pelo autor ao decorrer de sua pesquisa.

A Análise de Conteúdo procura investir tanto em descrição como em interpretação, envolvendo assim, as categorias construídas no processo de análise. Para a análise de conteúdo a interpretação constitui-se num afastar-se da descrição, num exercício de abstração e teorização sobre o analisado textual.

No que se refere à análise textual discursiva, em sentido amplo, ela se aproxima da análise de conteúdo, com sua interpretação tendendo para a construção ou reconstrução teórica, uma visão hermenêutica, reconstruindo significados a partir da diversidade dos sujeitos envolvidos na pesquisa (MORAES e GALIAZZI, 2007).

A análise de conteúdo visa a compreensão que geralmente provém de dentro do fenômeno, assim emerge ou é construída através de exames empíricos do fenômeno estudado (MORAES e GALIAZZI, 2007).

Enquanto que a análise de conteúdo é pretensamente objetiva, limitando-se ao manifesto (informações explícitas), ela pode ampliar-se gradativamente incluindo o não dito, o subentendido (informações implícitas).

A análise de conteúdo, portanto pode assumir tanto teorias *a priori*, quanto teorias emergentes. Numa abordagem também quantitativa, como neste caso, a teoria serve para a dedução das hipóteses ou na interpretação dos resultados

²⁰ Segundo o Dicionário Aurélio, **Epistemologia** é Estudo das ciências, no que cada uma, e o seu conjunto, têm por objeto apreciar seu valor para o espírito humano; teoria do conhecimento. <http://www.dicionariodoaurelio.com/Epistemologia>. Acesso em 12/12/2010.

obtidos na análise. Já quando se trabalha com categorias emergentes, elas são radicalmente qualitativas, visando de forma geral compreender os fenômenos investigados a partir da explicitação de teorias construídas com base nas próprias informações reunidas dos fenômenos. Assim a análise de conteúdo, que é utilizada neste trabalho, se aproxima muito da análise textual discursiva descrita anteriormente.

Neste trabalho, a análise foi realizada em relação à estatística descritiva da amostra e tratamento dos dados de categorias da parte fechada do questionário de análise, contrastando a análise de conteúdo e sua fronteira com a análise textual discursiva. Procurou-se avaliar as questões abertas do questionário trabalhando com as categorias de modo misto, tanto *a priori*, provenientes dos objetivos da pesquisa e da bagagem teórica e epistemológica em relação à proposta deste trabalho, quanto emergentes ao analisar as questões abertas sobre as opiniões dos usuários. Também foram contrastados, os dados evidenciados pelas categorias da parte fechada do questionário e a análise de conteúdo com fronteiras na análise textual discursiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados e discussão da pesquisa, no intuito de validar o Ambiente Colaborativo em MN.

4.1 Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear

O Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear (Figura 31) desenvolvido está hospedado no Laboratório de Alto Desempenho da PUCRS (LAD²¹ - PUCRS) e pode ser acessado pelo endereço <http://marfim.lad.pucrs.br:58080/moodle/>.

O ambiente foi desenvolvido no *Moodle* (descrito na seção 3.2) e encontra-se em uma Máquina Virtual (MV ou *Virtual-Machine*) que contém todos os dados e arquivos da pesquisa. Esta MV está instalada em um *cluster* de alto desempenho (acesso à configuração dos *clusters* disponíveis no LAD²²). O acesso externo de usuários ao ambiente é possibilitado devido à liberação das portas do *apache*²³ da MV e o sistema operacional utilizado é o *Ubuntu 9.10*.²⁴

²¹ <http://www.pucrs.br/ideia/lad/?p=oquee>

²² <http://www.pucrs.br/ideia/lad/?p=hardware>

²³ <http://httpd.apache.org/docs-2.0/vhosts/>

²⁴ <http://www.ubuntu.com/>

Figura 31: *Home* do Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear. Distribuição dos conteúdos em categorias no ambiente: (a) Cursos, acessa os temas de discussão e aparece à esquerda da página; (b) Imagens acessa os diversos bancos de imagens e aparece na barra do Menu; (c) Documentos, acessa diversos tipos de materiais de apoio e aparece na barra do Menu; (d) Simulações, acessa o módulo de submissão de simulação;

4.1.1 Funcionalidades do Ambiente Colaborativo

Baseando-se na teoria socioconstrutivista empregada em ambientes colaborativos, cuja característica permeia a construção do ambiente através da colaboração entre usuários e sua interação social, procurou-se disponibilizar inicialmente categorias principais de materiais no ambiente.

O ambiente está dividido em categorias no Menu principal (Figura 31), entre estas estão: Projeto, Imagens, Documentos, Simulação e Contato. Na barra à esquerda estão as categorias de Curso, onde encontram-se divididas em: Estudos de Casos, Aquisições de Imagens, Processamento de Imagens e Correções nas Imagens. Estas categorias estão subdivididas em tópicos que trazem os temas e questões de discussão, utilizando os fóruns e materiais de apoio que podem ser acessados através de *links* nos tópicos.

As categorias da barra Menu estão descritas a seguir:

- Projeto: Nesta categoria o usuário encontra dados sobre a equipe, parceiros e relatórios pertinentes ao projeto.

- **Imagens:** Nesta categoria o usuário interage com os bancos de imagens clínicas, experimentais e simuladas.
- **Documentos:** Nesta categoria o usuário acessa artigos, materiais de apoio, dissertações e teses, e trabalhos em eventos.
- **Simulação (protótipo):** Nesta categoria o usuário pode interagir com a interface de submissão facilitada de simulações pelo método Monte Carlo processando-as no *cluster* do LAD.
- **Contato:** Nesta categoria o usuário tem acesso ao e-mail de contato da equipe e fórum para discussão de dúvidas sobre o site.

Nas categorias do Menu, se destacam, as Imagens e Documentos, visto que subsidiam os usuários em termos de materiais de apoio e imagens para visualização e processamento no ambiente colaborativo. Ainda é possível adicionar materiais e imagens nestes bancos por parte de usuários e moderadores. A Simulação, ainda em protótipo, futuramente desempenhará papel inestimável na possibilidade de realizar testes virtuais para estudos em MN de forma facilitada e eficiente através de processamento em paralelo.

Na barra à esquerda do ambiente, estão disponibilizadas as categorias de curso, onde estão divididas em:

- **Estudos de Casos:** Nesta categoria o usuário acessa tópicos de casos clínicos, com breve história do paciente, de seu estudo e as respectivas imagens para discussão em relação ao diagnóstico e considerações médicas perante a prática clínica em MN.
- **Aquisição de Imagens:** Nesta categoria o usuário acessa tópicos em relação à aquisição de imagens em MN, podendo discutir os diversos parâmetros de aquisição sugeridos para a prática clínica.
- **Processamento de Imagens:** Nesta categoria o usuário acessa tópicos em relação ao emprego de métodos de reconstrução de imagens, algoritmos de processamento, filtros e parâmetros associados ao processamento de imagens em MN.
- **Correções nas Imagens:** Nesta categoria o usuário acessa tópicos em relação aos métodos de correção e seu emprego sobre as imagens de MN.

Em todos os tópicos das categorias citados anteriormente, estão habilitados os fóruns de discussão, nos quais os usuários podem debater os temas em forma de pergunta em cada tópico. Juntamente com o fórum, os moderadores e usuários podem utilizar os bancos de imagens e documentação para apoio nas discussões, ou ainda incluírem materiais e questões novas no ambiente.

Na Figura 32 está um exemplo de curso na categoria Estudo de Casos, no qual foi utilizado o exame de perfusão do miocárdio como estudo base.

O curso de Estudos de Caso foi criado no intuito de promover ao usuário médico acesso a casos clínicos da rotina de MN. O usuário também poderá acrescentar casos novos ao ambiente. Esta iniciativa está baseada nas experiências de residência médica. Os tópicos de aquisição, processamento e correções aplicadas às imagens estão disponibilizados no intuito de promover discussões entre grupos de MN, a fim de possibilitar a troca de opiniões e a busca por padrões de excelência na rotina clínica. Destacamos que os tópicos de discussão, normalmente são abordados em periódicos reconhecidos na área e *guidelines*, sem que haja uma opinião heterogênea ou consenso sobre determinadas questões aplicadas à rotina da MN.

The screenshot shows a web application interface for a course. The top navigation bar includes 'Projeto', 'Imagens', 'Documentos', 'Simulações', and 'Contato', along with the date 'Saturday 06 November 2010'. The main content area is titled 'Projeto Nimed > perfusão' and features a 'Return to my normal role' button. The left sidebar contains a 'Courses' menu with 'Estudos de Casos' selected, and a 'Search Forums' section. The main content area displays the 'Topic outline' for 'Perfusão do Miocárdio', which includes a description of the space, a list of related cases, and a detailed clinical case titled '1 Caso 1'. The case description includes patient data and study details. The right sidebar shows 'Recent Activity' and 'Activities' sections.

Figura 32: Tópico de estudo de perfusão do miocárdio que está localizado na categoria de cursos (Estudos de Casos) no ambiente. O tópico traz um caso clínico de um paciente real da rotina clínica e apresenta imagens do banco e fórum para discussão dos usuários e moderador.

Os materiais de apoio foram confeccionados pela autora procurando disponibilizar assuntos relacionados aos conceitos básicos de MN e em português, visto que as referências em sua maioria estão disponíveis em língua estrangeira.

Os usuários também podem contribuir com novos materiais para a ampliação do banco de referencial teórico neste ambiente. Os trabalhos em eventos e dissertações disponibilizados foram realizados por membros do grupo de pesquisa e podem ser acessados livremente neste ambiente. Os artigos foram selecionados pela autora, com o intuito de disponibilizar um referencial teórico inicial para as discussões. Os seguintes critérios de seleção foram adotados: impacto das revistas mais comumente utilizadas na área, busca dos *guidelines* disponíveis para estudos de perfusão do miocárdio em SPECT, achados clínicos e estudos de rotina nestas aquisições (atenuação de mama ou diafragma, mudanças de protocolos *versus* qualidade das imagens, captação de áreas adjacentes ao miocárdio, entre outros encontrados comumente nas rotinas dos serviços).

Cabe-nos ressaltar que os materiais não trazem respostas às perguntas dos tópicos, servindo somente de apoio às discussões e propiciando um maior entendimento sobre os assuntos relacionados aos tópicos. O ambiente não pretende trazer respostas as questões de discussão e sim possibilitar ao usuário a interação com equipe na busca e troca de informações.

Os tópicos de discussão são formulados através de perguntas que impossibilitam a resposta sim ou não, incentivando o usuário a relatar sua opinião de acordo com sua experiência sobre o assunto. Os diferentes tópicos trazem distintos níveis de dificuldade e o usuário pode optar pelo tema de seu interesse. Também é possível incluir o próprio material do ambiente na discussão através de *links* de acesso. Assim, é possível disponibilizar diferentes recursos (imagens, artigos, etc.) no decorrer da discussão.

Algumas informações adicionais quanto às funcionalidades podem ser acessadas em *Projeto>Relatórios>Funcionalidades* no site *web* do projeto.

A seguir, serão apresentadas informações quanto ao armazenamento, segurança e transporte de dados.

4.1.1 Armazenamento, Segurança e Transporte de Dados

Algumas características de maior relevância em relação ao gerenciamento de usuários reduzindo o envolvimento do gestor e preservando a segurança do ambiente são utilizadas como padrão na *web*. As características atuais de segurança na internet são:

- O acesso de contas pode ser checado com segurança através do protocolo LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*).
- Foram utilizados os protocolos IMAP (*Internet Message Access Protocol*), POP3 (*Post Office Protocol Version 3*), NNTP (*Network News Transport Protocol*). Os acessos às contas são checados através de um servidor de correio ou de notícias, com suporte à certificação através de SSL (*Secure Sockets Layer*) e TLS (*Transport Layer Security*).
- Os mecanismos de autenticação são realizados através de módulos permitindo a integração com os sistemas já existentes.
- Um correio eletrônico interno permite um meio de comunicação específica no ambiente.
- Bases de dados externas podem ser utilizadas como fonte de autenticação contendo ao menos dois campos.
- Os usuários necessitam apenas de uma conta para acessar o servidor, sendo este podendo ter diferentes acessos.
- O administrador/gestor controla a criação de cursos e mediadores através da inscrição de usuários associados aos grupos de discussão.
- Os mediadores podem ter privilégios de edição removidos para que não possam modificar os cursos (mediadores temporários).
- Os mediadores podem acrescentar uma “chave de inscrição” às suas discussões para excluir os usuários não cadastrados. A chave pode ser fornecida por e-mail ou diretamente ao usuário.
- São permitidas inclusões e exclusões manuais de usuários nos fóruns através dos moderadores.
- Os usuários podem disponibilizar um perfil on-line, incluindo fotos e descrição de experiências profissionais. Os endereços podem ser protegidos quando solicitado.

- Cada usuário pode escolher o idioma a ser empregado na interface do Moodle.

Para a orientação inicial dos usuários foram criadas regras de acesso ao ambiente colaborativo. Todos os usuários cadastrados e não cadastrados têm acesso às regras do ambiente no *home* da página em [Regras do Ambiente](#).

Como ferramenta para a gestão da segurança foi utilizada as funcionalidades do Moodle. A Figura 33 apresenta algumas das funcionalidades administrativas do sistema para o gerenciamento de segurança pelo administrador no ambiente.

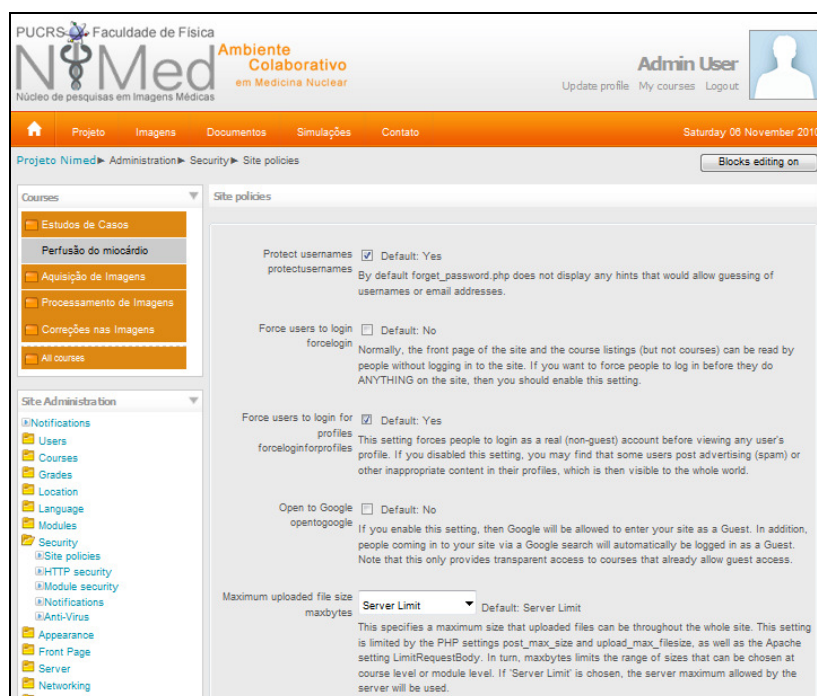


Figura 33: Funcionalidades administrativas para gerenciamento da segurança pelo administrador (gerenciamento da política do sítio; definição de níveis de visibilidade da página; segurança dos módulos; notificações; e anti-vírus).

O administrador do ambiente é responsável por executar as seguintes tarefas:

Cadastramento e acesso

- responsável pela avaliação do perfil do usuário no cadastro.
- responsável pela autorização de usuários e acesso ao ambiente (gerenciamento e envio de senhas).
- responsável pela gerência do banco de cadastramento do ambiente.

- responsável pela gerência das permissões e restrições de usuários e moderadores no ambiente após o cadastro.
- permite o acesso de usuários e moderadores nos cursos.

Autenticação

- O sistema pode autenticar por meio de um servidor LDAP externo.
- O sistema pode autenticar usando o protocolo Kerberos.
- O sistema suporta o “*Central Authentication Service*” (CAS).
- O sistema pode autenticar por meio de IMAP, POP3, ou NNTP seguro.

Diferentes usuários podem ter diferentes configurações de autenticação. Assim, o “Moodle Network” habilita diferentes servidores para se unirem em relacionamentos confiáveis e providenciar acesso simples entre os diferentes sites *Moodle*.

Autorização de curso

O sistema suporta acesso restritivo baseado em permissões, que podem ser customizadas pelo provedor de serviço. O administrador pode criar um ilimitado número de unidades organizacionais e permissões com privilégios específicos de acesso para o conteúdo dos cursos e ferramentas.

Administradores também podem distribuir as permissões e funções através de múltiplas instituições ou departamentos hospedados no ambiente do servidor, podendo ser atribuídos aos mediadores e usuários diferentes funções em diferentes cursos.

Maiores informações quanto à segurança e transporte de dados podem ser acessadas em *Projeto>Relatórios>Segurança* no site web do projeto.

4.1.2 Implementações Realizadas no Ambiente Colaborativo

4.1.2.1 Implementação de cadastramento de novos usuários:

Esta implementação foi realizada, pois no ambiente *Moodle* convencional, o usuário pode se cadastrar livremente sem qualquer restrição. Como o ambiente

pretende atender somente aos usuários cuja prática profissional esteja de acordo com a sua experiência em MN, foi criado um perfil de usuário, que seria autorizado a interagir no ambiente de acordo com a permissão do administrador. Esta restrição deve-se ao fato de que usuários inexperientes acabariam trazendo assuntos que não seriam pertinentes às discussões e não teriam experiência da prática para que houvesse afinidade com a proposta do ambiente.

Para tanto, foi desenvolvida uma página inicial do ambiente colaborativo, para o cadastro de novos usuários. A página inicial traz um resumo do objetivo principal deste ambiente (Figura 34) para que o usuário conheça a proposta antes de realizar o seu cadastro e saiba que seus dados serão mantidos em sigilo.

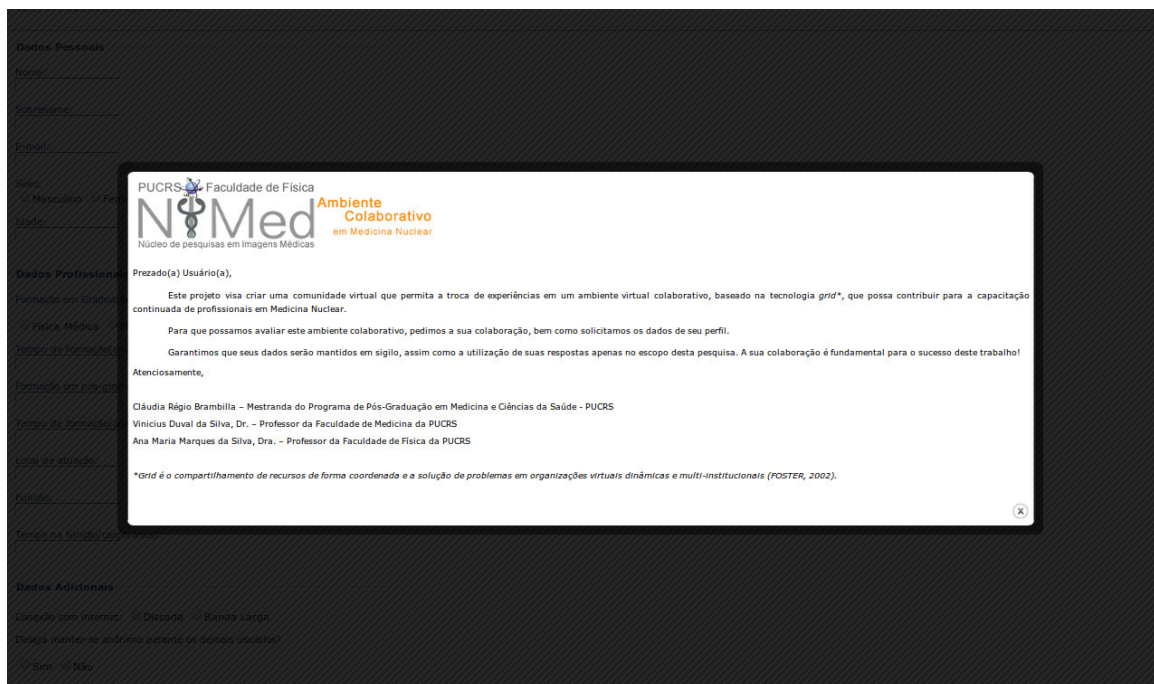
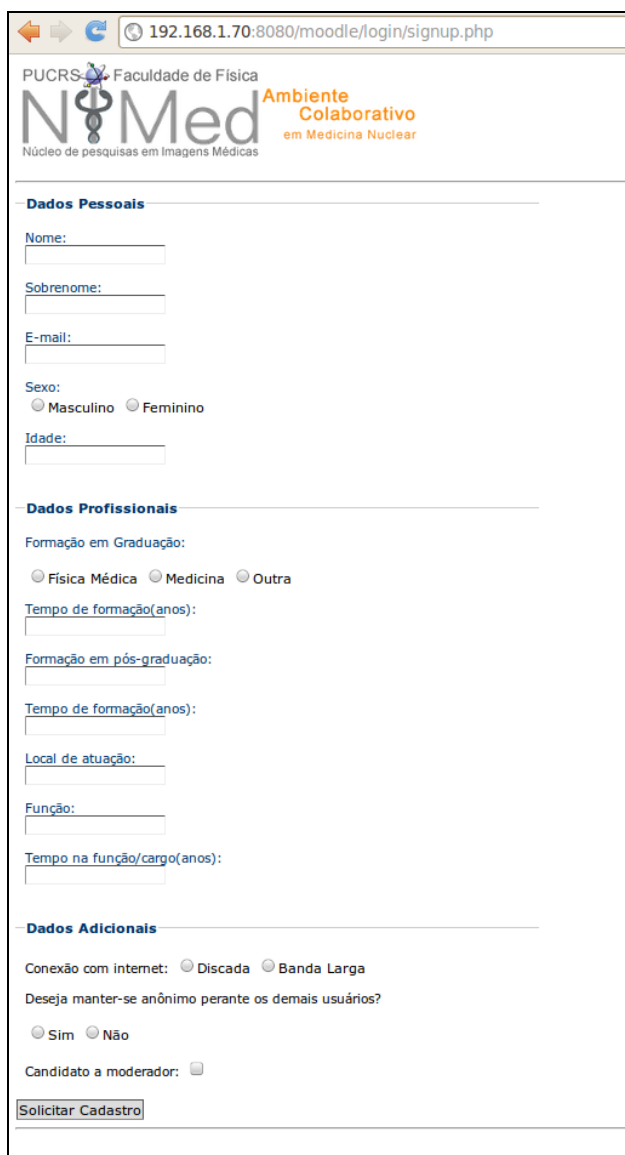


Figura 34: Ferramenta zoombox, que exhibe o texto de introdução do formulário quando o usuário acessa a página para cadastro, por padrão o recurso é ativado quando se clica em algum elemento HTML.

Nos dados do perfil, foram solicitadas variáveis pessoais do usuário, profissionais e de acesso. Para que o usuário se sentisse mais a vontade no ambiente conforme sua opinião, foi disponibilizado um cadastro anônimo para os que desejaram não serem revelados perante o grupo de discussão. A possibilidade de moderação também pode ser solicitada neste cadastro. Após a solicitação de cadastro do usuário (Figura 35), o administrador pode realizar o gerenciamento do

banco de cadastramento de usuários; enviando senha e estabelecendo as permissões de cada usuário conforme seu perfil no ambiente.



The image shows a web browser window displaying a Moodle user registration page. The browser's address bar shows the URL: 192.168.1.70:8080/moodle/login/signup.php. The page header includes the logo for PUCRS Faculdade de Física and N&Med, along with the text 'Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear' and 'Núcleo de pesquisas em Imagens Médicas'. The form is divided into three sections: 'Dados Pessoais', 'Dados Profissionais', and 'Dados Adicionais'. The 'Dados Pessoais' section includes fields for Name, Surname, E-mail, Sex (radio buttons for Masculino and Feminino), and Age. The 'Dados Profissionais' section includes fields for Graduation (radio buttons for Física Médica, Medicina, and Outra), Graduation Time (years), Post-graduation (years), Local of activity, Function, and Time in function/position (years). The 'Dados Adicionais' section includes a radio button for internet connection (Discada or Banda Larga), a checkbox for 'Deseja manter-se anônimo perante os demais usuários?' (Yes/No), and a checkbox for 'Candidato a moderador?'. A 'Solicitar Cadastro' button is located at the bottom of the form.

Figura 35: Solicitação de cadastro no ambiente colaborativo com dados de perfil do usuário.

Maiores detalhes em relação à lógica de implementação do validador, bem como, os campos que são disponibilizados ao usuário (*login*) devido às opções de cadastro e armazenamento no banco de dados podem ser avaliados em *Projeto>Relatórios>Relatório de Desenvolvimento* no site *web* do ambiente.

A Figura 36 mostra um diagrama explicando a interação entre o usuário e a ferramenta de cadastro, assim como a relação com o banco de dados.

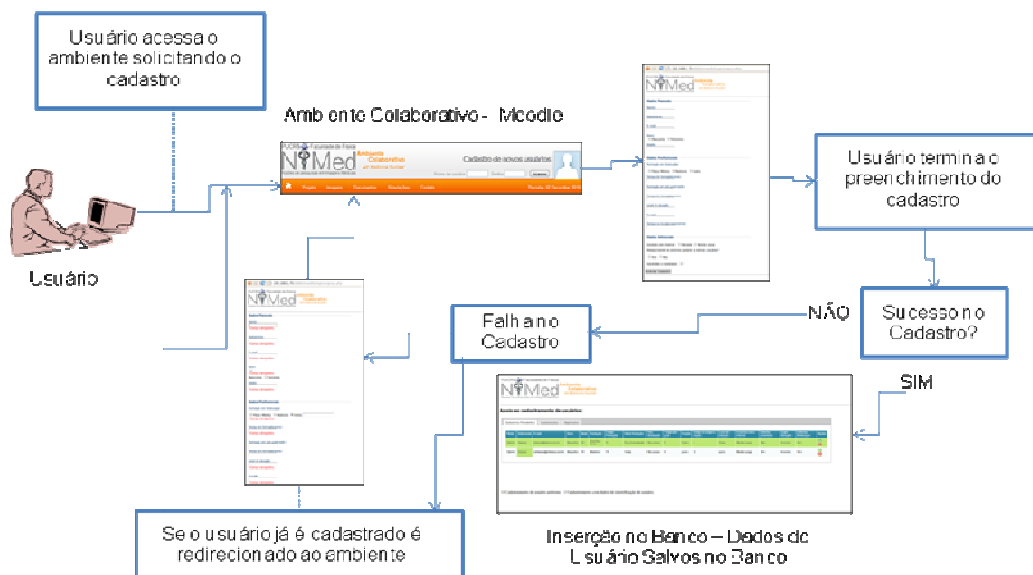


Figura 36: Diagrama da interação do usuário com a ferramenta de cadastro e banco de dados.

O apoio ao cadastramento de usuários (Figura 37) é gerenciado pelo administrador, com acesso restrito. O administrador avalia os dados do formulário de cadastro filtrando o acesso ao ambiente colaborativo mediante as respostas do candidato. A interface é composta por um modo de exibição em abas. Os candidatos são separados em: Cadastros Pendentes, Cadastrados e Rejeitados. Os cadastros pendentes são aqueles nos quais os dados do candidato a usuário estão registrados para a avaliação do administrador, que pode cadastrá-los ou rejeitá-los. Os usuários aceitos ficam com seus dados armazenados em Cadastrados. Aqueles que o administrador julga sem perfil para a interação no ambiente, devido à falta de experiência em MN, são rejeitados e seus dados ficam armazenados em Rejeitados.

PUCRS Faculdade de Física

NMed Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear
Núcleo de pesquisas em Imagens Médicas

Apoio ao cadastramento de usuários:

Cadastros Pendentes Cadastrados Rejeitados

Nome	Sobrenome	E-mail	Sexo	Idade	Formação	Tempo Formação	Outra Formação	Pós-Graduação	Tempo pós-grad.	Função	Tempo no cargo ou função	Local de atuação	Conexão com a internet	Solicitou anônimo	Login desejado	Solicitou Moderação	Ações
Gabriel	Dalpiaz	dalpiroz@dalpiroz.com.br	Masculino	19	Escolheu Outra	5	Eng. Computação	Não possui	0	Vazio	3	Vazio	Banda Larga	Não	Anônimo	Sim	⊕ ⊖
Gabriel	Dalpiaz	srikwera@srikwera.com.br	Masculino	19	Medicina	15	Vazio	Não possui	0	pucrs	12	pucrs	Banda Larga	Sim	Anônimo	Sim	⊕ ⊖

Cadastro de usuário anônimo. Cadastro com dados de identificação do usuário.

Figura 37: Interface de apoio ao cadastramento de usuários gerenciada pelo administrador do ambiente colaborativo em MN.

Ao avaliar o perfil (usuários aptos conforme descrito na seção 3.3) e solicitações do usuário, o administrador pode realizar o cadastro com identificação do usuário ou cadastro anônimo. Ambos são implementados ao banco de dados do Moodle, que é implementado em MySQL (sistema que gerencia o banco de dados em linguagem SQL ou *Structured Query Language*). Ambas as formas de cadastro geram senhas aleatórias através de um algoritmo implementado em PHP.

Maiores detalhes em relação à lógica de implementação do algoritmo randômico para gerar as senhas de acesso, bem como, os campos que são disponibilizados ao administrador podem ser encontrados em *Projeto>Relatórios>Relatório de Desenvolvimento* no site web do ambiente.

A Figura 38 mostra o diagrama de interação do administrador com o sistema de apoio ao cadastramento de usuários.

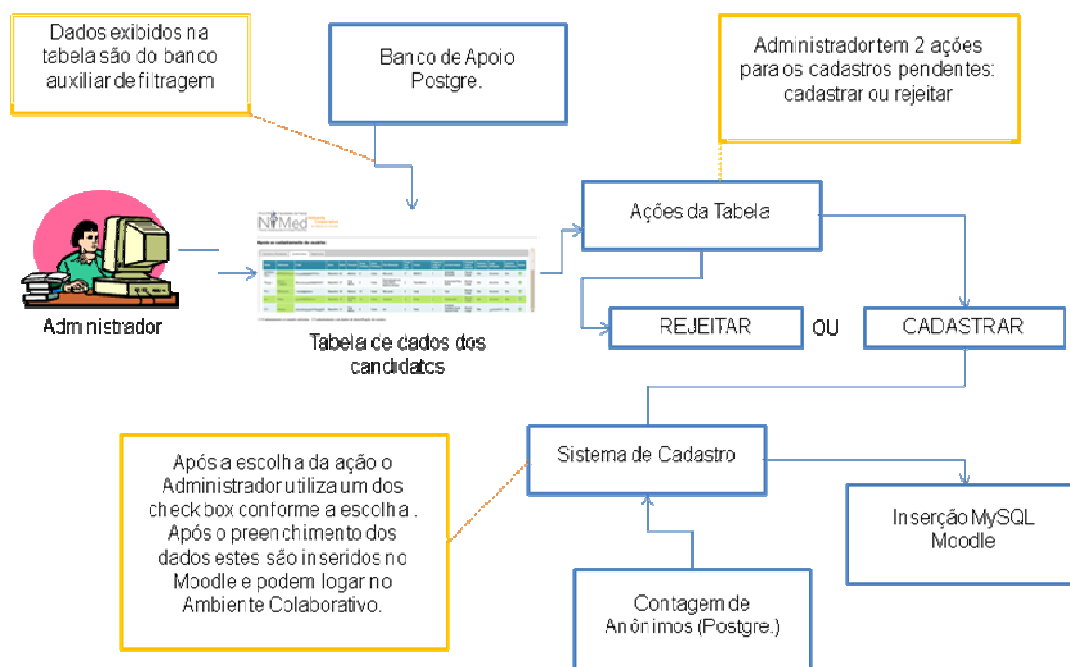


Figura 38: Diagrama de interação do administrador com o sistema de cadastramento de usuários.

4.1.2.2 Implementação de análise através de questionário de opinião:

O questionário de análise foi implementado no ambiente para facilitar a coleta de dados sobre a opinião dos usuários em relação ao ambiente após o teste

de interação. O questionário foi confeccionado na ferramenta *Google Docs*^{TM25} disponível *online*. Neste questionário semi-estruturado, foram feitas perguntas em relação à qualidade do material do ambiente, interatividade (fóruns e moderadores), acesso e localização da informação. Também foi disponibilizado um espaço para que o usuário pudesse sugerir suas ideias e expressar sua opinião abertamente. O *Google Docs* permite que os dados sejam exportados em Excel, o que permite uma melhor flexibilidade no tratamento dos dados pelo pesquisador.

Quando os usuários acessam o questionário no *home* da página do ambiente, um texto introdutório é exibido (Figura 39), com instruções quanto ao tempo necessário para o preenchimento desta avaliação, a importância da opinião do usuário quanto à validação da proposta e a garantia de sigilo de seus dados quanto à pesquisa.



Figura 39: Texto introdutório exibido quando o usuário acessa o questionário de análise de opinião.

O usuário precisa fornecer seu e-mail de cadastro para poder acessar o questionário de avaliação (Figura 40), que é verificado pelo banco de dados. O preenchimento é restrito somente aos usuários cadastrados no ambiente.

O questionário semi-estruturado está dividido em blocos de categorias com perguntas em relação à: avaliação dos materiais disponíveis no ambiente, avaliação da interação do usuário com o ambiente, avaliação do protótipo de submissão de simulações Monte Carlo através do ambiente, avaliação da interface do ambiente,

²⁵ <http://docs.google.com>

avaliação do acesso no ambiente e questões abertas sobre a aplicabilidade do ambiente na MN. O questionário possuiu perguntas de preenchimento obrigatório e livre para sugestões dos usuários conforme julgasse necessário após cada categoria em partes abertas (APÊNDICE A).

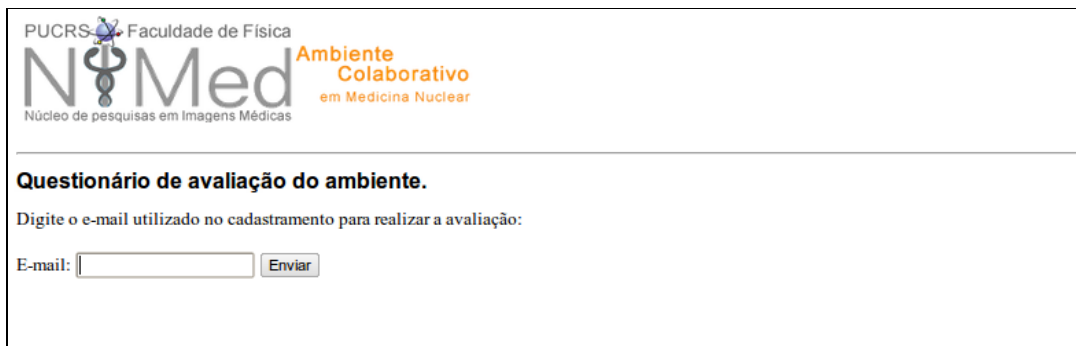



Figura 40: Interface de entrada do e-mail do usuário para acesso ao questionário de avaliação.

Maiores detalhes em relação à lógica de implementação do questionário podem ser avaliados em *Projeto>Relatórios>Relatório de Desenvolvimento* no site *web* do ambiente.

4.1.2.3 Protótipo para Submissão Facilitada de Simulações Monte Carlo

A interface do protótipo de submissão de simulação facilitada pode ser visualizada na Figura 41.

No módulo de submissão, o usuário poderá selecionar: o estudo clínico desejado, o equipamento com colimador que desejar utilizar no estudo, o número de detectores e o ângulo entre eles na aquisição, o modelo antropomórfico representativo do paciente a ser simulado, o modelo de biodistribuição desejado, o radionuclídeo e a atividade a serem administradas no modelo, o número e tempo por projeção, a órbita e arco de aquisição, a matriz e o zoom da imagem, a janela de energia, a distância entre modelo-equipamento e posição inicial do detector. Uma explicação sucinta de cada módulo/opção pode ser visualizada pelo usuário no símbolo . Maiores possibilidades podem ser estudadas e agregadas às possibilidades existentes de saída de dados não sendo somente imagens de aquisição, dados como análise de dose para estudos em dosimetria e proteção radiológica de pacientes também poderão ser implementados futuramente.

Topic outline

Submissão de Simulação

Estudo:

Equipamento/Colimador: Número de detectores: Ângulo entre detectores:

Paciente/Modelo Antropomórfico: Biodistribuição (MBq/voxel):

Isótopo: Atividade Administrada (mCi):

Tempo por Projeção (s): Número de Projeções: Órbita:

Matriz (pixels): Zoom: Janela de Energia (%):

Distância Paciente/modelo Detector (cm): Posição Inicial do Detector: Arco (graus):

Dados de Simulações

Simulações														Favoritos			
Est.	Equip. (Colim.)	Nº de Detec.	Âng.	Mod.	Biodist.	Isot.	Atrv.	Tempo	Nº de Proj.	Órbita	Matriz	Zoom	Jan. de Ener.	Dist.	Pos.	Arco	
Miocárdio	Philips Forte/VXGP	1	-	NCAT	Bio1	Tc-99m	17.5	15	16	Circular	128	1	15	10	45°	360	
Miocárdio	Philips Forte/VXGP	2	-	NCAT	Bio1	Tc-99m	10.5	20	64	Circular	64	2	20	10	270°	180	
Miocárdio	Philips Forte/VXGP	1	-	NCAT	Bio1	Tc-99m	12.5	10	16	Circular	64	2	15	10	135°	180	
Miocárdio	Philips Forte/VXGP	1	-	NCAT	Bio1	Tc-99m	12	10	1	Circular	64	1	15	0	0°	180	

1 Legenda:

- Verde: simulação concluída;
- Cinza: simulação na fila de processamento;
- Amarelo: simulação em processamento no cluster.

Figura 41: Interface para submissão facilitada de simulação e acompanhamento do desempenho de processamento.

Após a definição do usuário quanto à modelagem solicitada em sua submissão de simulação, ao enviar sua solicitação através do ícone , o sistema aciona o banco de imagens simuladas para verificar a existência de processamento já realizado e disponível no banco. Caso contrário, a simulação é enviada ao LAD para o processamento em paralelo e retorna a imagem simulada ao acesso do usuário no banco de imagens simuladas. O processo de simulação poderá ser acompanhado pela interface de acompanhamento nos “Dados de Simulações”. Nesta interface, o usuário pode acompanhar o resumo de sua solicitação e o *status* da simulação pelo código de cores disponível (simulação na fila

de processamento, simulação em processamento ou simulação concluída mostradas na Figura 41).

Um diagrama pode ser visualizado na Figura 42 exemplificando o processo de submissão facilitada pelo ambiente através do usuário, o processamento no LAD – PUCRS e o retorno dos resultados de simulação ao ambiente colaborativo em MN no banco de imagens simuladas.

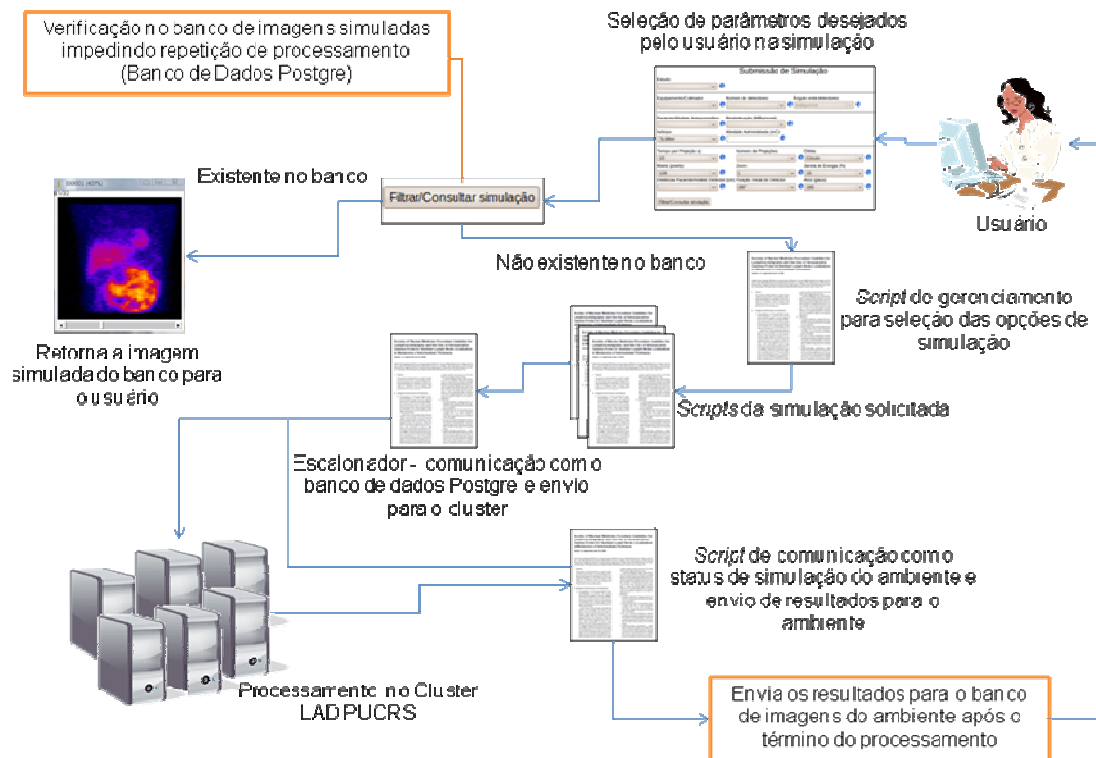


Figura 42: Diagrama de interação do usuário com o ambiente facilitado de submissão de simulação e comunicação do ambiente com o cluster do LAD para o processamento e envio das imagens simuladas (retornadas ao ambiente/usuário).

A seguir, serão apresentadas informações quanto aos Bancos de Imagens desenvolvidos.

4.1.3 Bancos de Imagens

Os bancos de imagens Clínicas, Experimentais e Simuladas, podem ser acessados através do ambiente em *Menu>Imagens*.

Em todos os bancos foram realizadas descrições das imagens disponibilizadas (projeções em formato DICOM, imagens processadas mostrando os cortes na região do miocárdio disponíveis em formato JPG, entre outras opções).

No caso do Banco de Imagens Experimentais, dados das aquisições realizadas com o modelo antropomórfico, tais como, a atividade administrada nos compartimentos do modelo, tempo de preparo e momento de aquisição foram descritos, para que o usuário pudesse compreender todo o experimento quando fosse utilizar as imagens do banco. Também foram disponibilizadas, informações quanto à escolha do modelo de biodistribuição e os parâmetros de aquisição realizados em cada situação. Além disso, alguns *softwares* para a visualização e processamento de imagens em código aberto também foram disponibilizados aos usuários no ambiente colaborativo em *Menu>Imagens*.

Para o Banco de Imagens Simuladas, primeiramente foram realizadas simulações da modelagem de um equipamento FORTE *Phillips*, as quais foram descritas na seção 3.2.4 desse trabalho, sendo estes resultados, descritos no APÊNDICE C.

A seguir, serão apresentados os resultados da validação do ambiente colaborativo.

4.2 Validação do Ambiente Colaborativo em MN

A metodologia do teste de interação com os usuários dentro do ambiente colaborativo está descrita detalhadamente na seção 3.6.

A amostra de interação no teste piloto do protótipo do ambiente colaborativo em MN é composta por 15 sujeitos, sendo 10 Físicos Médicos (67%) e 5 Médicos Nucleares (33%). Entre eles, 67% são do sexo masculino (6 Físicos Médicos e 4 Médicos Nucleares) e 33% do sexo feminino (4 Físicas Médicas e 1 Médica Nuclear). O tempo de formação médio de graduação da amostra é de 9,4 anos (valor da mediana é de 6 anos para esta amostra).

Nesta amostra, 67% dos participantes na interação possuem pós-graduação com um tempo médio de 3,5 anos de formação. O tempo no cargo ou função atual

médio desta amostra é de 6,27 anos (valor da mediana desta distribuição é 5 anos). A idade média da amostra é de 33,87 anos (valor da mediana é de 32 anos).

A análise do perfil da amostra foi realizada conforme descrito na seção 3.7, a partir dos dados do cadastro. A Figura 43 mostra a distribuição da amostra em relação a algumas das variáveis de análise. Observa-se que há dois sujeitos *outliers*, em relação aos demais participantes, um com maior experiência na área (>30 anos) e outro com menor experiência (< 5 anos). A tabela completa com os dados descritivos das variáveis da amostra do teste piloto de interação encontra-se na Tabela 7 do APÊNDICE E.

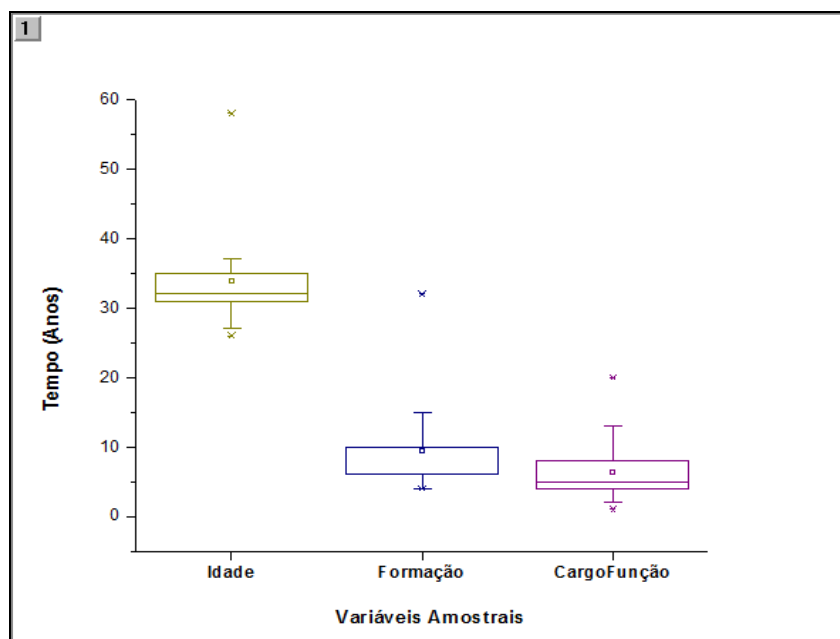


Figura 43: Gráfico em caixa para mostrar a distribuição da amostra em relação à idade, tempo de formação e tempo no cargo/função atual na área de MN.

Para avaliar a interação do usuário com o ambiente, foram coletadas as variáveis que podem medir a interação efetiva do usuário, ou seja, o número de acessos (*Hits*) ou cliques na interface que podem ser utilizados para o mapa de clicagem e o número de postagens (*Posts*) dos usuários, que correspondem ao número de intervenções realizadas nos fóruns de discussão. Tais informações foram obtidas a partir da estatística do *Moodle* sobre os caminhos percorridos pelo usuário. A distribuição destas variáveis é mostrada na Figura 44.

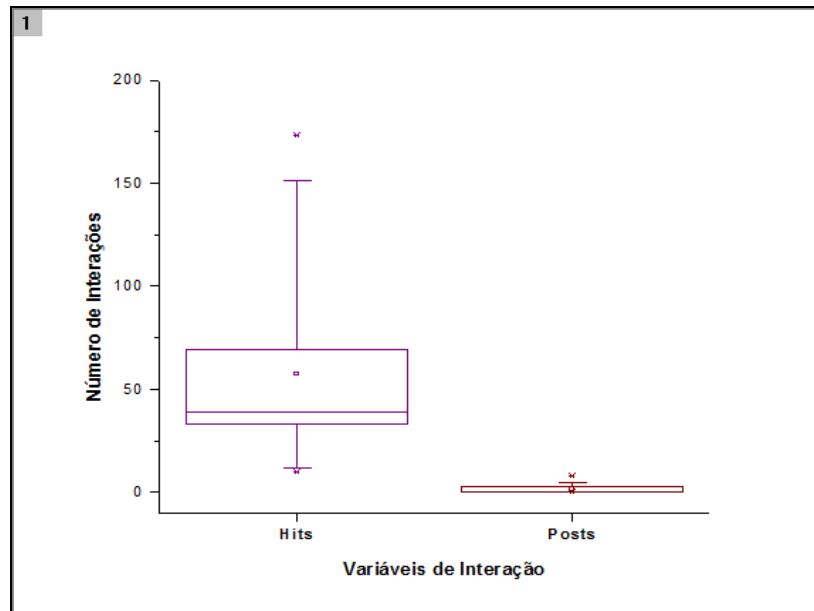


Figura 44: Gráfico da distribuição da mostra em relação às intervenções no ambiente.

Obteve-se uma média de 57 *Hits* (mediana de 39) e 2 *Posts* (mediana 0) dos usuários durante o teste de interação. Pode-se perceber nos gráficos a presença de usuários que apresentam valores *outliers*, correspondendo aos sujeitos com maior número de interações (173 *Hits*) e intervenções nos fóruns (8 *Posts*) do ambiente. A estatística descritiva destas duas variáveis está disponível na Tabela 7 do APÊNDICE deste trabalho.

Foi medida a correlação entre as variáveis *Hits* e *Posts*, que resultou em um valor de $R = 0,77$. Infere-se que, ao interagir mais no ambiente, o usuário acaba intervindo mais nas discussões dos fóruns. Porém, a variável de explicação da dependência entre essas variáveis, foi de $R^2 = 0,59$. Portanto, não se pode afirmar se a correlação realmente devido ao pequeno número de sujeitos na interação (15), podendo ter ocorrido ao acaso. Seria interessante realizar um teste com um maior número de sujeitos durante um maior tempo de interação para uma confirmação desta hipótese.

Procurou-se interpretar os valores anteriores em conjunto com a análise descritiva das variáveis, obtidas a partir da análise qualitativa de opinião dos usuários coletadas no questionário semi-estruturado.

A análise do questionário foi realizada conforme descrito na seção 3.7. Os resultados desta análise (categorias *a priori* e emergentes) serão apresentados

conforme a estrutura do questionário (APÊNDICE A) irá abordar os resultados desta análise (categorias *a priori* e emergentes).

Primeiramente, serão apresentados os dados correspondentes às respostas dos primeiros três blocos do questionário (blocos I, II e III do APÊNDICE A), que avaliam a *relevância* dos seguintes quesitos:

- Itens do Menu, Bancos de Imagens, Possibilidade de Contribuição dos Usuários (casos, questões e materiais);
- Banco de Documentos (artigos, materiais de apoio, dissertações e teses, trabalhos publicados e relatórios);
- Disponibilidade de *Softwares* Livres (visualização e processamento das imagens);
- Interação com o Ambiente Colaborativo realizada nos fóruns de discussão (qualidade das discussões dos fóruns e atuação dos moderadores);
- Possibilidade de Submeter Simulações de MC através do Ambiente Colaborativo (protótipo).

A Figura 45 mostra o resultado da opinião dos usuários sobre a relevância nas categorias do questionário de avaliação. Os valores percentuais correspondentes a esta análise estão disponíveis na Tabela 8 do APÊNDICE E deste trabalho.

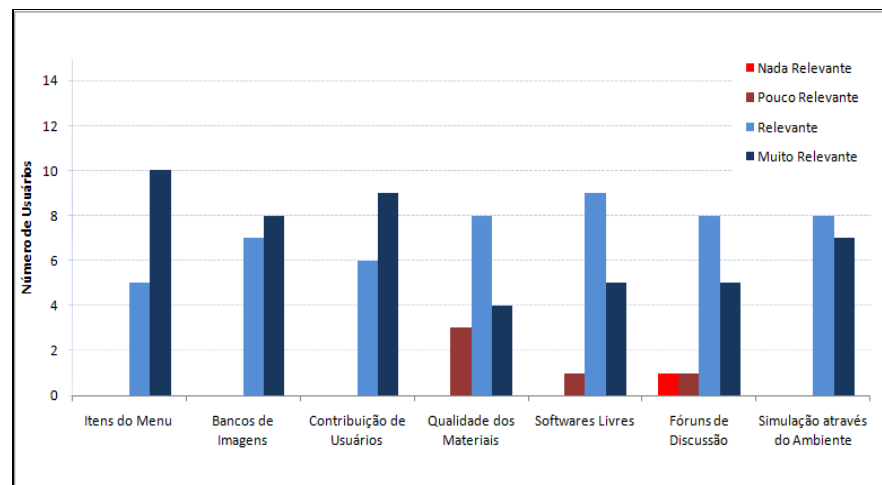


Figura 45: Opinião dos usuários em relação à relevância dos itens do menu, bancos de imagens, contribuição dos usuários, qualidade dos materiais, softwares livres, fóruns de discussão e possibilidade de submissão de simulações no ambiente colaborativo.

As opiniões dos usuários nas partes abertas do questionário em relação aos materiais e recursos (funcionalidades) disponibilizados no ambiente a partir da interação do usuário permitem o aprofundamento desta análise, apresentada a seguir.

Quanto à *Avaliação dos Materiais Disponíveis no Ambiente* (bloco I), os dados quantitativos, representados pelas cinco primeiras categorias da Figura 45, mostram que todos os usuários consideraram relevantes os itens disponíveis no menu, os bancos de imagens e a possibilidade de o usuário contribuir com casos, questões e materiais para o ambiente. Em relação à qualidade dos materiais disponibilizados, alguns usuários os consideraram pouco relevantes. Podemos observar em um extrato da opinião de um dos usuários neste sentido:

“... sugiro a inclusão de tópicos não relacionados somente com a área de qualidade das imagens.” (FM-01).

Analisando o perfil dos usuários que consideraram a qualidade dos materiais disponibilizados pouco relevantes, observa-se que elas ocorrem com usuários com muita experiência na área, o que pode ter produzido pouca motivação/interesse em relação aos assuntos tratados no ambiente, e com usuários que tinham interesses em áreas específicas da MN, como, por exemplo, proteção radiológica e dosimetria.

A limitação dos temas abordados no ambiente colaborativo, intrínseca ao projeto por tratar-se de um protótipo, e o limite de tempo para os testes de validação, impossibilitavam a abordagem de todos os assuntos relacionados ao campo da Medicina Nuclear. Os materiais disponíveis inicialmente eram relacionados a aquisições de SPECT cardíaco e abordavam somente essa modalidade. Essa opção deve-se ao fato do SPECT cardíaco normalmente ser o exame de maior demanda nos serviços de MN, possuir vasta literatura, e em sua execução, ser um dos que possui maior número de variáveis de complexidade, tanto na escolha dos protocolos de aquisição, quanto nos processamentos e correções aplicadas aos fenômenos de atenuação e espalhamento. Esta escolha também foi guiada pela possibilidade de abastecer o banco de imagens experimentais no ambiente com um modelo antropomórfico físico disponível. O tema possibilitava uma conexão temática entre o Médico Nuclear e o Físico Médico, ou seja, a escolha de um assunto que pudesse

contribuir nas duas formações (devido ao perfil da amostragem utilizada na pesquisa).

Em relação à opção por disponibilizar poucos materiais inicialmente no ambiente, esta metodologia atende às recomendações de especialistas em ambientes colaborativos na literatura (ARETIO et al., 2007), para que os usuários sejam incentivados a contribuir na construção do ambiente. Um dos usuários revela seu descontentamento com o pequeno número de casos no ambiente:

“... as discussões foram relevantes, mas foram poucos casos expostos...” (MN-01).

Ressalte-se que esta observação não foi realizada nos fóruns de discussão e sim no questionário de avaliação, impossibilitando a ação dos mediadores no incentivo à colaboração dos usuários na inserção de novos casos e materiais.

Aretio e colaboradores (2007), também destacam a necessidade de aumentar gradativamente a complexidade nos ambientes colaborativos. Deve-se iniciar o ambiente com materiais básicos e gradativamente aumentar o nível de complexidade dos materiais no ambiente.

Este procedimento visa incentivar os usuários a questionarem o conteúdo do ambiente durante a interação, solicitando novos tópicos e incluindo novos materiais e questionamentos, entre outras possibilidades. Assim, o ambiente além de ir se desenvolvendo, assume características pertinentes em relação à rede que está sendo formada, dando uma nova identidade ao grupo que interage, de acordo com seus interesses e especificidades. Como os conteúdos do ambiente são dinâmicos, dentro desta perspectiva, a proposta é que o ambiente nunca seja encerrado, sendo ampliado a cada novo usuário ou interação, fazendo com que as relações fluam na rede de conversação e na troca de ideias e experiências. A autora teve a impressão que alguns dos usuários esperavam um ambiente completo e fechado.

Os *softwares* livres disponibilizados no ambiente foram considerados pouco relevantes por um dos usuários e comentários em relação à complexidade do uso foram reportadas. Os *softwares* de código aberto são pouco amigáveis para pessoas menos experientes em informática e nem sempre contemplam as funções

necessárias para os usuários. Podemos constatar esse fato através do trecho da opinião de um usuário:

“... provavelmente complicará para discussões futuras a questão dos softwares para processamento das imagens. Utilizei o software X, mas confesso ser realmente muito complexo, deixando qualquer novato perdido. Utilizei também o Y, achei bom, mas não contempla o processamento de estudos cardíacos pareando repouso e esforço como nas estações habituais de MN.” (MN-01).

A partir desta limitação, seria interessante o desenvolvimento de um *software* de visualização e processamento similar às estações de trabalho utilizadas na rotina clínica em MN na ampliação da proposta desta pesquisa. Outra possibilidade seria um acordo/parceria com um fabricante que disponibilizasse seu *software* para processamentos de imagens no ambiente.

Outras opiniões surgiram quanto à disponibilidade das imagens DICOM nos estudos de caso e de um *chat online* para a discussão de casos, como reportado no trecho na opinião de um dos usuários:

“...seria interessante disponibilizar também as imagens em DICOM de forma que cada usuário pudesse utilizar sua plataforma de processamento nos serviços estudando os casos para emitir sua opinião... podemos melhorar ainda mais, com a disponibilização de chat online entre participantes que estejam “logados”...” (MN-01).

As imagens das projeções DICOM foram disponibilizadas somente no banco experimental de imagens e em casos clínicos frequentes na MN, fornecidos pelos hospitais colaboradores. Para a disponibilização de imagens de pacientes, conforme sugerido devem ser discutidas questões éticas e de consentimento dos pacientes. No caso do *chat online* sugerido por um dos usuários, inicialmente essa funcionalidade não foi disponibilizada, pois as interações foram planejadas como assíncronas no teste do ambiente, para uma maior flexibilidade do usuário com relação à sua rotina profissional. No entanto, essa funcionalidade pode ser facilmente adicionada no ambiente colaborativo através das funcionalidades da plataforma do *Moodle*.

Quanto aos *Fóruns de Discussão* (bloco II) os dados quantitativos, representados pela sexta categoria da Figura 45, que analisa a qualidade das discussões e a atuação dos moderadores, dois participantes consideraram pouco e nada relevantes. Mesmo entre aqueles que consideraram os fóruns de discussão relevantes, os participantes do teste de interação apresentaram diversas sugestões, como mostram os seguintes trechos de opinião dos usuários:

“... o moderador deveria ter motivado mais, trazendo os temas para a discussão, ao invés de esperar os profissionais interagirem por interesses próprios e iniciarem as discussões do grupo...” (FM-02).

“... acredito que a atuação, com o tipo de pergunta do moderador X, não gerou motivação efetiva nos fóruns de discussão...” (FM-03).

“... o moderador não propiciou o ambiente atrativo e interessante fazendo com que houvesse poucas participações... o moderador deve promover as discussões inicialmente e o incentivo de acesso ao site...” (FM-04).

“... não fui contemplado com as respostas que precisava do moderador no único caso que participei...” (MN-01).

Os moderadores que atuaram no ambiente eram profissionais experientes na área de MN, porém, não tiveram capacitação para atuação em ambientes colaborativos virtuais. Observa-se a necessidade de capacitação de moderadores para atuação em ambientes colaborativos virtuais. Por mais que um profissional esteja habituado com os assuntos pertinentes da área em discussão, ele deve ser capacitado para fazer com que os usuários se interessem em participar das discussões virtuais e detectar os problemas durante a interação. Além disso, o moderador deve reforçar as ideias de colaboração no ambiente, fazendo com que os usuários insiram novas questões e materiais, quando não se observa o interesse nos tópicos que já estão disponíveis. Outro elemento importante é o incentivo por parte da moderação para que os usuários revelem suas necessidades durante as discussões, gerando novos tópicos, disponibilizando novas ferramentas ou funcionalidades.

Outro aspecto importante foi o curto período de tempo do teste de interação (um mês), principalmente neste caso, onde a interação foi assíncrona. Espera-se

que com um período mais prolongado de interação com o ambiente, os usuários interajam com todo material disponível e efetivamente colaborem no desenvolvimento do ambiente. Podemos ver essa preocupação com a impossibilidade de explorar todo o ambiente no trecho de opinião do usuário:

“... acredito que nem todos os usuários utilizaram todas as ferramentas disponíveis no site, dessa forma se torna difícil, até mesmo injusto, emitir determinadas opiniões sobre algo que não tenha acessado efetivamente... poderiam adicionar ao questionário, em propostas futuras, uma opção de ter utilizado ou não as ferramentas do ambiente...” (FM-03).

Além de algumas críticas e sugestões pertinentes, de forma geral, houve uma boa aceitação dos usuários em relação às funcionalidades iniciais disponibilizadas no ambiente colaborativo. Algumas sugestões podem ser facilmente implementadas (*chat online*, inclusão de novos tópicos e materiais relevantes), enquanto outras, como os *softwares* e a capacitação de moderadores, exigem um planejamento mais articulado da equipe de pesquisa.

Quanto à possibilidade de *Submissão de Simulações* (bloco III) através do ambiente colaborativo, os dados quantitativos, representados pela sétima categoria da Figura 45, mostram que todos os usuários consideraram essa funcionalidade relevante ou muito relevante.

Quanto aos *Recursos de Interface* (bloco IV), os dados quantitativos, representados pelas três categorias da Figura 46, avaliam a organização dos elementos no ambiente colaborativo, nos seguintes quesitos: Localização da Informação (ícones e cadastro); Contato com o Grupo de Pesquisa e o protótipo de Submissão de Simulação (ícones para modelagem e submissão das simulações e barra de progresso do *status* das simulações). Também estão disponíveis na Tabela 9 do APÊNDICE E, os valores percentuais desta análise.

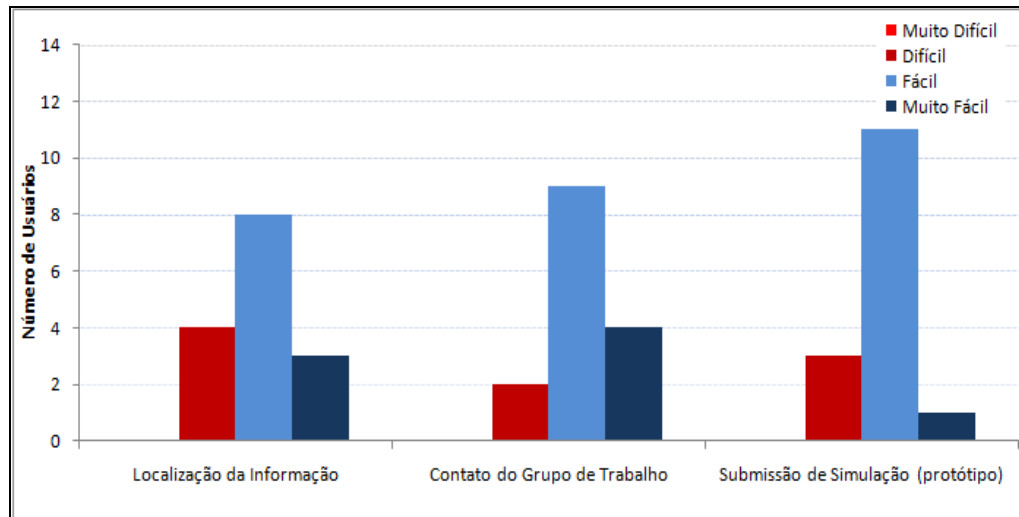


Figura 46: Opinião dos usuários em relação aos recursos de interface (organização dos elementos no ambiente colaborativo); informação, contato do grupo e protótipo de submissão de simulação.

Primeiramente, em relação à *Localização da Informação*, podemos perceber que alguns usuários consideraram-na difícil. Destaca-se que, por opção da estratégia de pesquisa, inicialmente não foi indicado nenhum percurso preferencial aos usuários, deixando-os livres para definirem seu “caminho” no ambiente, mesmo em seu primeiro acesso. Essa opção permitiria avaliarmos a real necessidade de implementação de mapas do site e guias com indicações iniciais no ambiente para usuários ingressantes. Além disso, como se espera que os usuários definam seu percurso e ingressem em um ambiente dinâmico, considerou-se que seria interessante, desde o início, o usuário ser confrontado com um ambiente não sequencial. Assim, optou-se por não sugerir os temas e caminhos de exploração do ambiente para o usuário. Finalmente, pretendia-se avaliar se a interface do ambiente seria passível de compreensão cognitiva, sem qualquer auxílio inicial.

A partir dos trechos de opiniões dos usuários podemos compreender a sensação de ansiedade frente à interação inicial com o ambiente:

“Por momentos fiquei desorientado quanto à rotina do site, tive algumas dificuldades operacionais, que consegui superar. Poderia haver um pouco mais de facilidade na ordem de postar e na execução de tarefas... foi passageiro, mas atrapalhou...” (MN-02).

“... apesar de a página inicial conter menus simples para não ficar poluída, confesso que fiquei perdido algumas vezes com tantas possibilidades...” (MN-01).

“... tive dificuldade no meu acesso inicial, em entender como interagir... não estava segura que criar um novo tópico seria o passo correto para responder a pergunta... pensei que o novo tópico lançaria um novo assunto no ambiente...” (FM-03).

As opiniões dos usuários sugerem a necessidade do planejamento de um mapa do ambiente explicando como o usuário pode interagir no ambiente. Neste mapa não indicaríamos rotas de interação para não influenciar a sequência do usuário, mas apenas um resumo das funcionalidades, em vídeo e áudio com explicações e explanações. Em relação à postagem nos fóruns de discussão, é possível inserir uma explicação sucinta sobre como *postar* e intervir no ambiente diretamente nos tópicos.

Em relação ao *Contato com a Equipe* de pesquisa, apesar de alguns revelarem dificuldade em contatar a equipe, não foram recebidos e-mails no contato do grupo disponível no ambiente, nem intervenções no fórum de dúvidas do ambiente sobre este tema. Não foram encontradas justificativas nas questões abertas, tornando complexa a compreensão sobre essa dificuldade.

Em relação ao protótipo da interface de *Submissão de Simulações*, os usuários não emitiram críticas ou sugestões, dificultando a compreensão dos motivos que levaram à opção pela dificuldade desta interface. Pela experiência da autora, que vêm trabalhando a 5 anos com *scripts* de simulação MC, o protótipo do ambiente traz uma interface com explicações e opções relativamente simples quando comparadas às interfaces e *scripts* que precisam ser elaborados e validados nas simulações de MC. Essa tarefa exige muitas vezes conhecimentos em programação e habilidades, tanto na resolução de *bugs* dos programas, quanto no aprendizado gradual de seu uso.

Assim, no bloco que avaliou as percepções dos usuários sobre os recursos de interface do ambiente, percebe-se que houve uma boa aceitação em geral entre os usuários sobre os recursos e funcionalidades disponíveis no ambiente. As críticas e sugestões apresentam bons indicativos para a melhoria da proposta, no que diz

respeito, principalmente, à necessidade de inserir maiores informações quanto às possibilidades na interação inicial, promovendo uma maior familiarização com o ambiente.

Em relação à facilidade de realização do cadastro por parte dos usuários, somente um usuário teve dificuldades iniciais. Este problema foi resolvido sem maiores dificuldades pela equipe, como mostra o comentário:

“Tentei o cadastramento algumas vezes, mas por algum motivo um erro era gerado, em contato com a autora do trabalho, foi corrigido.”
(FM-03).

Um dos usuários comentou que perdeu a senha e sugeriu a escolha para *login* e senha pelo usuário, ou ainda, o cadastramento aberto. No entanto, observou-se que este usuário não entrou em contato solicitando uma nova senha e não observou que poderia escolher o *login* de acesso. O sistema envia a senha do primeiro acesso, acompanhado por uma mensagem que apresenta as instruções para que o usuário troque sua senha quando desejar (*update profile*). Em relação à possibilidade de um cadastro aberto, este tipo de ambiente colaborativo de prática exige a exclusão de usuários não compatíveis com o perfil desejado na comunidade virtual criada, pois caso contrário, as discussões não serão adequadas ou úteis para o aprimoramento dos conhecimentos dos usuários.

A avaliação que se segue, analisa os resultados das questões abertas do último bloco (bloco V) do questionário de análise. Esta avaliação refere-se à possibilidade de *Utilização deste Ambiente por um Supervisor e sua Equipe e na Capacitação Continuada*. Foram analisadas 15 opiniões, nas quais foram citadas as possibilidades no emprego deste ambiente na área de Medicina Nuclear, tanto no âmbito de formação de físicos médicos, como de médicos nucleares.

O ambiente colaborativo em MN pode ser utilizado para a discussão de casos e demonstração de artefatos nas imagens, trazendo aos usuários a possibilidade de sanar dúvidas em relação a temas relevantes. Esta é uma ferramenta potencialmente útil em avaliação/discussão de casos difíceis e com opiniões conflitantes no diagnóstico médico. Além disso, essa ferramenta possibilita a solução de problemas cotidianos que podem ser discutidos/resolvidos em grupo, a partir da interação e da troca de experiências entre os usuários na comunidade

virtual. Com a disponibilidade de fóruns e *chats*, é possível gerar uma rica troca de conhecimentos e experiências, principalmente em relação aos diferentes níveis de competências das áreas relacionadas à atuação na MN. Também é possível, através da colaboração entre os usuários, criar bancos de dados e imagens para referenciar patologias, falsos positivos e negativos. Dessa forma, à medida que o ambiente tem um maior número de colaboradores ativos, os bancos podem ser atualizados/ampliados através da inserção de casos raros, reduzindo a perda de informação/casos. Essa perda ocorre normalmente devido ao limite geográfico que existe na troca de informações e experiências pessoais, durante a residência e rotina médica.

Estas possibilidades acarretam um ambiente de discussão e colaboração, na qual se espera a convergência de opiniões entre diferentes observadores em relação a determinados casos, tanto no âmbito de diagnóstico, quanto na física médica, e demais áreas que atuam em MN. Normalmente, o profissional acaba isolado em um determinado ambiente físico/virtual. Entretanto, com o ambiente colaborativo, esse profissional pode expressar suas opiniões e trocar experiências, expectativas e informações com demais especialistas de sua área. Isso aumenta a motivação para a melhoria da qualidade e amplia seu âmbito de atuação e conhecimento.

Além disso, a interação de diferentes profissionais ligados a distintas instituições possibilitam a atualização frequente dos materiais e imagens no ambiente elevando sua qualidade e diversidade, bem como, promove uma maior aproximação através da interação de diferentes locais que utilizam desta prática e possibilitando um maior contato com a pesquisa das universidades. Essa interação entre profissionais de distintas especialidades, os quais atuam no mesmo ambiente, possibilita a definição de seus papéis no cenário de atuação. Assim sendo, cada profissional acaba por entender sua função/responsabilidades e a dos demais membros da equipe motivando os trabalhos em grupo e minimizando a competição não saudável no ambiente de trabalho.

Esta proposta permite que grupos específicos também sejam criados paralelamente no ambiente, promovendo o treinamento de equipes e atuando na formação técnica e profissional através de estudos dirigidos. Além da capacitação das equipes de trabalho que atuam em MN, a proposta pode ser apresentada

perante os órgãos de fiscalização na comprovação dos treinamentos de rotina. Sobremaneira, pode também ser utilizado em casos de ensino, como na residência médica e como apoio nas universidades atuando em outras áreas de formação como, física médica, farmácia, química, cursos técnicos, entre outras possibilidades. Também é possível, agregar um sistema de avaliação no ambiente, promovendo atividades individuais ou em grupo.

Um dos usuários reporta que existem conceitos utilizados mais comumente pelos físicos médicos, que ainda não são claros para a equipe médica da área. Este ambiente poderia ser um espaço para este tipo de discussão e para a troca desse tipo de conhecimentos/experiências.

Estudos multicêntricos também podem se beneficiar deste ambiente colaborativo, pela facilidade de acesso às imagens e troca de opiniões sobre casos. Os modelos virtuais para a simulação de imagens médicas em pesquisas de diferentes âmbitos na área.

Com a alta demanda e alto fluxo de informações exigido pelo mercado de trabalho atual, atualização/capacitação frequentes dos profissionais tornam-se cada vez mais importantes. Os problemas devem ser solucionados com agilidade e eficiência, principalmente no caso de diagnóstico médico. Cada vez mais, os profissionais se deparam com a redução do tempo para o aprimoramento e o aumento do tempo de trabalho e do fluxo de informações. Esta ferramenta pode ser utilizada tanto neste sentido, com a inclusão de *chats* para a interação síncrona entre usuários, como para o aprendizado contínuo, respeitando o ritmo e tempo disponível de cada profissional.

Para a maioria dos sujeitos desta pesquisa, a proposta de um ambiente virtual colaborativo foi compreendida. No entanto, alguns usuários relataram que sua utilidade seria pequena, usada apenas como referencial teórico, ou sem utilidade para a aprendizagem continuada. Estas respostas, provenientes de usuários que não interagiram com o ambiente, observado por meio do cruzamento das respostas do usuário com os seus acessos, nos fazem crer, que esses usuários, não compreenderam a proposta de um ambiente em construção, direcionado de acordo com seus interesses.

Sugere-se um maior esclarecimento da proposta no ingresso do usuário ao ambiente (com áudio e vídeo explicativos) e a capacitação da moderação para o incentivo da colaboração e interação de usuários na troca de dados/informações. Isso possibilitaria a compreensão do ambiente por parte do usuário e do processo colaborativo de construção da ferramenta em si.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o ambiente foi aceito pela comunidade de profissionais que atuam em Medicina Nuclear e participaram desta pesquisa, sendo necessárias algumas implementações adicionais, tais como a inclusão de *chats* e utilização de áudio e vídeo explicativos para os usuários ao ingressarem no ambiente. Estas funcionalidades poderão ser facilmente implementadas a partir das limitações geradas no ambiente perante estes quesitos. Além disso, a capacitação dos candidatos a moderação será imprescindível para a atuação no ambiente, podendo assim, minimizar algumas limitações observadas no processo de interação dos usuários.

Através dessa pesquisa também se conclui que o Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear pode contribuir potencialmente na formação multidisciplinar dos grupos da área que interagem no ambiente, seja através da avaliação e discussão de casos do diagnóstico médico, seja na solução de problemas cotidianos que podem ser discutidos e resolvidos em grupo através dos fóruns de discussão. Com a disponibilidade de ferramentas de interação social nos ambientes colaborativos, é possível gerar uma troca de conhecimentos e experiências, principalmente em relação aos diferentes níveis de competências das áreas relacionadas à atuação na Medicina Nuclear.

Acredita-se que, à medida que este ambiente é utilizado por um número maior de colaboradores, os bancos de dados podem ser atualizados e ampliados através da inserção, principalmente de casos raros e de opiniões conflitantes, reduzindo a perda de informação, a qual normalmente ocorre devido ao limite geográfico que existe na troca de experiências pessoais, principalmente durante a

residência e rotina médica. Estas possibilidades acarretam um ambiente de discussão e colaboração, no qual se espera a convergência de opiniões entre diferentes observadores em relação a determinados casos, tanto na área de diagnóstico, quanto nas demais áreas relacionadas à Medicina Nuclear. Essa interação e colaboração aumentam a motivação para a melhoria da qualidade e ampliam o âmbito de atuação e conhecimento do profissional.

6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Durante o projeto, algumas limitações geraram dificuldades na execução planejada. Primeiramente pode-se citar a familiarização da equipe de trabalho com o programa de simulação GATE, desde sua instalação, até a montagem e disponibilidade do cluster para as simulações. Estas atividades perduraram por um período de um ano e meio. Esta limitação acabou por inviabilizar a validação completa da simulação. Seguiram-se a essa etapa, a verificação e determinação dos métodos de validação parcial das simulações para modelagem de sistemas em SPECT. Concomitantemente, foi desenvolvida uma interface (protótipo) para a interação e submissão das simulações de modo facilitado no cluster do LAD da PUCRS. A instabilidade dos processos internos da ferramenta computacional acarretaram problemas que acabaram atrasando as simulações, devido à *bugs* da versão disponível. O programa GATE é de código aberto, os problemas aparecem no fórum de discussão dos usuários cadastrados no site do GATE, como pode ser visto em <http://lists.opengatecollaboration.org/mailman/listinfo/gate-users>. Apesar de problemas terem sido resolvidos no *upgrade* da versão GATE 4 para a versão GATE 5 e GATE 6, realizadas em 2009/2010, alguns problemas no aplicativo gerador da simulação, referentes a outras funções que afetaram as aplicações deste projeto, ainda perduram. Dessa forma, ocorreu um atraso na disponibilidade do banco de imagens simuladas bem como nas adaptações das simulações. O projeto também foi limitado na questão da estrutura de *grid*, pois o grupo responsável por esta execução atrasou a implementação por parte do projeto principal (FRIDA), fazendo

com que a autora mudasse o foco do trabalho somente para a questão do ambiente colaborativo que poderá ser implementado ao *grid* futuramente.

O banco de imagens de aquisições experimentais passou por um momento crítico da disponibilidade de material radioativo para a realização das aquisições nos serviços de MN dos colaboradores. O problema era de dimensão mundial, pois existiu uma escassez de disponibilidade de ^{99m}Tc , utilizado nestas aquisições. Como as prioridades para disponibilidade de material radioativo é para pacientes, assim que o problema estabilizou, as aquisições experimentais foram novamente realizadas.

O término da primeira fase do projeto FRIDA também causou problemas ocorrendo a redução na equipe de trabalho. Assim sendo, somente um membro da equipe trabalhou ativamente no projeto, responsável pela parte de implementações no ambiente, juntamente com a autora. Portanto, para a realização desta proposta a autora se responsabilizou pela execução de múltiplas tarefas do projeto (contatar e recrutar a amostra, abastecer os bancos de imagens e documentos, seleção de materiais e *softwares* para a disponibilização no ambiente, aquisições experimentais e seus planejamentos, realizar as simulações e suas otimizações e validações, elaborações de ferramentas de análise e testes de validação destas, *upload* dos materiais no ambiente e descrições de materiais utilizados, entre outras atividades relevantes) acarretando atraso do cronograma, possivelmente reduzindo a qualidade dos materiais disponibilizados inicialmente nos casos do teste piloto e principalmente reduzindo o tempo de disponibilidade do ambiente colaborativo para o teste de validação com os usuários (1 mês).

A limitação do número da amostra impossibilitou uma análise separada para Físicos Médicos e Médicos Nucleares. A disponibilidade de acessar o ambiente no período de um mês foi crítica em virtude dos profissionais atuarem em áreas de intenso fluxo de trabalho.

A atuação dos moderadores considerada fraca por parte dos usuários ajudou na desmotivação do grupo ao tratarmos da questão de colaboração na construção do ambiente. A capacitação dos moderadores e a determinação de tempo para interagir com os outros usuários e organizar/alterar o ambiente deve ser planejada.

Em relação às ferramentas de visualização e processamento de imagens disponibilizadas, sendo pouco flexíveis e não contemplando os aspectos relevantes utilizados pelos profissionais nas estações de trabalho usuais na área, acarretam problemas na interação com os bancos de imagens e desestimularam sua utilização por parte dos usuários. Uma nova possibilidade deve ser planejada em relação aos *softwares* de processamento e análise, seja em desenvolvimento de novas ferramentas, ou ainda em parcerias com as empresas que as fornecem nos serviços de Medicina Nuclear.

Após este primeiro teste, o ambiente deverá ser implementado integrando as sugestões dos usuários e uma equipe nova de trabalho ou ainda, perdurando o projeto FRIDA, as atividades deste projeto devem ser retomadas pela equipe.

Também seria de extrema importância os novos testes de interação a partir de novos contatos com instituições que disponibilizassem seus residentes para a avaliação do ambiente.

Considerando a dinâmica deste processo, acredita-se que o ambiente estará em permanente construção e reconstrução, ampliando e melhorando sua capacidade de produzir um ambiente colaborativo de aprendizagem e de prática para a comunidade de Medicina Nuclear.

7 REFERÊNCIAS

AFONSO, C. **Internet no Brasil: o acesso para todos é possível?** ILDEFES - Friedrich Ebert Stiftung, 2000.

ALBERIO, M.V.; OLIVEIRA, J.C. **ACONTECE : um Ambiente Colaborativo para Treinamento Cirúrgico**, in Proceedings of 4th Symposium on Virtual Reality. São Paulo, Outubro, 2004.

ALMEIDA, M. E. **Educação, ambientes virtuais e interatividade**. IN: SILVA, M. **Educação online: teorias, práticas, legislação e formação corporativa**. São Paulo: Loyola, 2003.

ALRAWAHI, disponível em: <http://www.squ.edu.om/med/>, **The e-Learning Evolution at Sultan Qaboos University College of Medicine & Health Sciences**, 2006.

ANDRADE, A. F. **Constuindo um ambiente de aprendizagem a distância inspirado na concepção sociointeracionista de Vygotsky**. In: SILVA, Marco (org). **Educação on line**. São Paulo: Loyola, p. 255-270, 2003.

ANGER, H. **Scintillation Camera**. The Review of Scientific Instruments, January, 1958.

ARETIO. L. G., CORBELLÀ, M. R., e FIGAREDO, D. D. **De La educación a distancia a la educación virtual**. Editora Ariel, Barcelona, 2007.

ASSIÉ K. et. al. **Monte Carlo simulation in PET and SPECT instrumentation using GATE**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 527, pages:180–189, 2004.

ASSIÉ, K. et al. **Validation of Gate Monte Carlo Simulations for Indium 111 Imaging**. IEEE Xplore, 2004.

BEENHOUWER, J. et al. **Cluster computing software for GATE simulations**. Med. Phys. Vol. 34, pages:1926-1933, 2007.

BEILER, A. **A Produção de redes de conversação como base à aprendizagem.** Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

BORGES, J. A. **Relatório dos Testes de Aceitação da Câmara Forte Philips – Hospital São Lucas da PUCRS.** Porto Alegre, Setembro, 2005.

BRAMBILLA, C.R. **Impacto da Determinação da Profundidade Renal na Quantificação Renal Absoluta em Estudos de Cintilografia Plana com ^{99m}Tc -DMSA.** Trabalho de conclusão do Bacharelado em Física Médica – Faculdade de Física – PUCRS, Porto Alegre/RS, 2007.

BRENNAND, E. G. G. **Ciberespaço e educação: navegando na construção da inteligência coletiva.** Inf. & Soc., João Pessoa, v.11, n.1, p.139-153, jan./jun., 2001.

CAMARA, G., et al. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling.** J Computers & Graphics, 20:(3) 395-403, May-Jun, 1996.

CARNEIRO, P.J., COSTA, R. A. and MEIRA, S. R. L.. **Uma Ferramenta para Realização de Gestão de Conhecimento e Recomendação Automática de Leituras em Fábricas de Software.** Sistemas Colaborativos, Simpósio Brasileiro, 2008.

CASTRO, A.; ROSSI G.; DIMENSTEIN R. **Guia Prático em Medicina Nuclear: A instrumentação.** São Paulo, ed. SENAC, 2000.

CHEN, C. et al. **Integration of SimSET photon history generator in GATE for efficient Monte Carlo simulations of pinhole SPECT.** Medical Physics, 35 (7), Julho, 2008.

DANTAS, B. T., et al. **Uma Ferramenta Web de Apoio à Coordenação de Projetos em um Ambiente Colaborativo.** Sistemas Colaborativos, Simpósio Brasileiro, 2008.

ELL, P.J., GAMBHIR, S.S. **Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment.** Ed. 3., Vol. 2. Churchill Livingstone, 2004.

FOLKS, R.D, et al. **Interpretation and Reporting of Myocardial Perfusion SPECT: A Summary for Technologists**. Journal of Nuclear Medicine Technology. Vol. 30, n^o 4, December, 2002.

FOSTER, I., KESSELMAN, C., TSUDIK, G. and TUECKE, S., A Security Architecture for Computational Grids. in ACM Conference on Computers and Security, 1998, 83-91.

FOSTER, I; et al. **The Grid 2 Blueprint for a New Computing Infrastructure**, 2003.

FRANZ, K.N. **Detectabilidade de lesões em exames de Perfusão Cardíaca em SPECT**. Trabalho de Conclusão da Faculdade de Física – PUCRS, Porto Alegre, 2006.

FUNK, T., KIRCH, D. L., KOSS, J. E., BOTVINICK, E., and HASEGAWA B. H. **A Novel Approach to Multipinhole SPECT for Myocardial Perfusion Imaging**. Journal of Nuclear Medicine, 47:595–602, 2006.

GONZALES, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de Imagens Digitais**. 1^oed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

GOTTHARDT, M., et al. **How to Successfully Implement E-learning for Both Students and Teachers**. Academic Radiology. Vol 13, n^o 3, March, 2006.

HEALTHGRID. Disponível em: <<http://www.healthgrid.org/>>.

HOLLY, T.A., et al. **ASNC Imaging Guidelines for Nuclear Cardiology Procedures: Single photon - emission computed tomography**. Journal of Nuclear Cardiology, published online, June 2010. Pages: 1071-3581.

HUNG-YI, S., REN-SHYAN, L., JING-LONG, H., SHU-QUINN, L., SHIH-JEN, W. **A Count-Preserved Method to Determine Accurate Radiotracer Concentrations of ^{99m}Tc Solutions in a Cardiac Phantom for Experimental ^{99m}Tc-MIBI GSPECT Studies**. Ann Nucl Med Sci, v.19, p.141-148, 2006.

JASZCZAK, R. and Greer, L.K. **Data Spectrum Corporation: Anthropomorphic Torso Phantom – User’s Manual**. Web site: <<http://www.spect.com>>, Junho, 2008.

JASZCZAK, R. **Data Spectrum Corporation: Cardiac Phantom – User’s Manual**. Web site: <<http://www.spect.com>>, Junho, 2008.

JASZCZAK, R.J., et al. **Physical factors affecting quantitative measurements using camera-based single photon emission tomography SPECT**. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-28, n^o. 1, Feb; 1981.

JOHNS, H.E., CUNNINGHAM, J.R. **The Physics of Radiology**. Ed. 4. Springfield, 1983.

JÖNSSON, B.A., et al. **EMERALD and EMIT – Worldwide computer aided education and training packages in medical physics**. CAL-laborate, June, 2005.

KAHN, C.E., et al. **A Presentation System for Just-in-time Learning in Radiology**. Journal of Digital Imaging, vol. 20, n^o 1, March, p. 6-16, 2007.

KRAMER, R.; ZANKL, M.; WILLIAMS, G.; DREXLER, G. **The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. Part I: the male (Adam) and female (Eva) adult mathematical phantoms**. GSF Report S-885, National Research Centre for Health and Environment, Neuherberg, Germany, 1982.

LAMARE, F. et al. **Validation of a Monte Carlo simulation of the Philips Allegro/GEMINI PET systems using GATE**. Physics in Medicine and Biology, 51, pages: 943–962, 2006.

LAPIS, A.L.M. **Validação da Modelagem de um Sistema de Aquisição de Imagens em Medicina Nuclear**. Trabalho de conclusão do bacharelado em Física Médica – Faculdade de Física – PUCRS, Porto Alegre/RS, 2008.

LAZARO D. **Validation de la plate-forme de simulation GATE en Tomographie d'Émission Monophotonique et application au développement d'un algorithme de reconstruction 3D complete**. 210p. Tese (Doutorado em Física Corpuscular) Université Blaise Pascal. France, 2003.

LÉVY, P. **As Tecnologias da Inteligência - O Futuro do Pensamento na Era da Informática**. Tradução de Carlos Irineu da Costa, Editora 34 Ltda, 2004.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Ed.34, 1999.

LITTO, F.M., FORMIGA, M.M. **Educação a distância: o estado da arte**. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2009.

LJUNGBERG, M., STRAND, S. E. and KING, M. A. **Monte Carlo Calculations in Nuclear Medicine: Applications in Diagnostic Imaging**. Medical Science Series, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1998.

MAGILL, J., et al. **NUCLEONICA: a nuclear science portal**. International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, 2007.

MAMMOGRID, 2007. Disponível em: <http://mammogrid.vitamib.com>

MORAES, R; GALIAZZI, M.C. **Análise Textual Discursiva**. Ed. Injuí, 224p, Ijuí - RS, Brasil, 2007.

O'CONNOR, M.K et al. **A multicenter evaluation of commercial attenuation compensation techniques in cardiac SPECT using phantom models**. Journal of Nuclear Cardiology, July/August, 2002.

OLABARRIAGA, S.D., et al. **Virtual Laboratory for e-Science Project**. Fifth International Workshop on Biomedical Computations on the Grid. Rio de Janeiro, Brasil, May, 14-17, 2007.

PALLOFF, R.M.; K. PRATT. **Building learning communities in cyberspace: effective strategies for the online classroom**. Jossey-Bass Publishers, 1999.

PARK, M. et al. **Validation of a GATE Model for the Simulation of a Trionix TRIAD SPECT Camera**. Journal of the Korean Physical Society, Vol. 55, No. 2, pages: 681-687, August 2009.

PATTERSON, H. **A distance assisted training programme for nuclear medicine technologists methodology and international experience**. Rev. Med. Nucl. Alasbimn v.5(18), oct. 2002.

PERALTA, H.; COSTA, F. **Competência e confiança dos professores no uso das TIC. Síntese de um estudo internacional.** Revista de Ciências da Educação, n.º 3, mai/ago 07, p. 77-86, 2007.

PHILIPS *web site*. Disponível em: <<http://www.medical.philips.com/>>. Acesso em: 10/06/09

PIAGET, J. **Como se desarrolla la mente del niño.** In : PIAGET, J et all. **Los años postergados: la primera infancia.** Paris : UNICEF, 1975.

RICOY, M.; COUTO, M. **As tecnologias da informação e comunicação como recursos no Ensino Secundário: um estudo de caso.** Revista Lusófona de Educação, 2009, 14, p. 145-156.

RODRIGUES, S.I. **Simulação de Monte Carlo de uma Câmara Gama e Validação Experimental.** 140p. Tese (Mestrado em Imagiologia Médica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Algarve, 2006.

SANTIN, G. et al. **Evolution of the GATE project: new results and developments.** Nucl. Physics, n. B172, p. 101-103, 2007.

SEGARS, W. P. **Development and Application of the New Dynamic NURBS-based Cardiac-Torso (NCAT) Phantom.** Tese de Doutorado – The University of North Carolina, 2001.

SEGARS, W. P., MORI, S. G., CHEN, T. Y., and TSUI, B. M. W. **Modeling Respiratory Motion Variations in the 4D NCAT Phantom.** IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2007.

SEGARS, W. P., TSUI, B. M. W., DA SILVA, A. J., and SHAO, L. **CT-PET Image Fusion using the 4D NCAT Phantom with the Purpose of Attenuation Correction.** IEEE Transactions on Nuclear Science, 2002.

SILVA, A.M. **Reconstrução Quantitativa de SPECT: Avaliação de Correções.** Tese (Doutorado em Física) – Faculdade de Física, USP, São Paulo, 1998.

SIMBIO PROJECT. Disponível em: <<http://www.simbio.de,2000.EU>> IST project IST – 1999-10378, 2000-2003.

SKIADOPOULOS, S. et al. **Evaluating image denoising methods in myocardial perfusion single photon emission computed tomography (SPECT) imaging.** Measurement Science and Technology 20, 2009.

SORENSEN, J.A.; PHELPS, M.E. **Physics in nuclear medicine.** Nova York: W. B. Saunders Company, 2003.

STABIN, M. **Nuclear medicine dosimetry – Review.** Physics in Medicine and Biology, 51. Pages: R187–R202, 2006.

STAELENS, S., et. al.,. **GATE: Improving the computational efficiency.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. Volume 569, Issue 2, December, p. 341-345, 2006.

STRUL, D. et al. **GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission): a PET/SPECT general-purpose simulation platform.** Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) n. 125, p. 75-79, 2003.

TECDOC. **Quality control of Nuclear Medicine Instruments, IAEA – TECDOC 602,** 1991.

THRALL, J.H. **Medicina Nuclear.** 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem.** Rio de Janeiro: Martins Fontes, 1998.

WALLIS, J.W., et al. **An Internet-based Nuclear Medicine Teaching File.** The Journal of Nuclear Medicine, vol. 36, n^o 8, August, 1995.

WENGER, E. **Communities of Practice – learning, meaning and identity.** Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

WENGER, E., et. al. **Communities of Practice: The Organizational Frontier.** Harvard Business Review, Vol. 78, N^o. 1Jan-Feb, 2000.

XU, X.G; CHAO, T.C; BOZKURT, A. **Vip-Man: An Image-Based Whole-Body Adult Male Model Constructed from Color Photographs of the Visible Human Project for Multi-Particle Monte Carlo Calculations.** Health Physics Vo. 78(5). Pages: 476-486, 2000.

ZAIDI, H. and SGOUROS, G. **Therapeutic Applications of Monte Carlo Calculations in Nuclear Medicine.** Series in Medical Physics and Biomedical Engineering, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.

ZAIDI, H. **Relevance of accurate Monte Carlo modeling in nuclear medical imaging.** Medical Physics 26, April. Pages: 574-608, 1999.

APÊNDICE A

Questionário de Análise de Opinião dos Usuários
You can include any text or info that will help people fill this out.
Dados de identificação:
Seus dados serão preservados.
Nome: *
<input type="text"/>
Sobrenome: *
<input type="text"/>

I) Avaliação dos materiais disponíveis no ambiente colaborativo:

a) quanto à importância dos itens do menu (Estudos de Casos, Aquisição, Processamento e Correções de imagens): *

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

b) quanto à importância dos bancos de imagens (Clínicas, Experimentais e Simuladas): *

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

c) quanto à possibilidade do usuário contribuir com casos, questões e materiais: *

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

d) quanto à qualidade dos artigos, materiais de apoio, dissertações, teses, trabalhos publicados e relatórios: *

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

e) quanto à disponibilidade de softwares livres para visualização e processamento de imagens: *

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

Utilize este espaço para incluir sugestões em relação aos materiais disponíveis neste ambiente:

II) Avaliação da interação com o ambiente colaborativo:**a) quanto aos fóruns de discussão (qualidade das discussões e atuação dos moderadores): ***

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

Utilize este espaço para incluir sugestões em relação à interação neste ambiente:

III) Avaliação da submissão de simulações de Monte Carlo através do ambiente colaborativo:**a) quanto à possibilidade de futuramente realizar simulações de imagens de Medicina Nuclear através do ambiente colaborativo: ***

Marque na escala o que julga adequado:

- Nada relevante
- Pouco relevante
- Relevante
- Muito Relevante

IV) Avaliação da interface (organização dos elementos no ambiente colaborativo):**a) quanto à localização da informação (ícones e cadastro): ***

Marque na escala o que julga adequado:

- Muito difícil
- Difícil
- Fácil
- Muito fácil

b) quanto à localização do contato com o grupo responsável: *

Marque na escala o que julga adequado:

- Muito difícil
- Difícil
- Fácil
- Muito fácil

c) quanto ao protótipo de submissão de simulação (barra de progresso e ícones para modelar e submeter as simulações): *

Marque na escala o que julga adequado:

- Muito difícil
- Difícil
- Fácil
- Muito fácil

Utilize este espaço para incluir sugestões em relação aos recursos de interface:

V) Avaliação do acesso no ambiente colaborativo:**a) Foi fácil realizar seu cadastro para iniciar a interação no ambiente colaborativo? ***

- Sim
- Não

Se não, porquê?

VI) Na sua opinião:

a) Como este ambiente poderia ser utilizado por um supervisor com sua equipe? *

b) Como este ambiente poderia ser utilizado para a capacitação continuada de um grupo de profissionais? *

Utilize este espaço para incluir comentários ou sugestões complementares a este questionário.

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PROJETO: AMBIENTE COLABORATIVO PARA FORMAÇÃO DE PESSOAL EM MEDICINA NUCLEAR

(uma cópia para o Executor e outra para o indivíduo)

INFORMAÇÕES AOS INDIVÍDUOS CONVIDADOS A PARTICIPAR DO ESTUDO

Esta é uma pesquisa que tem por objetivo principal utilizar a tecnologia *grid* disponível gratuitamente para desenvolver um ambiente interativo experimental visando a formação de recursos humanos na área da Medicina Nuclear.

A intenção desse estudo é possibilitar uma maior interatividade aliada a um poder computacional permitindo uma formação multidisciplinar da equipe que atua em medicina nuclear, auxiliando o público médico, principalmente no que diz respeito aos residentes iniciantes na área, ampliando a compreensão de fatores relevantes na formação e processamento de imagens cintilográficas.

Visto que existe uma limitação na formação em medicina nuclear devido à falta de imagens que apresentem eventos raros como: falhas do equipamento, erros na marcação dos radiofármacos, mudanças nos protocolos de aquisição e processamento das imagens, os médicos em residência acabam adquirindo o conhecimento mínimo necessário a partir dos estudos de casos e bibliografia disponível na área. Como os processos envolvidos em um serviço de medicina nuclear nem sempre são de fácil compreensão, as ferramentas para a análise e aquisição das imagens não podem ser muito diferentes daquelas utilizadas na prática clínica. Outros fatores, como a questão ética dos efeitos biológicos relacionados com a radiação ionizante em pacientes, o custo de material e os tempos de aquisição impossibilitam o aprendizado a partir da repetição de exames com diferentes opções de aquisição ou processamento.

Sendo assim, mesmo que seja indispensável a compreensão dos fatores que influenciam na imagem para o diagnóstico a partir das aquisições realísticas em

estudos de medicina nuclear, ainda não é possível, nem factível, a utilização dos recursos reais (pacientes, equipamentos e pessoal) de um serviço somente para a aprendizagem e prática clínica do médico em formação ou até mesmo para capacitação continuada.

Neste caso, o propósito deste projeto é desenvolver, a título de protótipo, um ambiente interativo de aprendizagem e prática que disponibilize um conjunto de ferramentas de acesso simples à imagens simuladas de medicina nuclear pelo método de Monte Carlo, dentro de um experimento controlado de *grid* de colaboração para formação de recursos humanos nesta área.

Os benefícios do projeto podem ser diversos, sobretudo se considerarmos que este projeto é aplicado à área da saúde, carente de recursos, principalmente quando se trata de saúde pública e de aplicações diretas no ensino médico continuado.

A partir disto, imagens de SPECT (*Single Photon emission Tomography*) cardíaco serão simuladas pelo aplicativo GATE (*Geant4 Application for Tomographic Emission*) com modelos antropomórficos realísticos (4D NCAT *phantom*). Este pacote de ferramentas computacionais foi desenvolvido a partir do programa Geant4 (*Geometry and Tracking*) pela equipe do CERN (*Centre Européen de Recherche Nucléaire*), e vem sendo utilizado pela comunidade científica devida à sua aplicação versátil e adaptada para o campo da medicina nuclear. A técnica de aquisição de SPECT cardíaco (perfusão do miocárdio) foi escolhida em virtude de ser a técnica de maior demanda e relevância clínica nos serviços de medicina nuclear.

Esta pesquisa não traz nenhum risco a saúde e também não requer custos adicionais, pois se tratam de interações e processos virtuais/computacionais.

Convidamos você a participar dessa pesquisa, por atuar na área de medicina nuclear, sendo médico ou físico médico em medicina nuclear. Sua participação se estiver de acordo com ela, envolverá o preenchimento de questionários para avaliar seus interesses e expectativas em relação ao ambiente proposto; a realização de interações e discussões no ambiente proposto e o preenchimento de um questionário final para a sua avaliação pessoal sobre tal ambiente no intuito de trazer questões que possibilitem a melhora da ferramenta disponibilizada.

Entretanto, tudo isso somente será feito, depois de você autorizar a sua participação nesse estudo, entregando um documento assinado com seu consentimento.

A realização das interações com o ambiente proposto ocorrerá assim que este estiver com as mínimas condições necessárias para a atividade. Portanto, necessitaremos de seu e-mail previamente para no caso de precisarmos contatá-lo e até mesmo para seu cadastro no ambiente proposto assim que a atividade puder ser iniciada.

Seu nome será mantido em sigilo pelos pesquisadores envolvidos no estudo, sendo estes dados utilizados apenas para esta pesquisa. Nenhum resultado será divulgado ou liberado para terceiros. São considerados dados sigilosos, e estarão apenas à sua disposição.

A seguir, por favor, leia e discuta caso necessário as seguintes questões sobre a sua participação nessa pesquisa. Sublinhe a sua resposta para cada um desses itens:

1	Você teve acesso às informações necessárias por quem vai realizar a pesquisa?	Sim	Não
2	Você pôde fazer perguntas a respeito desta?	Sim	Não
3	As respostas que lhe deram foram satisfatórias?	Sim	Não
4	Você entendeu que o resultado será sigiloso?	Sim	Não
5	Você entendeu que você está livre para sair do estudo a qualquer momento?	Sim	Não
	sem precisar dar qualquer explicação?	Sim	Não
	sem que isso afete a você?	Sim	Não
6	Você deseja receber os resultados quando estes ficarem prontos?	Sim	Não
7	Você concorda em participar desse estudo?	Sim	Não

Assinatura

Nome por extenso

Profissional em medicina nuclear

e-mail:

Telefone para contato:

Data:

Responsáveis:

Professor Dr. Vinicius Duval da Silva (vinids@pucrs.br)

Serviço de Anatomia Patológica do Hospital São Lucas da PUCRS; Porto Alegre e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.Tel.: (51) 33203015/33203220 Fax: (51) 33203040

Professora Dra. Ana Maria Marques da Silva (ana.marques@pucrs.br)

Diretora da Faculdade de Física da PUCRS; Porto Alegre.

Tel: (51)3320-3535 Fax: (51) 3320-3616

Mestranda Cláudia Régio Brambilla (claudinharb@terra.com.br)

Programa de Pós-graduação da Faculdade de Medicina PUCRS

Núcleo de Pesquisa em imagens médicas (NIMed)- Faculdade de Física PUCRS

Tel: (51)3320-3682 r.7813 Cel: (51) 84251368

APÊNDICE C

Resultados da Modelagem da Câmara SPECT FORTE da Philips*Resultados dos Testes de Sensibilidade do Sistema*

As imagens que resultaram das aquisições experimentais com a câmara FORTE Philips no teste de sensibilidade com a fonte *flood* podem ser visualizadas na Figura 47.



Figura 47: (a) Imagem da aquisição real na câmara Forte Philips para o teste de sensibilidade com a fonte *flood* sobre o detector com colimador VXGP; (b) Imagem da aquisição real na câmara Forte Philips para o desconto do fundo (*background*) no teste de sensibilidade.

A imagem que resulta da simulação experimental com a câmara FORTE Philips no teste de sensibilidade com a fonte *flood* é ilustrada na Figura 48.

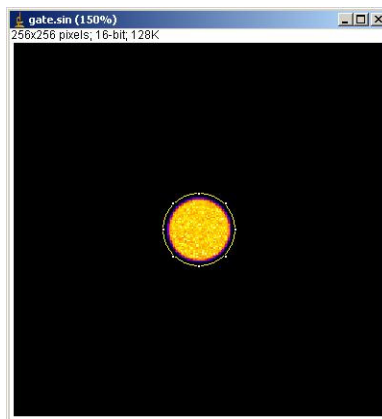


Figura 48: Imagem da simulação para o teste de sensibilidade com ROI para a medida das contagens totais (igualmente foi empregada esta ROI na imagem experimental). Cabe ressaltarmos que na simulação não teremos radiação de fundo.

Podemos comparar os resultados (utilizando a Equação 3) com os dados do fabricante e os resultados da aquisição experimental em relação aos dados de simulação com seus respectivos desvios padrão e erro percentual (%) conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Dados do teste de sensibilidade, comparação em erros percentuais.

Dados Medidas	Fabricante	Experimental	Simulação
Sensibilidade (contagens/MBq.s)	$7,20 \cdot 10^{-5} \pm 0,0085$	$6,75 \cdot 10^{-5} \pm 0,0021$	$6,89 \cdot 10^{-5} \pm 0,0083$
Erro em relação ao Fabricante (%)	NA	6,25	4,31
Erro em relação ao Experimental (%)	6,25	NA	-2,07

O perfil das contagens por pixel na imagem pode ser visto na Figura 49.

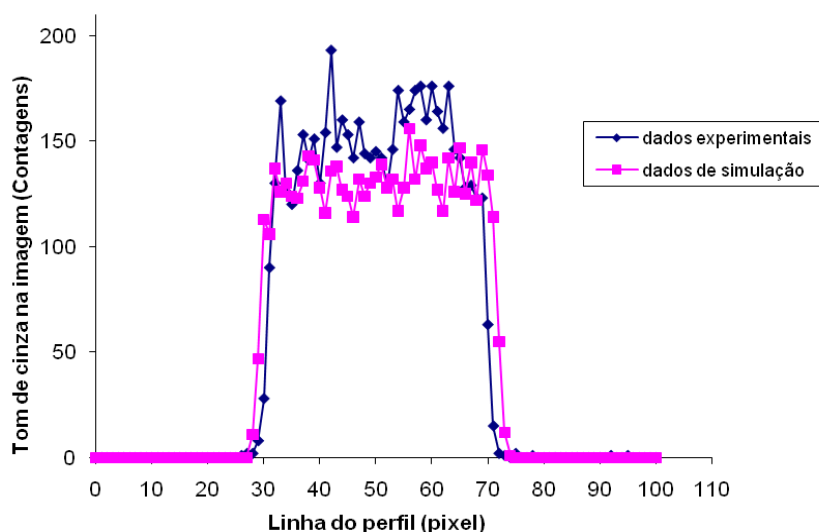


Figura 49: Perfil das contagens por pixel nas imagens de aquisição experimental em comparação com a de simulação.

Podemos verificar a similaridade no perfil das imagens de aquisição experimental e de simulação. A maior variação no perfil da curva azul (experimental) provavelmente se deve ao ruído eletrônico que na simulação não foi acrescentado tendo um comportamento mais estável, ou ainda, a solução da fonte, que na aquisição experimental, apresentou uniformidade inferior que no universo de simulação. Como as imagens foram adquiridas na superfície do colimador, não observamos a influência de sua resposta com a distância, portanto, foram realizados testes com a variação fonte - distância ao detector.

As imagens da aquisição experimental para o teste de sensibilidade com variação da distância fonte-detector podem ser visualizadas na Figura 50, bem como as de simulação na Figura 51.

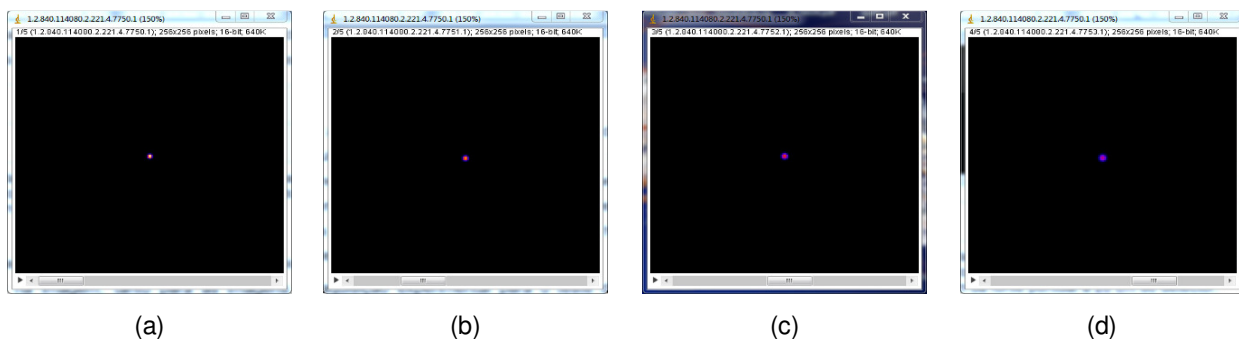


Figura 50: (a) Imagem da fonte pontual a 5 cm do detector; (b) Imagem da fonte pontual a 10 cm do detector; (c) Imagem da fonte pontual a 15 cm do detector e (d) Imagem da fonte pontual a 20 cm do detector.



Figura 51: (a) Imagem simulada da fonte pontual a 5 cm do detector; (b) Imagem simulada da fonte pontual a 10 cm do detector; (c) Imagem simulada da fonte pontual a 15 cm do detector e (d) Imagem simulada da fonte pontual a 20 cm do detector.

Podemos analisar os dados no gráfico da Figura 52 que resultam na sensibilidade do sistema em relação às variações da distância fonte-detector para o colimador VXGP.

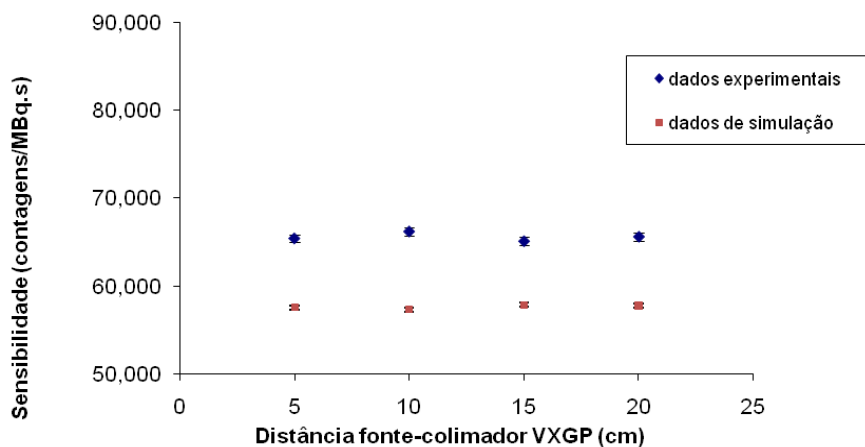


Figura 52: Sensibilidade do sistema em função da distância fonte-detector para o colimador VXGP.

O teste de sensibilidade com a variação da distância fonte – detector apresentou desvios de 12% nos dados da simulação em relação aos valores reais da câmara. Isto pode ser explicado pela diferença na eficiência de contagem entre a câmara real e a simulada, pois além de não terem sido modeladas as fotomultiplicadoras e o guia de luz, tais fatores, foram simulados por um compartimento *backcompartment* disponível em estudos de validação com o GATE (ASSIÉ et al., 2004). Estas geometrias (guia de luz e fotomultiplicadoras) foram modeladas nas simulações em outros trabalhos de pesquisa, como os de Rodrigues (2006) e Lazaro (2003) e nos levam a crer que podem ter produzido tal efeito de diminuição do número de contagens detectadas na simulação neste caso. Pois na câmara real, o valor de eficiência na detecção pode oscilar devido aos componentes da câmara.

Consideramos que a eficiência média obtida entre o número de fótons nas imagens experimentais e o número de fótons detectados nas imagens de simulação calculados pela Equação 4 foi de 16%.

A partir disso, uma eficiência média de contagens de aproximadamente 16% deve ser considerada na simulação, sendo a atividade simulada acrescida deste fator, para as simulações a serem realizadas com esta modelagem de câmara. Os erros após o ajuste encontram-se menores que 5%.

Resultados dos Testes de Resolução Espacial do Sistema

As imagens que resultaram das aquisições reais do teste de resolução espacial do sistema com capilares sobre a superfície do colimador podem ser visualizadas na Figura 53.

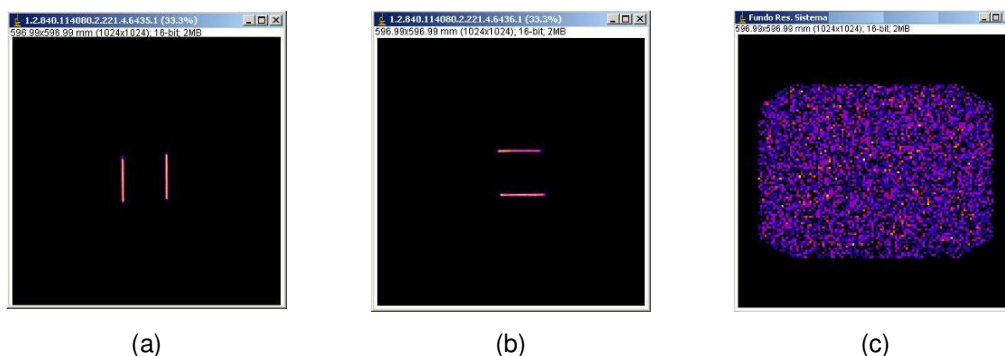


Figura 53: (a) aquisição com fontes lineares sobre o colimador VXGP para análise da resolução espacial do sistema no eixo x do detector; (b) aquisição com fontes lineares sobre o colimador VXGP para análise da resolução espacial no eixo y do detector; (c) imagem da aquisição das contagens de fundo para desconto de contagens nas imagens (a) e (b).

A seguir, na Figura 54 podemos analisar as imagens adquiridas nas simulações para a análise da resolução espacial do sistema com as fontes sobre o colimador VXGP e com uma distância de 10 cm do colimador VXGP.

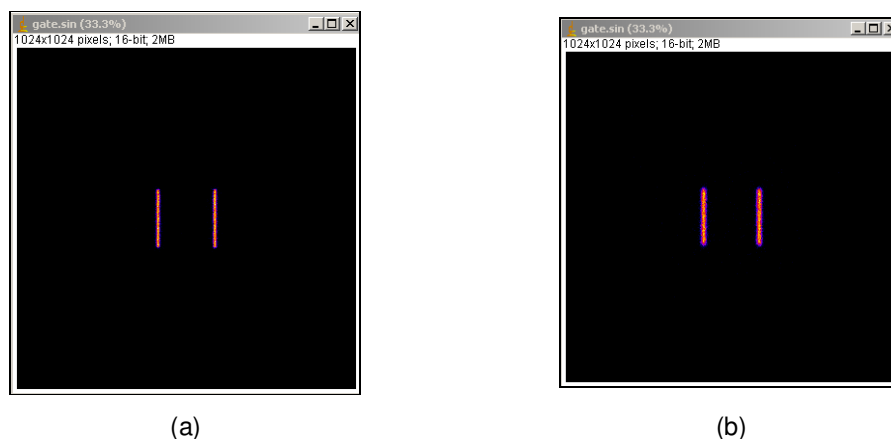


Figura 54: (a) Imagem de simulação com fontes lineares sobre o colimador VXGP para teste de resolução espacial do sistema, (b) Imagem de simulação com fontes lineares à 10 cm do sistema de detecção com colimador VXGP para teste de resolução espacial do sistema.

As imagens da aquisição experimental para o teste de resolução espacial do sistema com variação da distância fonte-detector podem ser visualizadas na Figura 55.

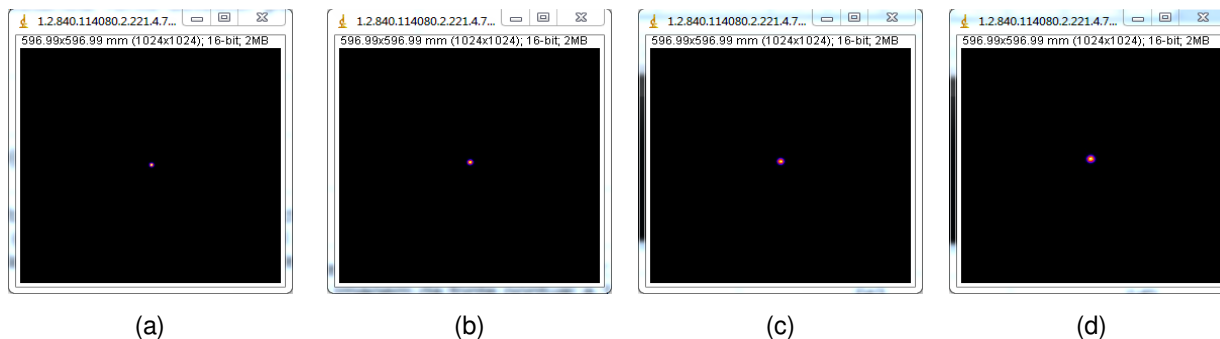


Figura 55: (a) Imagem da fonte pontual a 5 cm do detector; (b) Imagem da fonte pontual a 10 cm do detector; (c) Imagem da fonte pontual a 15 cm do detector e (d) Imagem da fonte pontual a 20 cm do detector.

Na Tabela 6 podemos comparar a média da resolução espacial (calculada utilizando a Equação 5) e o desvio padrão dos três perfis analisados nas imagens de aquisição real e nas simulações, bem como, os erros percentuais dados em função da comparação dos valores dos resultados gerados pelos dados do fabricante, os testes de aceitação do equipamento, as aquisições experimentais e as simulações. Podemos perceber que os erros da simulação comparados aos testes experimentais, de aceitação e os dados reportados pelo fabricante não apresentam grandes desvios indicando que o sistema virtual apresenta uma resposta coerente com o sistema de SPECT real.

Tabela 6: Dados do teste de resolução espacial do sistema (Res_Esp_Sis) e tamanho do pixel utilizando o colimador VXGP (medidas na superfície e à 10 cm do colimador), comparação em erros percentuais.

Dados	Fabricante	Aceitação	Experimental	Simulação
Medidas				
Res_Esp_Sis na superfície (mm)	Na	4,31	4,20 ± 0,070	4,14 ± 0,120
Erro em relação ao Experimental (%)	Na	-2,62	Na	-1,45
Erro em relação ao Fabricante (%)	Na	Na	Na	Na
Erro em relação a Aceitação (%)	Na	Na	2,55	3,94
Res_Esp_Sis a 10 cm (mm)	7,80	7,85	7,75 ± 0,06	6,84 ± 0,290
Erro em relação ao Experimental (%)	-0,64	-1,29	Na	11,74
Erro em relação ao Fabricante (%)	Na	-0,64	0,64	12,35
Erro em relação a aceitação	0,64	Na	1,27	12,91
Tamanho do pixel (mm)	0,583	0,576	0,578 ± 0,005	0,577 ± 0,002
Erro em relação ao Experimental (%)	-0,87	0,35	Na	0,17
Erro em relação ao Fabricante	Na	1,20	0,86	1,03
Erro em relação a Aceitação (%)	-1,22	Na	-0,35	-0,17

O comportamento para o colimador VXGP é apresentado na Figura 56.

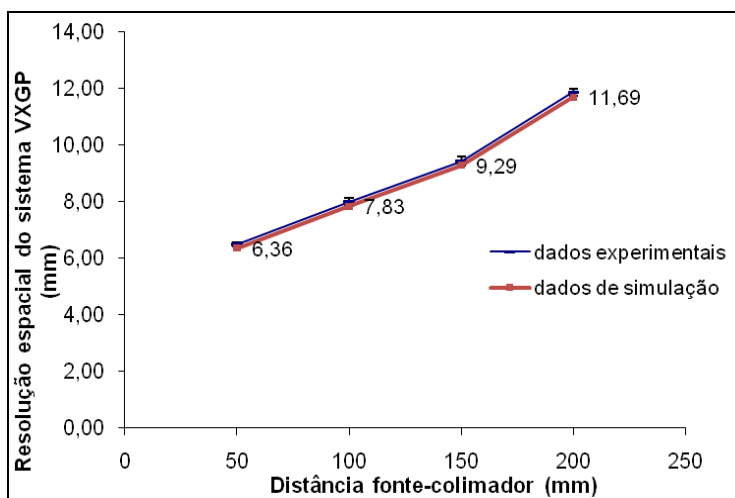


Figura 56: Comportamento da resolução espacial do sistema com colimador VXGP com a variação da distância fonte-detector.

O sistema apresenta um comportamento coerente ao encontrado na bibliografia da característica de colimadores de propósito geral (SORENSEN, et al. 2003, p.245), na investigação da resolução espacial do sistema variando com a distância e em relação a uma resolução intrínseca específica. Os dados de simulação para este teste apresentaram erros menores que 5% em relação às aquisições experimentais.

Resultados dos Testes de Análise do Espectro para o ^{99m}Tc

Os histogramas normalizados pelas contagens máximas por Energia foram *plotados* para a análise e são ilustrados pela Figura 57.

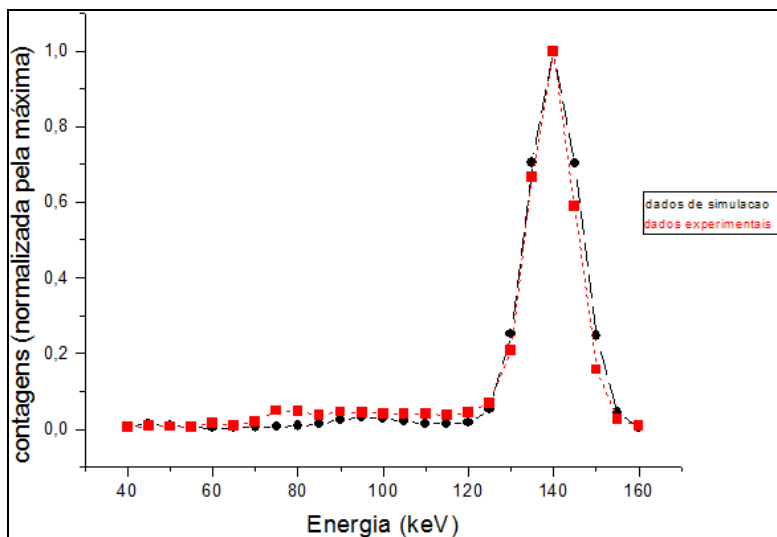


Figura 57: Espectro de Energia para o ^{99m}Tc , dados em comparação da aquisição experimental versus simulação.

Podemos constatar que houve oscilações entres os pontos dos gráficos entre aos espectros de energia. Cabe-nos ressaltar que o experimento foi realizado com fonte pontual no ar. No entanto, sem um objeto atenuador/espalhador, como a água, por exemplo, a análise na parte de espalhamento do espectro e regiões subjacentes a esta se torna complexa. Devido à limitação do tempo, foram encerrados os testes para a obtenção do espectro em outras condições de aquisição, o que é fortemente recomendado pela autora. Como obtivemos maior êxito em relação aos testes de resolução espacial e um possível ajuste na sensibilidade, esta modelagem é recomendada para aquisições somente no fotopico do isótopo ^{99m}Tc em janelas de energia de 20%, como que realizados nos testes anteriores. Também são recomendados os testes com outros radionuclídeos (^{67}Ga , ^{201}Tl , entre outros) para a comparação dos resultados de desempenho da câmara modelada.

Gostaríamos também de salientar que ainda não há grandes consensos em relação às validações de câmaras SPECT no pacote GATE²⁶, devido à modelagem destes experimentos serem muito complexas e terem que ser validadas a cada nova implementação do pacote. A falta de informações sobre os constituintes das câmaras e a distância de comunicação com os fabricantes nas empresas, também tornam esta tarefa suficientemente complexa.

Os *scripts* de Monte Carlo (MC) utilizados neste trabalho estão disponíveis para a implementação no ambiente para submissão facilitada de simulações de MC, bem como, as otimizações realizadas com o modelo antropomórfico NCAT 4D descritas na seção 3 Materiais e Métodos.

²⁶ <http://www.opengatecollaboration.org/gate-modelled-systems/spect-systems.html>. Acesso em 12/12/2010.

APÊNDICE D

CONFIRMAÇÃO DE RECEBIMENTO DE ARTIGO SGP / RB

1 mensagem

sgp@rb.org.br <sgp@rb.org.br>

16 de dezembro de 2010 20:44

Para: claudinha.rb@gmail.com



Radiologia Brasileira

Colégio Brasileiro de Radiologia
Av. Paulista, 37 - 7º andar - conjunto 71
Bela Vista - São Paulo - SP
01311-902
Tel.: (55 11) 3372-4544

São Paulo, quinta-feira, 16 de dezembro de 2010

Ilmo(a) Sr.(a)
Prof(a), Dr(a) Cláudia Régio Brambilla

Referente ao código de fluxo: 1097
Classificação: Artigo Original

Confirmamos o recebimento do artigo Ambiente Colaborativo para Formação de Pessoal em Medicina Nuclear, que será enviado para apreciação dos revisores para possível publicação na **Radiologia Brasileira**. Por favor, para qualquer comunicação futura sobre este artigo, cite o código de fluxo indicado acima.

Obrigado por submeter seu trabalho à **Radiologia Brasileira**.

Atenciosamente,

Edson Marchiori
Editor da **Radiologia Brasileira**

««« Favor não responder esta mensagem pois ela foi gerada automaticamente pelo SGP »»»

Ambiente Colaborativo para Formação de Pessoal em Medicina Nuclear

Collaborative Environment for Nuclear Medicine Training

Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear

RESUMO

OBJETIVOS: Desenvolver e validar um ambiente colaborativo virtual para formação de pessoal em medicina nuclear.

MATERIAIS E MÉTODOS: Para o desenvolvimento do ambiente foram levantadas as premissas, restrições e funcionalidades esperadas por profissionais da área. O protótipo foi desenvolvido no ambiente *Moodle*, incluindo funcionalidades de armazenamento de dados e interação. Um estudo piloto de interação com uma amostra de quinze profissionais experientes da área foi realizado. Análises quantitativas e qualitativas, obtidas a partir de um questionário semi-estruturado foram empregadas.

RESULTADOS: O ambiente colaborativo foi validado e considerado como relevante para a formação de pessoal por uma comunidade de profissionais que atuam em medicina nuclear. Sugestões de melhorias e novas funcionalidades foram encaminhadas. Observou-se a necessidade de estabelecer um programa de formação dos moderadores do ambiente, que possui características de interação distintas do ensino presencial.

CONCLUSÕES: O ambiente colaborativo permitiu a troca de experiências e a discussão de casos entre profissionais localizados em instituições de diferentes regiões do país, possibilitando uma aproximação e colaboração entre esses profissionais. Assim, o ambiente pode contribuir para formação inicial e continuada de profissionais em medicina nuclear.

Palavras-chave: Ambiente Colaborativo. Medicina Nuclear. Educação Médica. Ensino a distância.

ABSTRACT

OBJECTIVES: To develop and validate a virtual collaborative environment for personnel training in nuclear medicine.

MATERIALS AND METHODS: For the environment development assumptions, constraints and features expected from professionals were raised. The prototype was developed using Moodle environment, including data storage and interaction functionalities. A pilot interaction study with a sample of fifteen experienced professionals was conducted. Quantitative and qualitative analysis, obtained from a semi-structured questionnaire, were conducted.

RESULTS: The collaborative environment was validated and considered relevant for personnel training by a community of professionals engaged in nuclear medicine. Suggestions for improvements and new features were proposed. There is a need to establish a training program for moderators for this environment, which has different interaction characteristics than traditional teaching.

Keywords: Collaborative Environment. Nuclear Medicine. Medical Education. Distance Teaching.

INTRODUÇÃO

Atualmente, com a disponibilidade das tecnologias digitais e virtuais, é possível o acesso a ambientes virtuais que disponibilizam materiais instrucionais ou plataformas de suporte a aprendizagem [1]. Algumas destas propostas estão destinadas ao ensino médico. No entanto, normalmente, esses materiais são oferecidos na forma de cursos *online* de acesso aberto ou restrito, como a iniciativa da *American Association of Physicists in Medicine (AAPM)*, juntamente com a *Radiological Society of North America (RSNA)*, na qual módulos foram desenvolvidos para formação de residentes em radiologia ou medicina nuclear [2, 3]. Os módulos, auto-explicativos, foram desenvolvidos por grupos interdisciplinares de especialistas, sempre incluindo, no mínimo, um físico e um radiologista.

Os ambientes virtuais de aprendizagem na área médica costumam utilizar conteúdos estáticos e sequenciais, sem a incorporação da interação. Em tais ambientes, a interatividade costuma restringir-se apenas à liberdade de navegação dos usuários individualmente, não possibilitando a interação entre usuários ou a inserção de novos questionamentos ou materiais no ambiente.

As formas tradicionais para o aprendizado médico em medicina nuclear costumam ser realizadas por meio de discussões em torno de bancos de imagens clínicas, pelo acompanhamento de especialistas nas análises das imagens, além dos cursos presenciais ou a distância, e por meio do estudo bibliográfico [1]. Dentro dessa realidade, o seguinte problema se coloca no que diz respeito à capacitação de pessoal em medicina nuclear: Como promover a formação inicial e continuada dos profissionais que atuam nas equipes de medicina nuclear, considerando o pequeno número de centros formadores no país?

As tecnologias de informação e comunicação disponíveis atualmente podem ser utilizadas para ampliar a compreensão dos processos envolvidos na obtenção e processamento de

imagens médicas. Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento e validação de um ambiente virtual colaborativo que possibilita a interatividade, aliada ao poder computacional, para a formação de equipes em medicina nuclear (MN).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do ambiente colaborativo, inicialmente foram realizadas reuniões exploratórias com equipes multidisciplinares compostas por físicos médicos, médicos nucleares e cientistas da computação, para identificação das premissas e restrições organizacionais, ambientais e externas do futuro ambiente colaborativo. Aspectos da infraestrutura das instituições e hospitais parceiros, assim como as questões de segurança e acessibilidade de dados/informações pela equipe de informática foram discutidas de forma a definir os requisitos do sistema. A partir deste estudo preliminar, os seguintes requisitos para o desenvolvimento do ambiente colaborativo foram definidos:

- disponibilizar aos usuários uma interface amigável, possibilitando a interação entre usuários e o acesso a conteúdos dinâmicos;
- permitir que os usuários interagissem em fóruns de discussão;
- disponibilizar conteúdos de interesse para a MN, tais como bancos de imagens e materiais bibliográficos de apoio;
- permitir a submissão facilitada de simulações computacionais em MN, com a utilização de recursos computacionais de alto desempenho.

Para a construção de um protótipo do ambiente colaborativo e sua validação o exame de perfusão do miocárdio foi escolhido como uma aplicação específica, devido a sua alta demanda na rotina dos serviços de MN. Tópicos de discussão, tais como parâmetros de aquisição e reconstrução tomográfica, foram escolhidos para iniciar a interação no ambiente, assim como estudos de casos clínicos. Ferramentas livres de visualização e processamento de imagens digitais foram disponibilizadas. Concomitantemente, foi desenvolvido um protótipo para submissão de simulações computacionais utilizando os recursos de um laboratório de alto desempenho. A simulação computacional de imagens pelo método Monte Carlo (MC) é largamente utilizada para simular os efeitos produzidos por mudanças de parâmetros nas aquisições de imagens em MN [4, 5, 6]. Para a criação do banco de imagens simuladas, um equipamento de MN foi modelado utilizando os recursos disponíveis no pacote GATE (*Geant4 Application for Tomographic Emission*), que simula sistemas PET e SPECT [7, 8].

Como o conteúdo do ambiente colaborativo é dinâmico e depende do interesse dos usuários, inicialmente foi disponibilizado um número limitado de imagens e documentos. O gerenciamento do conteúdo e da segurança do ambiente colaborativo foi realizado por um administrador anônimo, que autoriza o cadastramento dos usuários segundo regras pré-estabelecidas. Moderadores, profissionais experientes na área de MN, atuaram na coordenação das discussões, selecionando os temas de maior relevância a serem debatidos em fóruns.

A amostra dos usuários para a validação do ambiente foi recrutada intencionalmente, de acordo com o perfil dos usuários para a interação no ambiente colaborativo. Foi realizado um estudo piloto com 10 físicos médicos e 5 médicos nucleares. Ao final da interação, os usuários preencheram um questionário semi-estruturado (escala *likert*), avaliando a relevância do ambiente e sugestões para a melhoria da proposta. O teste de interação foi realizado durante um mês.

Estatísticas de acesso dos usuários foram armazenadas e analisadas ao final da interação na busca da compreensão dos caminhos percorridos no ambiente. Número de intervenções nos fóruns de discussão (*Posts*) e interações (*Hits*), assim como os locais de maior acesso foram acessados.

Primeiramente foram realizadas estatísticas descritivas da amostra do teste e o questionário possibilitou a realização de análise sobre as variáveis categóricas.

Foi realizada uma análise textual discursiva baseada em Moraes e Galiuzzi (2007), das perguntas abertas do questionário. Esta abordagem de análise possui um ciclo de operações iniciado pela unitarização dos materiais do “corpus” textual, movendo-se para a categorização das unidades de análise. Na impregnação atingida nesse processo, emergem novas compreensões, que são constituídas através da auto-organização do texto de interpretação dos resultados [9].

RESULTADOS

Desenvolvimento do Ambiente

O ambiente colaborativo em MN foi desenvolvido no *Moodle* e encontra-se em uma máquina virtual, instalada em um *cluster* de alto desempenho. Baseando-se na teoria socioconstrutivista de aprendizagem [10], que permeia a proposta de ambientes colaborativos, materiais foram disponibilizados no ambiente, partindo do pressuposto de que a construção e ampliação dos recursos do ambiente seriam realizadas por meio da colaboração entre os usuários.

O Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear (Figura 31) está hospedado no Laboratório de Alto Desempenho da PUCRS e pode ser acessado pelo endereço <http://marfim.lad.pucrs.br:58080/moodle/>.



Figura 1: *Home* do Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear.

O ambiente está dividido em categorias no Menu principal (Figura 31): Projeto, Imagens, Documentos, Simulação e Contato. Na barra à esquerda estão localizados os tópicos abordados (Cursos), divididos em: Estudos de Casos, Aquisições de Imagens, Processamento de Imagens e Correções nas Imagens. Essas categorias estão subdivididas em subtópicos que trazem os temas e questões de discussão. Em todos os tópicos estão habilitados fóruns de discussão, nos quais os usuários podem debater os temas. Os moderadores e usuários podem utilizar os bancos de imagens e a documentação de apoio nas discussões e incluir materiais e questões novas. Está em desenvolvimento um protótipo de submissão de simulações computacionais através do ambiente colaborativo, que permitirá a escolha de parâmetros para simulação de estudos em medicina nuclear, utilizando o aplicativo GATE.

A Figura 42 ilustra um diagrama do processo de submissão das simulações no ambiente.

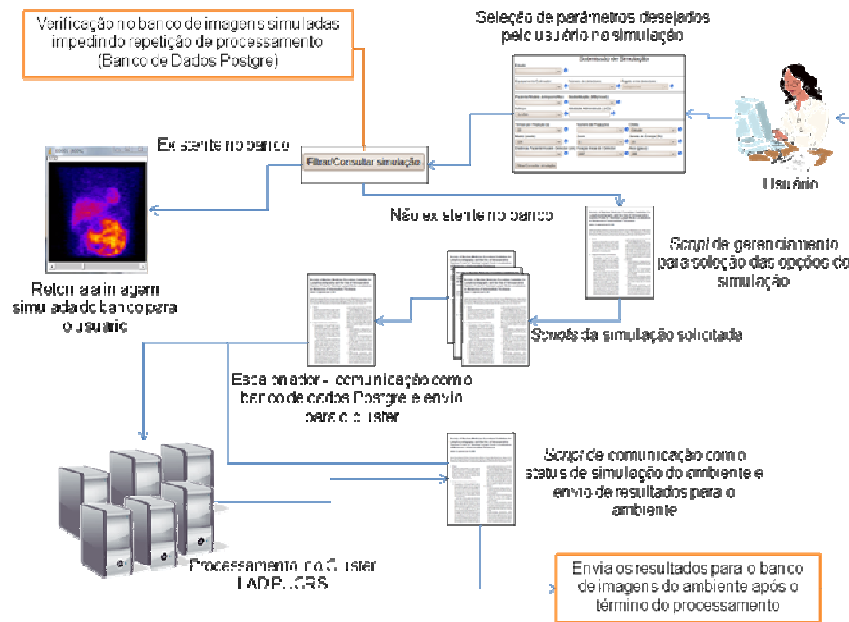


Figura 2: Diagrama de interação do usuário com o ambiente de submissão de simulação e comunicação do ambiente com o cluster do LAD para o processamento e envio das imagens simuladas (retornadas ao ambiente/usuário).

Bancos de imagens clínicas, experimentais e simuladas, assim como *softwares* livres para o processamento e visualização de imagens são acessados no ambiente em *Menu>Imagens*.

Validação do Ambiente em Estudo Piloto

A amostra de interação no teste piloto do protótipo do ambiente colaborativo em MN foi composta por 15 sujeitos, sendo 10 físicos médicos (67%) e 5 médicos nucleares (33%). Entre eles, 67% são do sexo masculino (6 físicos médicos e 4 médicos nucleares) e 33% do sexo feminino (4 físicos médicos e 1 médica nuclear). O tempo de formação médio de graduação da amostra é de 9,4 anos (mediana de 6 anos).

Na amostra, 67% dos participantes na interação possuem pós-graduação com um tempo médio de 3,5 anos de formação. O tempo no cargo ou função atual médio desta amostra

é de 6,27 anos (mediana de 5 anos). A idade média da amostra é de 33,87 anos (mediana de 32 anos).

Para avaliar a interação do usuário com o ambiente, foram coletadas o número de acessos (*Hits*) ou cliques na interface e o número de postagens (*Posts*) dos usuários, que correspondem ao número de intervenções realizadas nos fóruns de discussão. A distribuição dessas variáveis é mostrada na Figura 3.

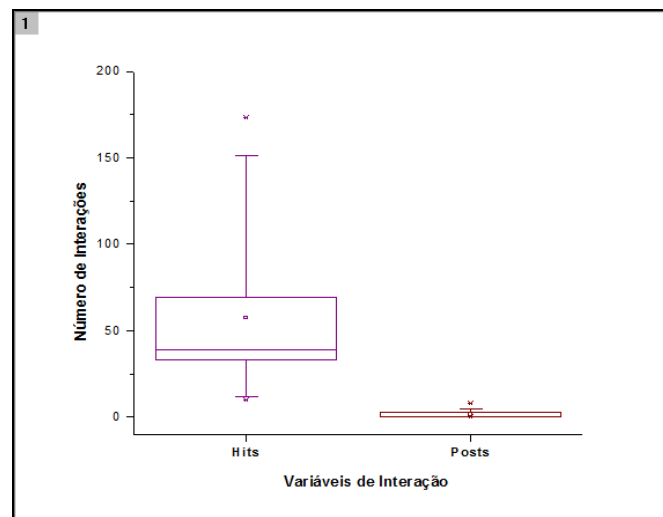


Figura 3: Gráfico da distribuição da mostra em relação às intervenções no ambiente.

Obteve-se uma média de 57 *Hits* (mediana de 39) e 2 *Posts* (mediana 0) dos usuários durante o teste de interação. Pode-se perceber a presença de usuários que apresentam valores *outliers*, correspondendo aos sujeitos com maior número de interações (173 *Hits*) e intervenções nos fóruns (8 *Posts*) do ambiente.

Os valores anteriores foram analisados em conjunto com uma análise descritiva, obtidas a partir da análise qualitativa de opinião dos usuários coletadas no questionário semi-estruturado.

A seguir são apresentados os dados correspondentes às respostas do questionário, que avaliam a *relevância* dos seguintes quesitos: Itens do Menu, Bancos de Imagens,

Possibilidade de Contribuição dos Usuários (casos, questões e materiais); Banco de Documentos (artigos, materiais de apoio, dissertações e teses, trabalhos publicados e relatórios); Disponibilidade de *Softwares* Livres (visualização e processamento das imagens); Interação com o Ambiente Colaborativo realizada nos fóruns de discussão (qualidade das discussões dos fóruns e atuação dos moderadores); e Possibilidade de Submeter Simulações de MC através do Ambiente Colaborativo (protótipo).

A Figura 4 mostra o resultado da opinião dos usuários sobre a relevância nas categorias do questionário de avaliação.

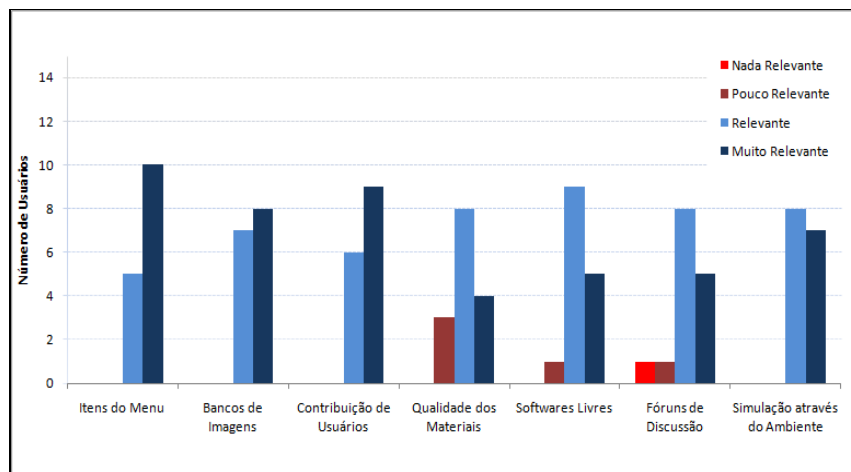


Figura 4: Opinião dos usuários em relação à relevância dos itens do menu, bancos de imagens, contribuição dos usuários, qualidade dos materiais, softwares livres, fóruns de discussão e submissão de simulações.

Quanto à *Avaliação dos Materiais Disponíveis no Ambiente*, os dados quantitativos, representados pelas cinco primeiras categorias da Figura , mostram que todos os usuários consideraram relevantes os itens disponíveis no menu, os bancos de imagens e a possibilidade de o usuário contribuir com casos, questões e materiais para o ambiente. Em relação à qualidade dos materiais disponibilizados, alguns usuários os consideraram pouco relevantes. Podemos observar em um extrato da opinião de um dos usuários neste sentido:

“... sugiro a inclusão de tópicos não relacionados somente com a área de qualidade das imagens.” (FM-01).

Analisando o perfil dos usuários que consideraram a qualidade dos materiais disponibilizados pouco relevantes, observa-se que elas ocorrem com usuários com muita experiência na área, o que pode ter gerado pouca motivação/interesse em relação aos assuntos tratados no ambiente, e com usuários que tinham interesses em outras áreas específicas da MN.

Em relação à opção por disponibilizar poucos materiais inicialmente no ambiente, esta metodologia atende às recomendações de especialistas em ambientes colaborativos na literatura [10], para que os usuários sejam incentivados a contribuir na construção do ambiente. Aretio e colaboradores (2007) destacam a necessidade de aumentar gradativamente a complexidade nos ambientes colaborativos, iniciando o ambiente com materiais básicos.

Os *softwares* livres foram considerados pouco relevantes por um dos usuários e comentários em relação à complexidade do uso foram reportadas. Considerando essa limitação, seria interessante o desenvolvimento de um *software* de visualização e processamento similar às estações de trabalho utilizadas na rotina clínica em MN na ampliação da proposta desta pesquisa. Outra possibilidade seria realizar um acordo com um fabricante que disponibilizasse seu *software* para processamentos de imagens no ambiente.

Quanto aos *Fóruns de Discussão*, os dados quantitativos, representados pela sexta categoria da Figura , que analisa a qualidade das discussões e a atuação dos moderadores, dois participantes consideraram pouco e nada relevantes. Mesmo entre aqueles que consideraram os fóruns de discussão relevantes, os participantes do teste de interação apresentaram diversas sugestões, como mostram os seguintes trechos de opinião dos usuários:

“... o moderador não propiciou o ambiente atrativo e interessante fazendo com que houvesse poucas participações... o moderador deve

promover as discussões inicialmente e o incentivo de acesso ao site...

(FM-04).

“... não fui contemplado com as respostas que precisava do moderador no único caso que participei...” (MN-01).

Apesar dos moderadores que atuaram no ambiente serem profissionais experientes na área de MN, não foram capacitados para atuação em ambientes colaborativos virtuais, o que se revelou necessário após a avaliação. Outro aspecto importante foi o curto período de tempo do teste de interação (um mês). Acredita-se que um período mais prolongado de interação com o ambiente permitirá maior participação dos usuários com todo material disponível e uma contribuição mais efetiva ao ambiente.

Apesar das críticas, de forma geral houve uma boa aceitação dos usuários em relação às funcionalidades disponibilizadas no ambiente colaborativo. As sugestões apresentadas podem ser facilmente implementadas, tais como *chat online*, a inclusão de novos tópicos e materiais em virtude das funcionalidades disponíveis no *Moodle*.

Quanto à possibilidade de *Submissão de Simulações* através do ambiente colaborativo, os dados quantitativos, representados pela sétima categoria da Figura , mostram que todos os usuários consideraram essa funcionalidade relevante ou muito relevante.

Quanto aos *Recursos de Interface*, os dados quantitativos, representados pelas três categorias da Figura , avaliam a organização dos elementos no ambiente colaborativo, nos seguintes quesitos: Localização da Informação (ícones e cadastro); Contato com o Grupo de Pesquisa e o protótipo de Submissão de Simulação (ícones para modelagem e submissão das simulações e barra de progresso do *status* das simulações).

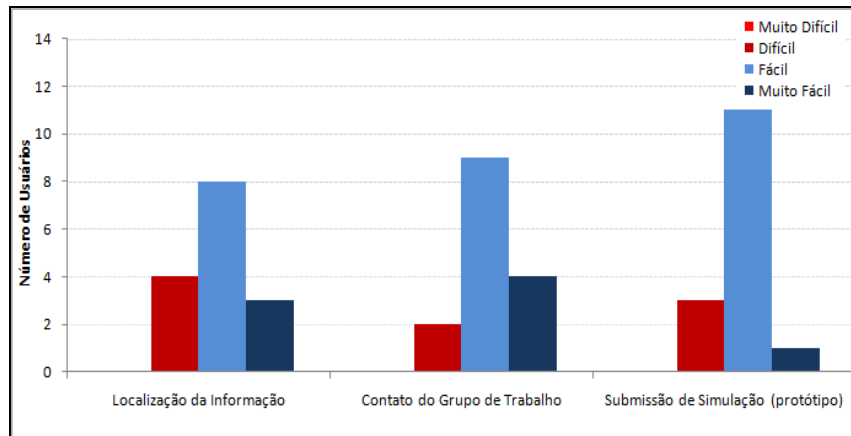


Figura 5: Opinião dos usuários em relação aos recursos de interface; informação, contato do grupo e protótipo de submissão de simulação.

Em relação à *Localização da Informação*, alguns usuários consideraram-na difícil. Destaca-se que, por opção da estratégia de pesquisa, não foi indicado nenhum percurso preferencial aos usuários, deixando-os livres para definirem seu “caminho” no ambiente, permitindo a avaliação da necessidade de implementação de guias no site e com instruções iniciais no ambiente para usuários ingressantes. Pretendia-se avaliar se a interface do ambiente seria passível de compreensão cognitiva, sem qualquer auxílio inicial. A partir do trecho de opinião de um usuário percebe-se a ansiedade frente à interação inicial com o ambiente:

“Por momentos fiquei desorientado quanto à rotina do site, tive algumas dificuldades operacionais, que consegui superar. Poderia haver um pouco mais de facilidade na ordem de postar e na execução de tarefas... foi passageiro, mas atrapalhou...” (MN-02).

As opiniões dos usuários sugerem a necessidade do planejamento de um mapa do ambiente, explicando como o usuário pode interagir no ambiente com um resumo das funcionalidades, em multimídia com explicações.

Em relação ao *Contato com a Equipe* de pesquisa, apesar de alguns revelarem dificuldade em contatar a equipe, não foram recebidos e-mails no contato do grupo disponível

no ambiente, nem intervenções no fórum de dúvidas do ambiente sobre este tema. Não foram encontradas justificativas nas questões abertas, tornando complexa a compreensão sobre essa dificuldade.

Em relação ao protótipo da interface de *Submissão de Simulações*, os usuários não emitiram críticas ou sugestões, dificultando a compreensão dos motivos que levaram à opção pela dificuldade desta interface.

Assim, a avaliação das percepções dos usuários sobre os recursos de interface do ambiente, percebe-se que houve uma boa aceitação em geral entre os usuários sobre os recursos e funcionalidades disponíveis no ambiente. As críticas e sugestões apresentam bons indicativos para a melhoria da proposta, no que diz respeito, principalmente, à necessidade de inserir maiores informações quanto às possibilidades na interação inicial, promovendo uma maior familiarização com o ambiente.

A seguir, é apresentada a análise textual das questões abertas da última parte do questionário sobre a *Utilização deste Ambiente por um Supervisor e sua Equipe e na Capacitação Continuada*. Esta análise é resultante das opiniões em relação ao emprego do ambiente na área de MN, nos âmbitos de formação inicial e continuada.

Os usuários sugerem que o ambiente colaborativo em MN seja utilizado para a discussão de casos e demonstração de artefatos nas imagens, trazendo a possibilidade de sanar dúvidas em relação a temas relevantes. Nas opiniões, a ferramenta é considerada potencialmente útil na avaliação/discussão de casos difíceis e na discussão de opiniões conflitantes no diagnóstico médico. Além disso, esta ferramenta possibilita a solução de problemas cotidianos que poderiam ser discutidos/resolvidos em grupo, a partir da interação e da troca de experiências entre os usuários na comunidade virtual. Com a disponibilidade de fóruns e *chats*, é possível gerar uma troca de conhecimentos e experiências, principalmente

em relação aos diferentes níveis de competências da área de MN. Os usuários destacam que, através da colaboração entre os usuários, será possível criar bancos de dados e imagens para referenciar patologias, falsos positivos e negativos. Dessa forma, à medida que o ambiente tenha um maior número de colaboradores ativos, os bancos podem ser atualizados/ampliados através da inserção de casos raros, reduzindo a perda de informação/casos devido ao limite geográfico. Estudos multicêntricos também poderiam se beneficiar deste ambiente pela facilidade de acesso às imagens e troca de opiniões sobre casos. Os modelos virtuais para a simulação de imagens médicas poderiam ser utilizados em pesquisas na área de MN.

Na opinião dos usuários, com a alta demanda e fluxo de informações do mercado de trabalho atual, a atualização/capacitação dos profissionais é fundamental, assim como a solução rápida e eficiente. Os profissionais se deparam com limites de tempo para o estudo e o aumento do tempo de trabalho e fluxo de informações. O ambiente poderia ser utilizado para o aprendizado contínuo, individual e em ritmo próprio. Observou-se que a maioria dos sujeitos que interagiram efetivamente no ambiente familiarizaram-se com a abordagem socioconstrutivista inerente a um ambiente colaborativo, realizando contribuições significativas.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e validação de um Ambiente Colaborativo em Medicina Nuclear para formação de pessoal, por meio de um estudo de interação piloto com usuários experientes que atuam na área. Foram analisadas as funcionalidades necessárias para implementação de um ambiente colaborativo que permitisse a aprendizagem continuada de grupos de profissionais da MN.

O ambiente desenvolvido foi utilizado e avaliado como relevante para a formação de pessoal por uma comunidade de profissionais que atuam em medicina nuclear. As funcionalidades disponibilizadas, os materiais e tópicos de discussão foram considerados relevantes para a maioria dos usuários. Da mesma forma, o ambiente colaborativo permitiu a troca de experiências e a discussão de casos entre profissionais localizados em instituições de diferentes regiões do país, possibilitando uma aproximação e colaboração entre esses profissionais.

As sugestões de melhorias, tais como a inclusão de *chats* e recursos de multimídia explicativos para os usuários iniciantes no ambiente, serão implementadas futuramente no ambiente, assim como a inclusão de programas de visualização e processamento de imagens com interface amigável e com funcionalidades que possibilitem a análise das imagens. Uma das limitações observadas no processo de interação com o ambiente colaborativo é a capacitação dos moderadores em ambientes virtuais, visto que as interações presenciais são fundamentalmente distintas daquelas realizadas na educação a distância.

REFERÊNCIAS

- [1] Wallis JW, Miller MM, Miller TR, Vreeland TH. An Internet-based Nuclear Medicine Teaching File. *Jour. of Nucl. Med.* 1995;36:1520-26.
- [2] Disponível em: <http://www.aapm.org/education/webbasedmodules.asp>.
- [3] Disponível em: <http://www.aapm.org/education/documents/Curriculum.pdf>.

- [4] Brambilla CR. Impacto da Determinação da Profundidade Renal na Quantificação Renal Absoluta em Estudos de Cintilografia Plana com ^{99m}Tc -DMSA. Trabalho de conclusão do Bacharelado em Física Médica – Faculdade de Física – PUCRS, Porto Alegre/RS, 2007.
- [5] Silva AM. Reconstrução Quantitativa de SPECT: Avaliação de Correções. Tese (Doutorado em Física) – Faculdade de Física, USP, São Paulo, 1998.
- [6] Zaidi H. Relevance of accurate Monte Carlo modeling in nuclear medical imaging. *Med. Phys.* 1999;26:574-608.
- [7] Strul D, Santin G, Lazaro D et al. GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission): a PET/SPECT general-purpose simulation platform. *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)*. 2003;125:75-79.
- [8] Beenhouwer J, Staelens S, D'Asseler et al. Cluster computing software for GATE simulations. *Med. Phys.* 2007;34:1926-33.
- [9] Moraes R, Galiazzi MC. Análise Textual Discursiva. Ijuí: Injuí; 2007 p.11-159.
- [10] Aretio LG, Corbella MR, Figaredo DD. De La educación a distancia a la educación virtual. Barcelona: Ariel; 2007 p. 163-186.

Tabela 8: Dados percentuais de opinião dos usuários relacionados aos três blocos iniciais do questionário.

Categorias	Itens do Menu	Banco de Imagens	Contribuição dos Usuários	Qualidade dos Materiais	Softwares Livres	Fóruns e Moderadores	Submissão Simulação MC
Nada Relevante	0	0	0	0	0	7	0
Pouco Relevante	0	0	0	20	7	7	0
Relevante	33	47	40	53	60	53	53
Muito Relevante	67	53	60	27	33	33	47
Total	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 9: Dados percentuais de opinião dos usuários relacionados ao quarto bloco do questionário.

Categorias	Localização da Informação	Contato do Grupo	Submissão de Simulação Facilitada
Muito Difícil	0	0	0
Difícil	27	13	20
Fácil	53	60	73
Muito Fácil	20	27	7
Total	100	1	100



MINISTÉRIO DA SAÚDE
Conselho Nacional de Saúde
Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP

PARECER Nº 820/09

RECEBIDO EM: 24 / 11 / 09

Carolina Faraco
Secretaria
Comitê de Ética em Pesquisa - PUCRS

Registro CONEP 15460 (Este nº deve ser citado nas correspondências referentes a este projeto)

CAAE – 0154.0.002.000-09 Processo nº 25000.543253/2009-41
Projeto de Pesquisa: "Ambiente Interativo Experimental Baseado Na Tecnologia Grid Para Formação De Recursos Humanos Em Medicina Nuclear".
Pesquisador Responsável: Dr. Vinicius Duval da Silva
Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS (CENTRO ÚNICO)
CEP de origem: PUCRS
Área Temática Especial: Novos procedimentos; Pesquisa com cooperação estrangeira
Patrocinador: FRIDA - Fondo Regional para la Innovación Digital em América Latina y El Caribe

Sumário geral do protocolo

O presente projeto visa utilizar a tecnologia *grid* disponível gratuitamente para disponibilizar um ambiente interativo virtual de aprendizagem (AVA) e de prática (AVP) para a exploração e simulação de imagens de Medicina Nuclear, proporcionando uma ferramenta para formação de recursos humanos nesta área.

Para validar a utilização deste ambiente virtual interativo, imagens médicas simuladas pelo aplicativo GATE com diferentes parâmetros de aquisição e processamento serão disponibilizadas a um grupo de médicos em MN (Medicina Nuclear). A avaliação da efetividade do uso do portal será realizada em relação à qualidade das discussões dos usuários em um fórum, a partir da opinião dos usuários sobre o ambiente e relacionando quantitativamente os acessos ao ambiente (interatividade do usuário). A título de protótipo, o ambiente disponibilizará imagens simuladas de SPECT de cardiologia nuclear, que representa o exame de maior demanda na área, para a discussão e interação dos usuários no ambiente na avaliação de fatores que influem na aquisição e processamento das imagens de MN.

As formas disponíveis para o aprendizado médico normalmente são o estudo exaustivo de bancos de dados de imagens com diferentes casos, busca de imagens em *workstations* de instituições, simulações com pacientes virtuais, cursos *online* e a busca de artigos de revisão bibliográfica. Um ambiente que possibilite uma maior interatividade aliada a um poder computacional permitirá uma formação multidisciplinar da equipe que atua em MN, auxiliando o público médico, principalmente no que diz respeito aos residentes iniciantes na área, ampliando a compreensão de fatores relevantes na formação e processamento de imagens em MN.

O objetivo geral é "desenvolver um ambiente virtual interativo experimental baseado na tecnologia *grid* para formação de recursos humanos em Medicina Nuclear". Os objetivos específicos são: "Simular, utilizando o aplicativo GATE, aquisições de imagens de SPECT cardíaco, utilizando modelos antropomórficos realísticos (4D NCAT phantom); Simular aquisições com diferentes parâmetros citados em protocolos e guidelines na área da cardiologia nuclear, que possibilitem a identificação de mudanças significativas nas imagens cardíacas com $99mTc$ - sestamibi; Realizar o processamento das imagens com parâmetros equivalentes aos utilizados na prática clínica; Desenvolver um ambiente interativo virtual de aprendizagem para equipes de medicina nuclear que possibilite o aluno a troca de informações aprendendo de forma prática através da análise de imagens de SPECT cardíaco; Avaliar a qualidade das discussões dos usuários no fórum do ambiente virtual através da leitura e categorização das intervenções realizadas nos fóruns; Avaliar através de questionário

* enviada ao pesquisador
em 13/11/09

1/3

ds

Cont. Parecer CONEP nº 820/09

(qualitativo) a opinião dos usuários em relação ao ambiente virtual; Avaliar a usabilidade do ambiente quantitativamente a partir dos acessos dos usuários e sua interatividade (mapa de clique do ambiente)".

As simulações serão realizadas através do pacote GATE de simulação para aquisições tomográficas em SPECT cardíaco utilizando um *phantom* antropomórfico (4D NCAT *phantom*). A técnica de aquisição da perfusão do miocárdio foi escolhida em virtude desta ser a técnica de maior demanda e relevância clínica nos serviços de MN.

Pretende-se recrutar médicos nucleares experientes, voluntários a participar da pesquisa, e que farão interação com o ambiente virtual. Os usuários utilizarão o ambiente de *grid* para analisar as imagens e o fórum para discussão dos casos.

A amostra inicial será avaliada em relação ao nível de discussão, quantitativamente através de seus acessos ao ambiente e qualitativamente os usuários avaliarão o método disponibilizado. Para avaliar os usuários quantitativamente serão avaliados o número de acessos e caminhos percorridos no ambiente e casos acessados (mapa de clique do ambiente). Em caráter qualitativo a opinião anônima de identificação dos usuários em relação ao ambiente será coletada. A avaliação qualitativa com a opinião dos médicos será aplicada em virtude de melhoras no desenvolvimento do ambiente proposto.

A amostra inicialmente é pequena, pois o ambiente proposto em estudo e nível piloto exige pré-requisitos bastante altos do usuário. O sujeito da pesquisa deve ser um profissional de alta qualificação e reconhecido no mercado nesta área, como chefes de serviços ou profissionais altamente reconhecidos na área atuando na prática e na pesquisa da área de interesse. Outro pré-requisito está em virtude de seu hardware e sua conexão web, pois ao trabalharmos com imagens de simulações MC este será um aspecto fundamental para a adequação do usuário ao ambiente proposto.

Pretende-se também, convidar equipes de outros serviços para disponibilizarem dos dados e acessos a diferentes equipamentos visando à futura comparação entre casos de diversos sistemas de aquisição. As aquisições experimentais da câmara para a comparação e validação foram realizadas no Hospital São Lucas (HSL) da PUCRS, no serviço de MN e serão realizadas nos demais serviços que aceitarem participar desta proposta de pesquisa.

Local de realização

Trata-se de um projeto nacional e unicêntrico, com cooperação estrangeira para financiamento do mesmo (FRIDA - Fondo Regional para la Innovación Digital em América Latina y El Caribe).

O total de sujeitos de pesquisa é de 05, todos no centro em tela.

Apresentação do protocolo

No "Orçamento do projeto" (página 82, numeração do CEP) é informado que o material da pesquisa (computadores e conexão via web) se encontra disponível no laboratório onde será realizado o estudo e que este projeto está inserido no projeto de pesquisa conveniado ao FRIDA (Fondo Regional para la Innovación Digital em América Latina y El Caribe). Foram apresentados documentos comprobatórios de tal convênio (páginas 83-143, numeração do CEP) em que se encontram tabelas explicitando os custos relativos ao financiamento do projeto (página 128, numeração do CEP).

O cronograma apresentado (página 76, numeração do CEP) informa que o início da avaliação do ambiente com médicos nucleares será em Outubro/2009 e que o estudo terá fim em Fevereiro/2010. Foram apresentados os currículos dos pesquisadores participantes (páginas 144-183, numeração do CEP) demonstrando experiência necessária para condução da pesquisa.

Considerações sobre a análise das respostas ao Parecer CONEP Nº 571/2009, relativo ao projeto de pesquisa em questão:

1. A Folha de Rosto não apresenta data no campo relativo à assinatura do pesquisador responsável e também não foi identificado nenhum patrocinador. Solicita-se adequação.

Resposta: Foi apresentada nova Folha de Rosto, com as devidas alterações.

Análise: Pendência atendida.

2/3

ds/mc

Cont. Parecer CONEP nº 820/09

2. Não foi apresentado documento demonstrando que o centro em tela se encontra adequado e que a instituição está de acordo com a realização do estudo proposto. Solicita-se apresentação de tal documento, conforme item VI.2."I" da Resolução CNS 196/96.

Resposta: Foi apresentado documento da instituição onde o estudo será realizado, declarando estar de acordo com o mesmo.

Análise: Pendência **atendida**.

3. Foi apresentado um "Termo de Livre Consentimento Informado" (página 81, numeração do CEP), redigido em forma de declaração. Tal documento deve ser adequado de acordo com o item IV da Resolução CNS 196/96. Solicita-se, portanto, a apresentação de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) conforme preconiza o item IV da Resolução CNS 196/96: em linguagem clara e acessível, descrevendo claramente a justificativa, os objetivos, os procedimentos, os desconfortos e riscos possíveis, os benefícios esperados, os métodos alternativos existentes, a forma de acompanhamento e assistência bem como seus responsáveis, a garantia de sigilo, as formas de ressarcimento de despesas decorrentes da participação na pesquisa, formas de indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa. Ressalta-se que o TCLE é um documento por meio do qual o pesquisador comunica ao possível sujeito ou responsável como será a pesquisa para a qual está sendo convidado, fornecendo a ele ou ela todos os esclarecimentos necessários para decidir, livremente, se quer participar ou não da pesquisa. Solicita-se adequação.

Resposta: Foi apresentado novo TCLE, em que constam os objetivos, riscos e benefícios, redigido em forma de convite, com linguagem clara para os participantes.

Análise: Pendência **atendida**.

Diante do exposto, a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP, de acordo com as atribuições definidas na Res. CNS 196/96, manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

Situação: **Protocolo aprovado.**

Brasília, 10 de novembro de 2009.


Gyselle Saddi Tannous
Coordenadora da CONEP/CNS/MS