UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Física

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA *ON-LINE*
PARA A AVALIAÇÃO DE DOSES FETAIS
EM RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA

SYBELE GUEDES DE PAULO GROFF

*Dissertação apresentada ao
Instituto de Física da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Mestre em Ciências.*

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Roberto Costa

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Roberto Costa (IEEUSP)

Prof^a. Dra. Regina Bitelli Medeiros (UNIFESP)

Prof^a. Dra. Emico Okuno (IFUSP)

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

*Ao meu marido e ao meu filho, por tanto
amor, carinho e paciência.*

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Paulo Roberto Costa, pela orientação e carinho na condução deste trabalho.

A todos os amigos do STAMH do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP pela solidariedade e incentivo.

A todos os colaboradores da STADI, Dra. Tânia A. C. Furquim e toda a sua equipe, pelas informações do Programa de Garantia de Qualidade, essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colaboradores da empresa Sapra Landauer, Dra. Yvone Hornos e toda a sua equipe, que cederam a base de dados dosimétricos de IOE em serviços de hemodinâmica.

Aos colaboradores do INRAD, Dr. Sergio Kobayashi e toda a sua equipe, pela coleta de dados de exames de ultra-som obstétrico.

Aos colaboradores da empresa Konex, por terem cedido o espessômetro para a coleta de dados biométricos das gestantes.

Ao Dr. Ernest Kwaku Osei do Departamento de Física da Universidade de Waterloo, por ter disponibilizado o software FetDose.

Ao IFUSP e ao IEE, pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

À minha eterna amiga Vanessa Lima, pela amizade, carinho, paciência e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu marido Paulo, pelo constante carinho, compreensão e incentivo, essenciais para a continuidade deste trabalho.

A todos os amigos do Instituto de Física da USP, em especial ao "time" de informática do DFMA e do DFGE, pelo apoio e paciência.

A Deus, pelo dom da vida.

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA *ON-LINE*
PARA A AVALIAÇÃO DE DOSES FETAIS
EM RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA**

SYBELE GUEDES DE PAULO GROFF

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema *on-line* para a avaliação de doses fetais em radiologia diagnóstica, chamado *Dose Fetal Web*. A metodologia empregada no sistema estima a dose fetal a partir de dados referentes a exames radiológicos realizados pela paciente gestante, ou a partir da monitoração pessoal de uma IOE gestante. Os dados de entrada deste programa são associados às tabelas de coeficientes de conversão de dose uterina para dose fetal, NUD, geradas por meio de simulações pelo método de Monte Carlo. Este sistema incorpora informações de operação de equipamentos de hospitais e clínicas radiológicas acompanhados por um programa de garantia de qualidade, bem como dados reais de parâmetros fetais e maternos coletados durante exames de ultra-sonografia obstétrica.

A dose fetal médica, a dose fetal ocupacional e os riscos radiológicos associados a estas exposições foram avaliados por meio de estudos de casos simulados usando o sistema *on-line*. No caso hipotético de uma gestante ocupacionalmente exposta (IOE), foi avaliada uma base de dados reais de serviços de hemodinâmica. Além disso, a distribuição de cargas de trabalho de salas de cateterismo cardíaco foi incorporada ao modelo matemático. Estas duas metodologias foram implementadas na avaliação da dose fetal ocupacional, a fim de avaliar estes casos particulares de exposição, que oferecem níveis mais altos de doses ocupacionais aos profissionais expostos.

DEVELOPMENT OF AN ONLINE SYSTEM FOR THE EVALUATION OF FETAL DOSES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

SYBELE GUEDES DE PAULO GROFF

Abstract

In this work, an online system called *Dose Fetal Web* was developed for the evaluation of fetal doses in diagnostic radiology. The methodology used in this system estimates the fetal dose from data related to radiologic diagnostic examinations of a pregnant patient, or from the routine individual monitoring dosimetry of a pregnant worker. The input data of this program are associated to the conversion-coefficients tables of uterine to fetal dose, NUD, generated by means of Monte Carlo simulations. This system incorporates operational information of equipment in hospitals and radiological facilities which are attended by a quality assurance program, as well as real maternal and fetal parameter data collected during obstetric ultrasound.

The fetal dose from both medical and occupational exposures of the pregnant woman, as well as the risks associated with these exposures, were evaluated by means of simulated case studies using the on-line system. In the hypothetical case of an occupationally-exposed pregnant worker, a real database regarding routine individual monitoring dosimetry in Cath Lab facilities was evaluated. Moreover, the workload spectrum of a cardiac angiographic room was incorporated into the mathematical model. These two methodologies were used in the evaluation of the occupational fetal dose, in order to evaluate these particular cases of exposure, which offer higher occupational dose levels to the exposed staff.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	TEORIA	9
2.1	MODELO MATEMÁTICO	9
2.2	DOSE FETAL	9
2.2.1	<i>Dose Fetal Médica.....</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Dose Fetal Ocupacional.....</i>	<i>15</i>
2.3	ESTIMATIVA DOS RISCOS RADIOLÓGICOS.....	17
2.4	MODELO COMPUTACIONAL.....	20
2.4.1	<i>Conceitos de Internet.....</i>	<i>22</i>
2.4.2	<i>Banco de Dados.....</i>	<i>23</i>
3	METODOLOGIA	24
3.1	METODOLOGIA COMPUTACIONAL.....	24
3.2	DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	24
3.3	MODELAGEM DO SISTEMA	25
3.4	FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	32
3.4.1	<i>Linguagem de Programação PHP.....</i>	<i>32</i>
3.4.2	<i>Banco de Dados PostgreSQL.....</i>	<i>32</i>
3.4.3	<i>Servidor Web Apache</i>	<i>32</i>
3.5	METODOLOGIA MATEMÁTICA.....	33
3.5.1	<i>Dose Fetal Médica.....</i>	<i>33</i>
3.5.2	<i>Dose Fetal Ocupacional.....</i>	<i>34</i>
3.5.3	<i>Investigação do Posicionamento e Tamanho Fetal.....</i>	<i>41</i>
4	SISTEMA ON-LINE	46
4.1	DOSE FETAL WEB.....	46
4.1.1	<i>Cadastro de Hospitais.....</i>	<i>49</i>
4.1.2	<i>Cadastro de Unidades</i>	<i>49</i>
4.1.3	<i>Cadastro de Salas (localização dos equipamentos de diagnóstico por imagens).....</i>	<i>50</i>
4.1.4	<i>Cadastro de Usuários</i>	<i>51</i>
4.1.5	<i>Exposição Médica – Estudo de casos.....</i>	<i>52</i>
4.1.6	<i>Exposição Médica – Unidades do PGQ.....</i>	<i>53</i>
4.1.7	<i>Exposição Ocupacional – Estudo de Casos.....</i>	<i>54</i>
4.1.8	<i>Pesquisa de Dados de Ultra-Sonografia Obstétrica.....</i>	<i>55</i>
4.1.9	<i>Página Principal</i>	<i>57</i>
5	RESULTADOS	59

5.1	DOSE FETAL MÉDICA.....	59
5.1.1	<i>Estudo de Casos.....</i>	59
5.2	DOSE FETAL OCUPACIONAL.....	66
5.2.1	<i>Estudo de Casos.....</i>	66
5.2.2	<i>Dose Fetal a partir de uma Base de Dados Dosimétricos.....</i>	70
5.2.3	<i>Dose Fetal a partir da Distribuição de Cargas de Trabalho.....</i>	78
5.3	INVESTIGAÇÃO DO POSICIONAMENTO E TAMANHO FETAL.....	80
5.3.1	<i>Comportamento dos Parâmetros Maternos e Fetais durante o Avanço da Gestação.....</i>	81
5.3.2	<i>Validação das Metodologias para obtenção do EAP e do PFM.....</i>	83
5.3.3	<i>Influência de Outros Parâmetros Gestacionais.....</i>	84
6	DISCUSSÃO.....	88
7	CONCLUSÕES	91
	ANEXO A.....	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Cartaz de advertência implementado para a prevenção de exposição pré-natal	4
FIGURA 2.1: Tela inicial do software FetDose	20
FIGURA 2.2: Fluxograma do algoritmo empregado no software FetDose	21
FIGURA 2.3: Rede mundial de computadores	22
FIGURA 3.1: Fluxograma para o cálculo da dose fetal médica	27
FIGURA 3.2: Fluxograma para o cálculo da dose fetal ocupacional	29
FIGURA 3.3: Modelagem do banco de dados do sistema Dose Fetal Web	31
FIGURA 3.4: Distribuição de cargas de trabalho, $W(V)$, em função da tensão do tubo em kVp, característico de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco	38
FIGURA 3.5: Função dose uterina normalizada, $NUD(V)$, obtida por meio de ajuste gráfico dos dados originais publicados por Osei e col. ²²	40
FIGURA 3.6: Imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade até a superfície craniana do feto (PFC)	43
FIGURA 3.7: Imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade até a superfície abdominal do feto (PFA)	44
FIGURA 4.1: Arquitetura cliente servidor	46
FIGURA 4.2: Fluxograma da autenticação dos usuários no Dose Fetal Web	48
FIGURA 4.3: Interface gráfica para o cadastro de hospitais	49
FIGURA 4.4: Interface gráfica para o cadastro de unidades	50
FIGURA 4.5: Interface gráfica para o cadastro de salas	50
FIGURA 4.6: Interface gráfica para o pesquisa de salas	51
FIGURA 4.7: Interface gráfica para o cadastro de usuários	52
FIGURA 4.8: Formulário para o estudo de casos de dose fetal médica	53
FIGURA 4.9: Formulário para o estudo de casos de dose fetal médica (Unidades do PGQ)	54
FIGURA 4.10: Formulário para o estudo de casos de dose fetal ocupacional	55
FIGURA 4.11: Página eletrônica para visualização da análise estatística do levantamento de parâmetros maternos e fetais (Parte 1). Dados de massa corporal (MP), altura (AP) e espessura AP (EAP) da paciente	56
FIGURA 4.12: Página eletrônica para visualização da análise estatística do levantamento de parâmetros maternos e fetais (Parte 2). Dados de profundidade fetal média medidos até a superfície craniana (PFC), abdominal (PFA) e valor médio entre as duas grandezas (PFM), além da massa corporal do feto (MF)	56
FIGURA 4.13: Página eletrônica para visualização dos dados de parâmetros maternos e fetais obtidos neste trabalho	57
FIGURA 4.14: Página principal do sistema Dose Fetal Web	58
FIGURA 5.1: Estudo de caso da dose fetal médica	59
FIGURA 5.2: Resultados do estudo de caso da dose fetal médica	60
FIGURA 5.3: Relatório de dose fetal médica do estudo de caso	61

FIGURA 5.4: Estudo de caso da dose fetal médica de uma das unidades cadastradas no PGQ	62
FIGURA 5.5: Resultados da dose fetal médica e dos riscos do estudo de caso de uma das unidades cadastradas no PGQ	63
FIGURA 5.6: Relatório de dose fetal médica do estudo de caso de uma das unidades cadastradas no PGQ	64
FIGURA 5.7: Estudo de caso da dose fetal ocupacional	66
FIGURA 5.8: Resultados obtidos do estudo de casos da dose fetal ocupacional	67
FIGURA 5.9: Relatório de dose fetal do estudo ocupacional do estudo de caso	68
FIGURA 5.10: Distribuição dos resultados obtidos para a dose fetal mensal, F_{eq} , em comparação com o valor de referência adotado, F_r , no grupo de 453 IOE analisado	72
FIGURA 5.11: Distribuição dos resultados obtidos para a dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} , em comparação com o valor de referência adotado, F_r , no grupo de 68 instituições	73
FIGURA 5.12: Histograma obtido a partir de observações da dose fetal mensal, F_{eq} , cujos resultados encontrados no grupo de IOE analisado ultrapassaram o valor de referência adotado, F_r . O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$	74
FIGURA 5.13: Risco radiológico referente à ocorrência de pontos de declínio no QI. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$	75
FIGURA 5.14: Risco radiológico referente à ocorrência de retardamento mental severo. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$	76
FIGURA 5.15: Risco radiológico referentes à ocorrência de efeitos hereditários, câncer fatal e leucemia. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$	77
FIGURA 5.16 - Dose fetal, em $\mu\text{Sv/procedimento}$, em função do potencial do tubo, em kVp	79

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2-1: Valores de Dose Uterina Normalizada Ocupacional, NUD_{OC}, em função da posição do dosímetro TLD e da equivalência em chumbo do avental de proteção, para configuração de operação de procedimentos de fluoroscopia com intensificador de imagens sobre a mesa do paciente e tubo de raios X sob a mesa do paciente</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2-2: Limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos nocivos da radiação, em função da idade gestacional (IG)</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2-3: Média e intervalo de dose fetal médica para alguns procedimentos de radiodiagnóstico</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 3-1: Valores de carga de trabalho (W), em mA.min/paciente, publicados por Simpkin, para caracterização de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco, para diferentes tensões (V)</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 3-2: Resumo das siglas utilizadas neste estudo e suas descrições</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 5-1: Resultados de dose fetal média obtidos no sistema Dose Fetal Web e no software FetDose</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 5-2: Probabilidade de ocorrência de riscos obtidos nos estudos de casos de dose fetal médica</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 5-3: Resultados de dose fetal ocupacional obtidos no sistema on-line Dose Fetal Web e no software FetDose</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5-4: Probabilidade de ocorrência de riscos dos estudos de casos de dose fetal ocupacional</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5-5: Resumo das etapas de aplicação dos critérios para estratificação da amostra</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 5-6: Alguns resultados críticos de dose fetal mensal, $F_{eq} > F_r$, dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst}, dose fetal total durante toda a gestação, F_{total}, e a probabilidade de ocorrência de risco radiológico para alguns efeitos danosos</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 5-7: Dose equivalente no feto reportada por alguns autores e o valor correspondente em μSv /semana</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 5-8: Parâmetros maternos: massa corporal (MP), altura (AP) e espessura máxima AP (EAP), agrupados por períodos semanais de idade gestacional (IG). N é o número de pacientes gestantes</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 5-9: Parâmetros maternos e fetais: profundidade fetal medida da superfície abdominal da gestante até um ponto da superfície craniana (PFC) e abdominal (PFA) do feto, valor médio entre estas duas profundidades (PFM) e a massa corporal fetal (MF), agrupados por períodos semanais de idade gestacional (IG). N é o número de fetos</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 5-10: Resultados da espessura AP da paciente obtidos pelo método matemático, EAP_{calc}, e a razão destes valores com as medidas observadas no levantamento, EAP</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 5-11: Profundidade fetal média normalizada pela espessura AP, NPFM, e a diferença percentual entre os resultados obtidos e o valor publicado na literatura²⁰</i>	<i>84</i>

<i>Tabela 5-12: Influência da localização da placenta e do volume vesical materna nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM), para todos os tipos de apresentação fetal</i>	84
<i>Tabela 5-13: Influência nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM), devido às configurações: (i) volume vesical materna para todos os tipos de apresentação fetal e localização da placenta, (ii) apresentação fetal para todos os tipos de localização da placenta e volume vesical e (iii) localização da placenta para todos os tipos de apresentação fetal e volume vesical materna</i>	85
<i>Tabela 5-14: Resumo da análise estatística de todos os parâmetros fetais e maternos obtido neste estudo</i>	86
<i>Tabela 5-15: Comparação dos resultados obtidos para a espessura AP da paciente (EAP) e para a profundidade fetal média (PFM) com os valores publicados na literatura</i>	86

LISTA DE SIGLAS

Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA)
Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)
Coeficiente de Risco (RC)
Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP)
Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)
Distribuição de Cargas de Trabalho (W(V))
Dose de entrada na pele (DEP)
Dose Equivalente (H_T)
Dose Equivalente no Feto ou Dose Fetal Ocupacional (F_{eq})
Dose Fetal Médica (D_i)
Dose Uterina Normalizada (NUD)
Equipamento de Proteção Individual (EPI)
Espessura ântero-posterior (EAP)
Fator de Tamanho Fetal (SF)
Hipertexto PreProcessor (PHP)
Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE)
Profundidade Fetal Média (PFM)
Programa de Garantia de Qualidade (PGQ)
Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD)
Transfer Control Protocol - Internet Protocol (TCP-IP)

1 INTRODUÇÃO

Desde o final do século XIX a radiação X vem sendo utilizada como uma das principais fontes de informação diagnóstica para auxílio em decisões clínicas. Desde então, diversas técnicas radiológicas foram desenvolvidas, tais como a radiologia convencional, a radiologia odontológica, a mamografia, a fluoroscopia e a tomografia computadorizada. Cada uma delas tem seu próprio grau de especificidade clínica e complexidade tecnológica. Dependendo da modalidade, também as quantidades de radiação utilizadas em cada caso são muito distintas. Esta dependência ocorre principalmente devido aos tipos e espessuras de tecido que se deseja visualizar na imagem radiológica. Por exemplo, as quantidades de radiação necessárias para a visualização de um dente em uma radiografia odontológica periapical é muitas vezes inferior às quantidades utilizadas em uma tomografia computadorizada ou em um procedimento de hemodinâmica.

A observação dos efeitos em seres humanos atingidos, acidentalmente ou não, por quantidades variáveis de radiações ionizantes tem permitido aos cientistas o estabelecimento de relações entre dose e risco de ocorrência de efeitos danosos à saúde. Estes efeitos podem ser divididos em duas categorias básicas: os determinísticos, que afetam diretamente o indivíduo irradiado e que possuem limiares de dose determinados pela sua ocorrência, e os estocásticos (ou probabilísticos), sem limiares de dose determinados e que podem afetar tanto o indivíduo irradiado quanto seus descendentes, desde que uma célula germinativa seja afetada e posteriormente utilizada na concepção de um embrião¹.

O estabelecimento de critérios de segurança para a utilização das radiações ionizantes nas diferentes atividades humanas (medicina, indústria, pesquisa, etc.) vem evoluindo desde 1928², quando foi criada a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). Estes critérios permitem a definição de valores referenciais para que se evite a ocorrência de efeitos determinísticos e se reduza a probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos. As avaliações de risco em casos de impossibilidade do

cumprimento dos critérios estabelecidos pelas recomendações internacionais, tais como em acidentes ou em exposições médicas, são bastante complexas e devem ser tratadas cuidadosamente por especialistas treinados.

Tanto a ICRP quanto a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA) estabelecem critérios e recomendações para garantia da proteção dos possíveis efeitos indevidos inerentes à utilização dos raios X diagnósticos, visando minimizar os riscos e maximizar os benefícios desta prática³⁻⁶. Com isso, três princípios básicos devem ser observados:

- Justificação da prática: nenhuma atividade com radiação é aceita a não ser que a sua introdução produza um benefício líquido positivo^{3,5};
- Otimização da proteção: todas as irradiações devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exeqüíveis (ALARA – *as low as reasonably achievable*)^{3,5}, levando-se em consideração os aspectos econômicos e sociais;
- Limites de dose individuais: as doses equivalentes aos indivíduos não excederão os limites recomendados pela CNEN⁵, para cada circunstância.

Os estudos relacionados aos riscos da exposição à radiação ionizante demonstram que as probabilidades de ocorrência de danos nas células dependem tanto das células afetadas, quanto da etapa da divisão celular em que estas se encontram^{7,8}. Além disso, a taxa de divisão celular também é uma variável importante na determinação das conseqüências de um tipo de irradiação. Em geral, quanto maior a taxa de reprodução celular maior a probabilidade de uma célula afetada pela radiação se dividir gerando outras células que irão carregar o dano da célula original. Este fato faz com que o estudo dosimétrico em fetos e embriões seja tratado de um modo especial, pois, dependendo da idade gestacional, as taxas de divisão celular em diferentes órgãos em formação podem ser consideravelmente mais altas que em um indivíduo adulto. Assim, dependendo da quantidade de radiação que atinge o feto ou o embrião, bem como da idade gestacional, as estimativas de risco à

saúde do futuro indivíduo devem ser avaliadas criteriosamente quando se planeja um procedimento diagnóstico ou terapêutico ou uma operação a ser conduzida por uma IOE (indivíduo ocupacionalmente exposto) gestante.

A organogênese, que em seres humanos pode se estender entre a segunda e oitava semana após a concepção, é o estágio mais sensível às anomalias radio-induzidas⁹. Bergonié e Tribondeau¹⁰ mostraram, em 1906, que células que se multiplicam rapidamente são mais suscetíveis a danos permanentes. Esta manifestação, muitas vezes chamada Lei de Bergonié e Tribondeau, possui algumas exceções, como linfócitos, por exemplo. Assim uma quantidade consideravelmente maior de radiação é necessária para destruir a capacidade funcional de células que não estão se proliferando do que seria necessário para interromper a capacidade reprodutiva de células em proliferação. Por esta razão um embrião em desenvolvimento é mais sensível à radiação que o indivíduo maduro. A sensibilidade do embrião depende do grau de atividade mitótica das células, da magnitude e taxa de energia liberada pela radiação e da maturidade da criança em desenvolvimento¹.

Devido à preocupação com a possibilidade de gravidez de mulheres em idade fértil clinicamente expostas à radiação ionizante, a regra dos dez dias foi recomendada pela ICRP¹¹. Esta regra estabelece que todos os exames radiológicos da pelve e da parte inferior do abdômen devem ser marcados durante os primeiros dez dias após o início da menstruação. Este é o período em que se tem maior certeza de não haver gravidez. Embora esta regra possa não ser prática em grandes departamentos clínicos, ou seja, certificar-se de que todos os exames sejam agendados seguindo esta regra dos dez dias, a Portaria nº. 453 do Ministério da Saúde⁶ estabelece que o serviço de radiodiagnóstico deva implantar um sistema de controle de exposição médica de modo a evitar exposição inadvertida de pacientes grávidas. Tal sistema deve incluir avisos de advertência na sala de espera, cartazes ou letreiros, lembrando à paciente que deve informar sobre sua certeza ou possibilidade de gravidez⁶. A FIGURA 1.1 ilustra um exemplo de cartaz de advertência disponível nas salas de radiodiagnóstico da Unidade Radiológica Paulista (URP), na cidade de São Paulo.

FIGURA 1.1: Cartaz de advertência implementado para a prevenção de exposição pré-natal

Ocasionalmente, uma paciente pode não estar atenta e descobrir subseqüentemente que estava grávida no momento em que foi submetida ao exame de radiodiagnóstico. Em tais casos, é importante estimar a dose de radiação absorvida pelo feto ou embrião. Este cálculo pode ser executado por um físico ou especialista em radioproteção experiente em dosimetria. Assim, a paciente pode ser então melhor aconselhada sobre os riscos potenciais envolvidos.

Diversas abordagens têm sido feitas com o objetivo de se limitar as doses durante os períodos de gestação¹¹. Estas abordagens podem ser divididas em duas modalidades com referência ao tipo de irradiação que a gestante recebe, ou seja, se é uma paciente a ser submetida a um exame radiológico ou tratamento terapêutico ou se é uma IOE que, durante sua operação regular de trabalho, circule em ambientes onde os níveis de radiação podem ser superiores aos de radiação natural. O presente trabalho irá tratar dos aspectos dosimétricos em pacientes e IOE gestantes relacionados a

radiações provenientes de exames radiológicos utilizando-se raios X. Não serão abordados os casos de irradiações terapêuticas nem relacionados a exames de medicina nuclear.

No caso de IOE, a ICRP e a IAEA recomendam que controles adicionais sejam implementados para proteger o embrião ou feto considerando-se fatores de risco mais altos do que os considerados para a mãe^{3,4}. Estas entidades consideram adequado um nível de proteção que garanta ao feto de uma gestante ocupacionalmente exposta, níveis de radiação semelhantes aos adotados para o público em geral. Uma recomendação adicional refere-se a um limite de equivalente de dose de 2 mSv na superfície do abdômen da gestante durante todo o período da gestação após a mesma ter sido notificada¹¹. Estas recomendações foram incorporadas à legislação nacional na Portaria nº. 453 do Ministério da Saúde e prevêm, implicitamente, uma dose no feto inferior a 1 mSv, que é o limite adotado para o público em geral^{5,6}.

Em contraposição às recomendações citadas acima, está em vigor a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Assistência à Saúde, NR 32, que estabelece que toda IOE com gravidez confirmada deva ser afastada de atividades com radiações ionizantes, devendo ser remanejada para atividade compatível com seu nível de formação¹².

Em geral, as doses que estão submetidas IOE que operem equipamentos radiológicos são bastante baixas, com pequena probabilidade de ultrapassarem os valores limites adotados pelas recomendações nacionais e internacionais¹³. A única exceção a este caso são os exames de fluoroscopia, em especial procedimentos intervencionistas, que utilizam quantidades consideravelmente altas de radiação^{14,15}.

Ainda assim, a quantificação das doses recebidas pela gestante e a estimativa de dose recebida pelo feto são informações de grande importância para a orientação das IOE sobre os riscos de manutenção das atividades ocupacionais normais durante o período de gravidez¹⁶.

Da mesma forma, quando procedimentos radiológicos são necessários durante a gestação, seja em casos de emergência ou quando se suspeita de risco de vida da gestante e a única alternativa é a investigação radiológica, a estimativa de dose no feto decorrente dos procedimentos adotados é bastante valiosa para a determinação do risco de malformações congênitas ou de interrupção prematura da gravidez. Diversos estudos para a estimativa destes riscos vêm sendo realizados nos últimos anos¹⁷⁻¹⁹.

Tendo em vista a importância da avaliação dosimétrica fetal em radiologia diagnóstica, os objetivos deste trabalho são:

- Desenvolver e disponibilizar uma ferramenta computacional que permita o cálculo e a avaliação *on-line* da dose fetal e do risco radiológico que o feto ou embrião de uma paciente ou de uma IOE gestante está sujeito;
- Avaliar a influência do tamanho e do posicionamento fetal na estimativa da dose fetal;
- Para o caso de exposição ocupacional da IOE gestante, associar a metodologia matemática escolhida²⁰ com o conceito de distribuição de cargas de trabalhos, introduzido por Douglas Simpkin²¹;
- Avaliar o caso particular de exposição ocupacional em procedimentos intervencionistas, supondo-se que a IOE possa estar grávida.

Este trabalho está subdividido em sete capítulos. Este primeiro apresentou a parte introdutória, o escopo e os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo discute os fatores que influenciam no cálculo da dose fetal, como os fatores técnicos utilizados nos procedimentos radiológicos, tais como tensão aplicada ao tubo de raios X e produto corrente-tempo, e os parâmetros maternos e fetais, tais como tamanho e posicionamento fetal. O modelo matemático escolhido para a estimativa da dose fetal, baseado em fatores de conversão de dose uterina normalizada para dose fetal, obtidos por Osei e col.²⁰, através de simulação pelo método de Monte Carlo, também é apresentado neste capítulo.

A avaliação dos riscos radiológicos, segundo um modelo linear de resposta com a dose absorvida pelo feto, é apresentada no Capítulo 2. Por fim, ainda neste capítulo, é descrita a metodologia computacional aplicada no desenvolvimento do sistema elaborado.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia empregada no programa computacional elaborado neste estudo, chamado de *Dose Fetal Web*. São descritos os requisitos, os fluxogramas e diagramas propostos, e a introdução das ferramentas escolhidas na modelagem deste sistema *on-line*.

Ainda no terceiro capítulo, as implementações da metodologia para o cálculo da dose fetal nos casos de exposição médica da paciente gestante e da IOE gestante também são apresentadas. Para a exposição médica da paciente gestante, os resultados da aplicação de testes do programa de garantia de qualidade em equipamentos de radiodiagnóstico de instituições submetidas ao programa implementado pela Seção Técnica de Aplicações em Diagnóstico por Imagens do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP) são incorporados no modelo para a estimativa da dose fetal. No caso de IOE gestante, exemplos particulares de serviços de hemodinâmica, e em especial cardiologia intervencionista, são analisados separadamente, pois são situações de exposição que apresentam dose ocupacional mais alta. Por fim, é descrita a metodologia proposta para a investigação da influência dos parâmetros fetais e maternos para fins de estimativa da dose em fetos de gestantes submetidas a procedimentos de radiodiagnóstico.

As etapas de desenvolvimento do programa computacional *Dose Fetal Web* são descritas no quarto capítulo. Neste capítulo, são apresentadas as rotinas de cadastro de informações no banco de dados, os níveis de acesso às páginas do sistema *on-line* e os menus de escolha do tipo de estudo de caso de dose fetal (médica ou ocupacional).

O quinto capítulo apresenta os resultados de dose fetal e dos riscos radiológicos obtidos a partir do estudo de caso de pacientes e IOE gestantes hipotéticas pelo sistema *on-line*. São apresentados também os resultados de simulações matemáticas da exposição ocupacional utilizando uma amostra de

dados dosimétricos de IOE monitoradas em serviços de hemodinâmica e utilizando a distribuição de cargas de trabalho em cateterismo cardíaco.

Os resultados da investigação da influência dos parâmetros fetais e maternos na estimativa da dose fetal também são apresentados no capítulo cinco.

O sexto e o sétimo capítulos apresentam as discussões dos resultados e as conclusões obtidas neste estudo.

2 TEORIA

2.1 MODELO MATEMÁTICO

O programa computacional elaborado no presente estudo, *Dose Fetal Web*, teve como base a metodologia proposta por Osei e col.²⁰ que permite a estimativa da dose absorvida pelo feto, definida simplesmente como dose fetal, a partir de dados referentes a exames radiológicos realizados pela paciente gestante ou a partir da monitoração pessoal de uma IOE gestante. Dependendo da opção desejada (paciente gestante submetida a exames radiológicos ou IOE gestante com radiação), o programa solicita dados de entrada específicos, que são utilizados pelo modelo matemático para o cálculo da dose fetal. Estes dados incluem desde a modalidade diagnóstica e informações operacionais dos equipamentos radiológicos utilizados, até dados da gestação (idade gestacional, profundidade do feto, etc.) e da gestante (espessura ântero-posterior, massa corporal, altura, etc.), bem como informações relacionadas à dosimetria pessoal da IOE gestante. Estas informações são associadas às tabelas da grandeza Dose Uterina Normalizada (NUD), definida como coeficiente de conversão de dose uterina para dose fetal, geradas por Osei e col.²⁰, por meio de simulações pelo método de Monte Carlo usando o código *Eletron-Gamma Shower* (EGS4).

2.2 DOSE FETAL

A metodologia matemática escolhida para este estudo, proposta por Osei e col.²⁰, tem como eixo central o uso de coeficientes de conversão de dose uterina para dose fetal, chamados de NUD, *Normalized Uterine Dose*, traduzidos como Dose Uterina Normalizada. Estes coeficientes foram obtidos por Osei e col. por meio de simulação pelo Método de Monte Carlo, usando o código EGS4²².

Para exposição médica, o coeficiente NUD é definido como sendo a fração da dose absorvida pelo útero relativa à dose de entrada na pele (DEP)¹⁸. A DEP é definida como a dose absorvida no centro do feixe incidente na superfície do paciente submetido a um procedimento radiológico, incluindo a

radiação retro-espalhada⁶. Assim, como o NUD é a razão entre a dose absorvida no útero (dose uterina), expressa em mGy_{TEC} , e a DEP, expressa em mGy , este coeficiente é expresso em $\text{mGy}_{\text{TEC}}/\text{mGy}$ ²².

Para exposição ocupacional, o NUD é definido como sendo a fração da dose equivalente no útero (H_T), normalizada pela dose na superfície de entrada, ou seja, a dose absorvida obtida por meio da leitura indireta de um dosímetro termoluminescente (TLD)¹³ posicionado no ponto mais exposto do tórax. A H_T é definida como a dose absorvida média no órgão ou tecido humano, multiplicada pelo fator de ponderação da radiação, e, para os raios X, a H_T é numericamente igual à dose absorvida^{5,6}. Então, como o NUD é a razão entre a dose equivalente no útero, expressa em mSv , e a dose na superfície de entrada obtida por meio da leitura no monitor pessoal (TLD), expressa em mGy_{TLD} , este coeficiente é expresso em $\text{mSv}/\text{mGy}_{\text{TLD}}$ ²².

2.2.1 Dose Fetal Médica

Em procedimentos de radiologia convencional e fluoroscopia, a quantidade de radiação absorvida pelo feto de uma paciente gestante clinicamente exposta, definida neste estudo como dose fetal médica, depende de vários fatores¹, entre eles:

- Tipo da técnica radiográfica: radiologia convencional ou fluoroscopia;
- Valor da dose de entrada na pele (DEP) ou as informações dos fatores técnicos para estimativa desta grandeza, tais como, tensão aplicada ao tubo (kVp), distâncias foco-filme (DFF) ou foco-pele (DFP), corrente (mA) e tempo de exposição;
- Espessura ântero-posterior (EAP) da paciente, expressa em cm, ou as informações de massa corporal (em kg) e altura (em cm);
- Idade gestacional (IG);
- Localização (profundidade) do embrião ou feto com relação à superfície abdominal materna e seu tamanho;
- Quantidade de imagens adquiridas;
- Tamanho do campo de radiação.

A seguir são detalhados os métodos matemáticos para a obtenção destas grandezas.

Dose de Entrada na Pele (DEP)

A determinação da dose de entrada na pele (DEP_{rad}) do paciente pode ser obtida por meio da metodologia proposta no guia “Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança”²³, aprovado pela Resolução 1016, de 3 de Abril de 2006 (RE/ANVISA Nº. 1016), como parte dos testes de um Programa de Garantia de Qualidade (PGQ). De acordo com esta metodologia, é necessário solicitar ao técnico de radiologia de uma instituição médica que forneça os parâmetros radiográficos: tensão aplicada ao tubo (kVp_{GQ}), produto corrente-tempo (mAs_{GQ}), corrente (mA_{GQ}), tempo, filtro adicional, tamanho de campo, ponto focal e distância foco-filme (DFF_{GQ}), utilizados nos exames mais comuns. Esta é a metodologia aplicada pelo PGQ do IEE/USP.

Em teoria, espera-se que a dose de entrada da pele para um procedimento radiológico genérico, DEP_{rad} , apresente uma relação aproximadamente linear com o produto corrente tempo (mAs), inversamente quadrática com a distância foco-filme (DFF) e quadrática com a tensão aplicada ao tubo (kVp). Assim, é possível relacionar, de forma aproximada, valores de DEP_{rad} obtidos com um conjunto de parâmetros mAs_{GQ} , DFF_{GQ} e kVp_{GQ} , com aqueles que seriam obtidos se os parâmetros utilizados fossem outros. Este conceito foi aplicado por Pereira e col.²⁴ para comparar os valores de DEP medidos durante os testes do PGQ, DEP_{GQ} , conforme preconiza a Resolução 1016, e aqueles que seriam obtidos por meio dos dados mais realistas, observados em campo. Assim, utilizando os valores de DEP_{GQ} fornecidos pelo PGQ do IEE/USP, pode-se calcular o valor de DEP_{rad} para cada valor de kVp , mAs e DFF , utilizados nos procedimentos radiológicos, utilizando a EQUAÇÃO 2.1:

$$DEP_{rad} = DEP_{GQ} \cdot \left(\frac{mAs}{mAs_{GQ}} \right) \cdot \left(\frac{DFF_{GQ}}{DFF} \right)^2 \cdot \left(\frac{kVp}{kVp_{GQ}} \right)^2 \quad \text{EQUAÇÃO 2.1}$$

Onde mAs é o produto corrente-tempo, kVp é a tensão, DFF é distância entre o foco e o filme empregados durante o procedimento radiológico. As informações mAs_{GQ} , kVp_{GQ} e DFF_{GQ} são obtidas questionando-se os técnicos de radiologia que trabalham na sala radiológica quais os parâmetros técnicos utilizados em um paciente normal (adulto não obeso e nem muito magro) para a realização do procedimento radiológico em questão. O valor da dose de entrada na pele medido durante os testes do PGQ, DEP_{GQ} , é obtido utilizando-se câmaras de ionização, seguindo a metodologia da Resolução 1016.

Da mesma forma, para um procedimento fluoroscópico, a taxa de rendimento em regime de fluoroscopia, em $mGy.mA^{-1}.min^{-1}$, pode ser obtida a partir das informações do PGQ. Se a corrente no tubo, em mA, e o tempo de fluoroscopia, em minutos, são variáveis conhecidas, então a DEP_{fluoro} pode ser estimada pela EQUAÇÃO 2.2:

$$DEP_{fluoro} = DEP_{GQ} \cdot \left(\frac{mA_{min}}{mA_{min_{GQ}}} \right) \cdot \left(\frac{DFF_{GQ}}{DFF} \right)^2 \cdot \left(\frac{kVp}{kVp_{GQ}} \right)^2 \quad \text{EQUAÇÃO 2.2}$$

Nesta equação, mA.min representa o produto corrente-tempo utilizado durante o procedimento de fluoroscopia e $mA.min_{GQ}$ representa o produto corrente-tempo usado no PGQ para a medição da DEP_{GQ} .

Espessura AP da Paciente (EAP)

A espessura da paciente na projeção AP (EAP) na região abdominal pode ter sido medida durante o procedimento radiográfico, sendo assim uma informação disponível para o cálculo, embora não seja um parâmetro usualmente medido em exames de obstetrícia rotineiros. Caso esta medição não tenha sido realizada, a EAP pode ser aproximada pelo *Diâmetro Cilíndrico Equivalente de Paciente*²⁵⁻²⁷. Segundo esta metodologia matemática, a EAP pode ser derivada da massa corporal e altura de uma paciente, assumindo-se que o corpo desta paciente seja um cilindro com densidade de 1 g/cm^3 . Pela EQUAÇÃO 2.3:

$$EAP_{calculada} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\text{massa corporal (g)}}{\pi \cdot \text{altura (cm)}}}$$

EQUAÇÃO 2.3

Onde a massa corporal deverá ser expressa em gramas e a altura em cm. Estas variáveis, massa corporal e altura, podem ser obtidas nos registros médicos da paciente.

Idade Gestacional (IG)

A idade gestacional do feto (IG) pode ser determinada por um especialista por meio do histórico menstrual da paciente, pelo exame físico ou por meio de ultra-som. Esta é uma grandeza importante, pois o risco radiológico para o feto é dependente da idade gestacional e, além disso, a dose absorvida no útero pode superestimar a dose fetal em gestações mais avançadas.

Profundidade Fetal Média (PFM)

A profundidade média do feto no útero materno até a superfície abdominal da paciente gestante (PFM) é uma grandeza importante nos cálculos da dose fetal. Este parâmetro também não é uma variável usualmente medida em exames de obstetrícia rotineiros, mas pode ser estimado segundo algumas metodologias²⁸⁻³¹. Hufton³⁰ investigou medidas de profundidade fetal especificamente para procedimentos de radiografia de abdômen na projeção posterior-oblíqua em 75 pacientes. As medidas foram obtidas por meio da distância entre um ponto escolhido na superfície da pele da gestante, no centro do feixe de raios X, e a um ponto situado na parte mais próxima da pele do feto. Por meio deste estudo, Hufton³⁰ obteve a profundidade média do feto igual a 6,3 cm para localização da placenta anterior (placenta alojada na parte da frente do útero) e 8,2 cm para localização da placenta posterior (placenta alojada na parte de trás do útero). Ragozzino e col.²⁸ demonstraram, em uma pesquisa com 97 gestantes selecionadas randomicamente, que a profundidade fetal média (PFM), isto é, o valor médio entre as profundidades do feto no útero materno, medidas da superfície craniana e abdominal do feto até a superfície

anterior materna, é de aproximadamente 30% da espessura AP da paciente, em todas as idades gestacionais.

Fator de Tamanho Fetal (SF)

No início da gestação, a dose média no útero pode ser uma boa aproximação para a dose média no embrião nos primeiros dois meses de gestação. No entanto, conforme o avanço da idade gestacional, o tamanho e a forma do útero mudam significativamente e a dose média uterina pode não ser mais uma boa aproximação para a dose fetal³². A influência do tamanho fetal na dose foi investigada em algumas publicações. Osei publicou fatores de conversão de tamanho fetal²² (SF), para os últimos estágios de gestação para os procedimentos que envolvem a região pélvica e o baixo abdômen. Estes fatores influenciam nos cálculos da dose fetal para pacientes gestantes com idade gestacional acima de 22 semanas clinicamente expostas durante os procedimentos de abdômen, pelve, coluna lombar e aparelho urinário (bexiga).

Dose Fetal como Função da DEP

Assim, a dose fetal, D_f , devido a uma série de n radiografias pode ser estimada pela EQUAÇÃO 2.4:

$$D_f = \sum_{i=1}^n \text{NUD}_{\text{PFM,DEP},i} \cdot \text{DEP}_{\text{rad},i} \cdot \text{SF}_i \quad \text{EQUAÇÃO 2.4}$$

Nesta equação, $\text{NUD}_{\text{PFM,DEP}}$ é a dose uterina a uma profundidade fetal média PFM, normalizada pela dose de entrada na pele DEP, e SF_i é o fator de tamanho fetal. Para um exame completo, incluindo procedimentos de fluoroscopia envolvendo filmes (*photo-spot*) e procedimentos de rastreamento de diferentes áreas do corpo, a dose fetal total pode ser calculada somando-se as n doses utilizando filmes (incluindo *photo-spot*) e as m doses utilizando o modo fluoroscópico, ou seja, pela EQUAÇÃO 2.5:

$$D_f = \sum_{i=1}^n \text{NUD}_{\text{PFM,DEP},i} \cdot \text{DEP}_{\text{rad},i} \cdot \text{SF}_i + \sum_{j=1}^m \text{NUD}_{\text{PFM,DEP},j} \cdot \text{DEP}_{\text{fluoro},j} \cdot \text{SF}_j$$

EQUAÇÃO 2.5

2.2.2 Dose Fetal Ocupacional

Como descrito na introdução deste estudo, em geral, as doses que estão submetidas IOE que operem equipamentos radiológicos são bastante baixas, com pequena probabilidade de ultrapassarem os valores de referência adotados pelas recomendações nacionais e internacionais¹³. A única exceção a este caso são os exames de fluoroscopia, em especial procedimentos intervencionistas, que utilizam quantidades consideravelmente altas de radiação^{14,15}. Durante os procedimentos intervencionistas, os tempos de fluoroscopia são altos e há um grande número de registros radiográficos ou de utilização em modo cine. Assim, atualmente, sabe-se que esses estão entre os procedimentos diagnósticos que proporcionam níveis de doses mais altos tanto em pacientes quanto nos trabalhadores³³.

Neste contexto, a determinação da dose equivalente no feto em radiologia diagnóstica, definida neste estudo como dose fetal ocupacional, é de interesse como a base para os cálculos de estimativa de risco ao feto ou embrião nas exposições ocupacionais da IOE gestante.

Faulkner e Marshall³⁴ publicaram fatores de conversão entre leituras dosimétricas com monitores individuais e dose equivalente no útero. No caso do uso de avental de proteção, Faulkner e Marshall aplicaram fatores de transmissão aos resultados obtidos sem o uso de avental para simular a atenuação da radiação espalhada. A desvantagem deste estudo feito por Faulkner e Marshall, é que os dados estão disponíveis para somente três valores de potencial de tubo e para o caso do uso do dosímetro portado sob o avental de proteção. Além disso, o estudo apresentado por eles não leva em consideração o endurecimento do feixe por meio do avental de proteção.

Osei e col.¹³ também publicaram coeficientes de conversão de leituras dosimétricas para dose no útero, chamados de NUD_{OC} (fração da dose

equivalente no útero normalizado pela dose na superfície de entrada obtida por meio da leitura indireta de um dosímetro TLD), obtidos por meio de simulação pelo método de Monte Carlo. O trabalho de Osei e col.¹³ difere do trabalho de Faulkner e Marshall³⁴, pois os fatores de conversão de dose uterina para dose fetal foram determinados a partir de um espectro de energia espalhado gerado para vários potenciais de tubo. Neste caso, é levado em consideração o endurecimento do feixe quando um avental de proteção é usado. Além disso, também foram consideradas as situações de uso do dosímetro portado sobre e sob o avental de proteção.

Seguindo a metodologia desenvolvida por Osei e col.¹³, a dose equivalente no feto, F_{eq} , ou simplesmente dose fetal, para o caso de gestantes que são ocupacionalmente expostas pode ser calculada a partir das leituras dosimétricas utilizando a EQUAÇÃO 2.6:

$$F_{eq} = L \cdot NUD_{OC}$$

EQUAÇÃO 2.6

Onde L representa a dose na superfície de entrada, obtida por meio da dosimetria pessoal da IOE em um dado período de monitoração e NUD_{OC} é a dose uterina ocupacional média normalizada (ou seja, dose uterina média pela dose na superfície de entrada – leitura indireta de um dosímetro TLD) obtida por Osei e col.¹³ por meio de simulação pelo Método de Monte Carlo. Os valores tabelados de NUD_{OC} estão disponibilizados para simulações de procedimentos de fluoroscopia para ambas as orientações de intensificador de imagens, acima ou abaixo da mesa do paciente, e para diferentes hipóteses de utilização dos dosímetros pessoais pela gestante durante o período de gravidez (sob, sobre o avental de proteção, ou sem o uso de avental de proteção). A Tabela 2-1 apresenta os valores de NUD_{OC} para uma seleção de configurações de uso do TLD e avental de proteção.

Tabela 2-1: Valores de Dose Uterina Normalizada Ocupacional, NUD_{OC} , em função da posição do dosímetro TLD e da equivalência em chumbo do avental de proteção, para configuração de operação de procedimentos de fluoroscopia com intensificador de imagens sobre a mesa do paciente e tubo de raios X sob a mesa do paciente

<i>Posição do TLD</i>	<i>Equivalência em chumbo (mm)</i>	<i>NUD_{OC} (mSv/mGy_{TLD})</i>
<i>Sobre o EPI</i>	0	0,26
(NUD_{sobre})	0,25	0,05
	0,5	0,01
<i>Sob o EPI</i>	0,25	0,37
(NUD_{sob})	0,5	0,38

2.3 ESTIMATIVA DOS RISCOS RADIOLÓGICOS

A maior parte das informações dos efeitos nocivos da radiação em seres humanos é proveniente de estudos epidemiológicos em crianças nascidas dos sobreviventes da bomba atômica no Japão, embora os resultados obtidos estejam limitados aos efeitos de uma única irradiação com uma dose relativamente alta (exposição aguda) e não a doses geralmente baixas como aquelas que pacientes e IOE estão sujeitos³⁵⁻³⁸. Alguns estudos adicionais foram realizados em animais e outros são provenientes do tratamento terapêutico de pacientes antes ou durante a gestação.

De acordo com D'Ippolito e Medeiros³⁹, os efeitos biológicos decorrentes da exposição pré-natal podem ser divididos em quatro categorias:

- Óbito intra-uterino: durante as duas primeiras semanas de gestação (0 - 8 dias pós-concepção), também chamado de “período do tudo ou nada”^{1,37}, onde pode ocorrer a falha de fixação embrionária ou o reparo completo do dano celular causado pela radiação. Nesta fase alguns autores afirmam que um limiar de dose fetal necessário para causar a morte intra-uterina é de cerca de 100 mGy;
- Malformações: da 3ª à 8ª semana pós-concepção, podem ocorrer malformações nos órgãos. Nesta fase alguns autores sugerem um limiar de dose fetal de 200 mGy à 500 mGy^{37,39};

- Distúrbios do crescimento e desenvolvimento: da 8ª à 15ª semana pós-concepção, podem ocorrer distúrbios no sistema urinário, nos olhos, no sistema nervoso central e redução no desenvolvimento do esqueleto (baixo crescimento do crânio). Nesta fase, alguns autores relatam que o declínio de pontos no QI é assumido como sendo aproximadamente 30×10^{-3} pontos por mGy^{20,22,38,40}. Já o coeficiente de risco para a ocorrência de retardamento mental severo é de aproximadamente 43×10^{-5} por mGy neste mesmo período^{20,22,38}. Após a 15ª semana este coeficiente de risco foi assumido como sendo quatro vezes menor para a ocorrência deste efeito deletério (retardamento mental severo) e vale ressaltar que alguns autores relatam que este efeito não foi observado para períodos gestacionais anteriores a 8ª semana e após a 26ª semana^{20,22,38};
- Efeitos mutagênicos e carcinogênicos: o coeficiente de risco para a ocorrência de câncer fatal infantil até idade de 15 anos devido à exposição pré-natal foi assumido como sendo aproximadamente $5,5 \times 10^{-5}$ por mGy, conforme revisto na publicação mais recente da ICRP⁴¹, embora alguns autores relataram o valor de $3,0 \times 10^{-5}$ por mGy (coeficiente de risco igual a $1,25 \times 10^{-5}$ por mGy para a ocorrência de leucemia fatal e $1,75 \times 10^{-5}$ por mGy para cânceres fatais)^{20,22,38}. Para IOE este coeficiente de risco (câncer fatal) foi assumido como sendo $4,1 \times 10^{-5}$ por mSv⁴¹. Para efeitos hereditários em todas as futuras gerações alguns autores sugerem o coeficiente de risco igual a $2,4 \times 10^{-5}$ por mGy^{20,22,38,42,43}, porém a ICRP propõe o valor deste coeficiente de risco (efeitos hereditários) igual a $0,2 \times 10^{-5}$ por mGy⁴¹ para o público em geral e igual a $0,1 \times 10^{-5}$ por mSv⁴¹ para IOE.

Os limiares de dose fetal para os efeitos óbito intra-uterino, malformações, retardamento no crescimento e retardamento mental em função da idade gestacional (IG), extraídos da literatura^{22,37}, estão apresentados na Tabela 2-2.

Tabela 2-2: Limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos nocivos da radiação, em função da idade gestacional (IG)

IG (semanas)	Limiar de Dose Fetal (mGy)			
	Óbito intra- uterino	Malformações	Retardamento no crescimento	Retardamento mental
1	100	-	-	NEO ^a
2 – 7	250 – 500	200	250 – 500	NEO
8 – 15	> 500	-	500	390
16 – 21	> 1000	> 500	-	640
Até o término	> 1000	> 500	> 500	NEO (IG ≥ 26 semanas)

^a Nenhum Efeito Observado (NEO).

Para propósitos de radioproteção, não é assumido o conceito de limiar de dose e os cálculos de risco são baseados em um modelo linear de dose-resposta, com uma suposição adicional que o efeito também pode ocorrer para baixas doses de radiação.

Assim, o risco é calculado a partir da relação:

$$R = RC \cdot D_f \quad \text{EQUAÇÃO 2.7}$$

Onde R é o risco associado com a dose fetal D_f e RC é o coeficiente de risco.

Para ilustrar as doses fetais resultantes de procedimentos de radiodiagnóstico, são apresentados na Tabela 2-3 os valores de média e intervalo de dose fetal médica, extraídos da literatura²².

Tabela 2-3: Média e intervalo de dose fetal médica para alguns procedimentos de radiodiagnóstico

Procedimento e projeção	Dose Fetal Média (mGy)	Intervalo de Dose Fetal (mGy)
Abdômen AP	1,90	0,16 - 9,20
Abdômen PA	0,53	0,35 - 0,82
Enema Baritado	6,80	1,70 - 16,90
Bário Comestível	1,60	0,10 - 5,80
Tórax AP	< 0,01	<0,01 - 0,01
Tórax PA	<0,01	<0,01
Coluna Lombar AP	1,90	0,20 - 15,0
Coluna Lombar LAT	0,41	0,09 - 3,50
Coluna Lombossacral LAT	0,42	0,10 - 2,40
Pelve	3,40	1,40 - 15,0
Coluna Torácica AP	<0,01	<0,01 - 0,03
Coluna Torácica LAT	<0,01	0,10 - 0,01
Coluna Torácica	<0,01	0,10 - 0,55

2.4 MODELO COMPUTACIONAL

O programa computacional elaborado no presente trabalho, *Dose Fetal Web*, teve como base as funcionalidades do *software FetDose*, desenvolvido por Osei e col.²⁰, apresentado na FIGURA 2.1.

FIGURA 2.1: Tela inicial do software *FetDose*

O software *FetDose* foi desenvolvido para ser executado no sistema operacional Windows e necessita de um banco de dados Access instalado localmente no microcomputador do usuário final. Este software realiza os cálculos de dose fetal e de risco, segundo o fluxograma de informações apresentado na FIGURA 2.2.

FIGURA 2.2: Fluxograma do algoritmo empregado no software *FetDose*

Apesar da licença para o uso deste software ser gratuita, existem algumas desvantagens no seu uso:

- Não é um software livre, ou seja, não é possível modificar o seu código fonte,
- Possuir o sistema operacional Windows e o pacote Office Pro são requisitos essenciais para a instalação;
- É necessária a instalação local em cada microcomputador e as informações armazenadas não podem ser compartilhadas entre um grupo de usuários;

- Para o uso no Brasil, é necessária a adaptação do sistema operacional Windows para o uso das configurações de idioma Inglês, caso contrário o software não executa os cálculos.

Pelos motivos citados acima, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema *on-line* que realize os cálculos de dose fetal e de risco, que esteja disponibilizado na Internet para usuários cadastrados e que incorpore informações reais de equipamentos radiológicos que fazem parte do PGQ aplicado pelo IEE/USP em hospitais e clínicas radiológicas da cidade de São Paulo.

2.4.1 Conceitos de Internet

A *Internet* é uma rede composta por computadores do mundo todo compartilhando diversas informações, ou seja, uma infinita base de dados. Henrique Gandeman⁴⁴ define a *Internet* como "uma vasta coleção de grandes e pequenos computadores interligados em redes que se estendem pelo mundo inteiro".

FIGURA 2.3: Rede mundial de computadores

A rede mundial de computadores, FIGURA 2.3, também conhecida por *WEB*, nasceu de uma experiência militar norte-americana para conectar computadores em várias partes do mundo. Inicialmente foi muito usada apenas em universidades. Tornou-se uma forma de conexão de computadores em todo o planeta, ligados via linha telefônica e satélite. Depende de um protocolo de fácil manipulação e que pode trafegar em qualquer equipamento de informática, o TCP-IP (*Transfer Control Protocol - Internet Protocol*), ou seja, protocolo de controle de transferência, Protocolo de *Internet*.

2.4.2 Banco de Dados

O Banco de Dados é um sistema de armazenamento de dados baseado em computador, cujo objetivo é prover e manter informações consideradas significativas à organização. Um banco de dados possui as seguintes propriedades⁴⁵.

- Coleção de dados logicamente relacionados, com algum significado. Associações aleatórias de dados não podem ser chamadas de base de dados;
- Pode ser projetado, construído e preenchido (instanciado) com dados para um propósito específico. Deve possuir um grupo de usuários e algumas aplicações (interfaces interativas) pré-concebidas para atendê-los;
- Representa algum aspecto do mundo real, algumas vezes chamado de “mini-mundo”. Mudanças no mini-mundo provocam mudanças na base de dados.

3 METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA COMPUTACIONAL

A complexidade na identificação de doses em fetos justifica o desenvolvimento de modelos matemáticos e computacionais para identificar o risco da exposição ionizante no feto e no auxílio na tomada de decisão.

O uso de modelos computacionais propicia maior agilidade na obtenção dos resultados. Para isto, é importante que sejam devidamente validados e providos de interface interativa com o usuário, que oriente e facilite o uso dos mesmos.

Considerando a importância no desenvolvimento de um software que realize estas operações, foi desenvolvido um sistema *web* interativo denominado *Dose Fetal Web*.

3.2 DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS

A partir da experiência de profissionais do IEE junto à comunidade de radiologistas, foi constatada a necessidade de um modelo computacional adequado para o cálculo da dose fetal e dos riscos radiológicos de pacientes e IOE gestantes. Os principais requisitos⁴⁶ identificados na etapa inicial do planejamento do sistema foram:

- Exposição Médica:
 - Parâmetros técnicos de procedimentos de radiodiagnóstico: variáveis utilizadas durante a técnica radiológica tais como tensão (kVp), produto corrente-tempo (mAs), distância foco-pele ou foco-filme, etc. Estas informações são necessárias para o cálculo da dose fetal em função da dose de entrada na pele (DEP_{rad}), conforme descrito na metodologia matemática;
 - Incorporação dos dados do PGQ: os resultados obtidos por meio da aplicação de testes de garantia de qualidade, tais como a determinação da DEP_{rad} do paciente e a avaliação do rendimento do tubo de raios X, são úteis para os estudos de casos hipotéticos

- simulados com dados operacionais reais de equipamentos de hospitais e clínicas radiológicas da cidade de São Paulo acompanhadas pelo PGQ;
- Parâmetros fetais e maternos: informações biométricas de gestantes e fetos coletadas durante exames de ultra-sonografia obstétrica para investigação da influência destes parâmetros nos resultados de dose fetal. Esses dados são importantes para a validação das metodologias matemáticas sugeridas para a estimativa destes parâmetros, além da determinação de um padrão brasileiro para fins de comparação com outros estudos publicados.
- Exposição Ocupacional:
 - Configuração usual de trabalho dos IOE no Brasil: investigação do padrão de uso do monitor individual e seleção dos tipos de equivalência em chumbo de avental de proteção disponíveis no mercado brasileiro⁴⁷;
 - Dados de dosimetria pessoal: identificação das grandezas dosimétricas características para o tipo de exposição ocupacional, ou seja, leitura indireta do dosímetro (TLD) (dose na superfície de entrada) e distribuição de cargas de trabalho. Além da revisão bibliográfica realizada nesta etapa, verificou-se a necessidade de uma amostra de dados reais de monitoração pessoal de mulheres, principalmente em serviços de hemodinâmica.

3.3 MODELAGEM DO SISTEMA

Como mencionado no Capítulo 2, este projeto teve como base a metodologia desenvolvida por Osei e col.²⁰ que permite a estimativa da dose fetal, a partir das informações da técnica radiológica e da paciente gestante, no caso de exposição médica, ou a partir da dosimetria pessoal da IOE gestante, no caso de exposição ocupacional. Assim, a modelagem do sistema consistiu na elaboração de fluxogramas e diagramas esquemáticos para a aplicação do modelo matemático e para a criação do banco de dados, respectivamente.

Para a avaliação de doses fetais em radiologia diagnóstica, foram desenvolvidos dois fluxogramas que representam os passos necessários para os cálculos da dose fetal médica e da dose fetal ocupacional.

- **Fluxograma da dose fetal médica:** A FIGURA 3.1 apresenta o fluxograma para o cálculo da dose fetal médica. As etapas identificadas neste fluxograma podem ser divididas de acordo com os processos de:
 - **Reconhecimento dos parâmetros fetais e maternos:** os dados essenciais desta etapa são a espessura AP da paciente (EAP) e a profundidade fetal média (PFM). O fluxograma indica os processos realizados pelo sistema se caso estas variáveis não forem disponíveis;
 - **Identificação do usuário:** nesta etapa é realizada a validação do tipo de usuário para o emprego correto da metodologia matemática. Se o usuário for identificado como “Hospital”, as informações do PGQ armazenadas no banco de dados servirão de base para o cálculo da dose fetal médica. Caso contrário, os dados da técnica radiológica deverão ser inseridos obrigatoriamente para a obtenção da dose de entrada na pele (DEP_{rad}) e posterior cálculo da dose fetal médica;
 - **Seleção do tipo de procedimento:** a lista de procedimentos radiológicos disponíveis é apresentada nesta etapa. Este processo é essencial na identificação da dose uterina normalizada (NUD) e do fator de forma fetal (SF) que serão utilizados nos cálculos;
 - **Identificação do período gestacional:** a idade gestacional (IG) é uma informação essencial para a escolha correta do fator de forma fetal (SF) e na estimativa dos riscos radiológicos. O valor de SF é igual a 1 para IG inferior a 22 semanas, independente do tipo de procedimento. Caso contrário o sistema reconhecerá o valor de SF de acordo com a relação “procedimento x IG”;
 - **Cálculo da dose fetal médica e dos riscos:** a partir das informações inseridas e do valor do coeficiente de dose uterina normalizada (NUD) é obtida a dose fetal (D_f) (dose fetal multiplicada pela quantidade de imagens adquiridas). Os riscos radiológicos são estimados a partir da D_f de acordo com a IG da paciente.

FIGURA 3.1: Fluxograma para o cálculo da dose fetal médica

- **Fluxograma da dose fetal ocupacional:** o cálculo da dose fetal ocupacional é realizado pelo sistema através do fluxograma apresentado na FIGURA 3.2. Neste fluxograma, é possível identificar as seguintes etapas:
 - **Identificação do período gestacional:** a idade gestacional (IG) é uma informação essencial para a estimativa dos riscos. Nesta abordagem de avaliação de dose fetal, supõe-se que a IOE gestante encontra-se nos dois primeiros meses de gestação e com isso a dose fetal é aproximadamente a dose uterina, ou seja, o fator de forma fetal não se aplica neste caso;
 - **Quantificação da dosimetria pessoal:** é necessário conhecer o valor da monitoração dosimétrica da IOE gestante. Este valor pode ser obtido nos relatórios de doses mensais ou junto ao supervisor de proteção radiológica (SPR);
 - **Configuração de uso do avental de proteção:** nesta etapa é identificada a configuração de uso, ou não, do avental de proteção. Esta informação é necessária para a escolha correta do coeficiente de conversão da leitura dosimétrica para dose fetal, NUD_{OC} . O sistema estabelece o valor da equivalência em chumbo do avental de proteção nula para o caso de uma IOE que não utiliza este equipamento de proteção individual (EPI);
 - **Posicionamento do TLD com relação ao avental de proteção:** a escolha do coeficiente NUD_{OC} correto depende da posição do TLD com relação ao avental de proteção da IOE. Os elementos NUD_{sobre} e NUD_{sob} equivalem aos valores da dose uterina normalizada pela leitura de um TLD portado sobre e sob um avental de proteção, respectivamente, apresentados na Tabela 2-1;
 - **Cálculo da dose fetal ocupacional e dos riscos:** a partir das informações inseridas e do valor do coeficiente NUD_{OC} é obtida a dose fetal ocupacional (F_{eq}) (dose fetal ocupacional mensal). Os riscos radiológicos são estimados a partir da F_{eq} de acordo com a IG da IOE.

FIGURA 3.2: Fluxograma para o cálculo da dose fetal ocupacional

Os modelos matemáticos empregados no sistema utilizam a base de dados do PGQ. Esta base de dados contém as informações dos relatórios dos testes de garantia de qualidade de equipamentos de diagnóstico por imagens de hospital e clínicas radiológicas da cidade de São Paulo. A partir destas informações, foi necessária a criação de um banco de dados próprio para o

sistema que relacionasse um subconjunto destas informações de maneira organizada e estruturada, conforme apresentado na FIGURA 3.3. As informações são organizadas em tabelas de acordo com suas propriedades (atributos). A descrição do conteúdo das tabelas criadas e os relacionamentos entre elas estão descritos a seguir:

- **Hospitais:** os nomes dos hospitais e das clínicas radiológicas que possuem equipamentos de diagnóstico por imagens acompanhados pelo PGQ estão armazenados na tabela *tb_cliente*. Alguns hospitais possuem mais de uma unidade médica na cidade de São Paulo, portanto um hospital pode estar associado a uma ou mais unidades;
- **Unidades:** na tabela *tb_unidade* estão disponíveis os nomes das unidades de alguns hospitais cadastrados. Uma unidade está associada a somente um hospital;
- **Salas:** a localização dos equipamentos de diagnóstico por imagens acompanhados pelo PGQ está disponível na tabela *tb_sala*. No caso de equipamentos portáteis, a localização é descrita como “Portátil”. Cada sala está associada a um hospital, ou a uma unidade de um hospital;
- **Relatório:** as informações do cadastro do relatório, tais como data de realização dos testes de garantia de qualidade e a indicação da sala estão armazenados na tabela *tb_relatorio*. Cada relatório está associado a um equipamento localizado em uma sala de um hospital, ou de uma unidade de um hospital;
- **Resultados dos testes da determinação da DEP do paciente:** os valores das técnicas empregadas neste teste e os resultados de DEP para um determinado conjunto de procedimentos radiológicos estão armazenados na tabela *tb_dep*. Estes resultados estão associados um relatório correspondente a um equipamento, localizado em uma sala de um hospital, ou de uma unidade de um hospital;
- **Resultados da avaliação do rendimento do tubo de raios X:** os resultados da avaliação do rendimento do tubo de raios X estão armazenados na tabela *tb_rendimento*. Estes resultados estão associados um relatório correspondente a um equipamento, localizado em uma sala de um hospital, ou de uma unidade de um hospital.

FIGURA 3.3: Modelagem do banco de dados do sistema *Dose Fetal Web*

As demais tabelas apresentadas na FIGURA 3.3 referem-se ao cadastro de usuários no sistema. As informações do cadastro são armazenadas na *tb_login*, o nível de acesso (grupo) de cada usuário é definido na *tb_grupo*. As tabelas *tb_menu_acesso*, *tb_submenu_acesso* e *tb_permissao* definem os menus dinâmicos que cada usuário do sistema tem acesso. Os logs do sistema são armazenados nas tabelas *tb_log*, *tb_session* e *tb_acesso*. Maiores detalhes serão apresentados no Capítulo 4.

3.4 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

A escolha das ferramentas levou em consideração a portabilidade do projeto para outras plataformas de sistemas operacionais. Assim, optou-se pelo desenvolvimento de um portal *WEB* com páginas eletrônicas com conteúdos dinâmicos, com um banco de dados seguro, ágil e confiável para o armazenamento das informações e o uso de linguagem *script* para aplicação das fórmulas matemáticas e interação com a base de dados.

3.4.1 Linguagem de Programação PHP

O sistema elaborado neste estudo foi desenvolvido em linguagem de programação *Hipertexto PreProcessor* (PHP)⁴⁸ que permite a criação de web sites dinâmicos. O PHP é executado no servidor, sendo retornado para o cliente apenas uma página eletrônica estática em linguagem HTML. Assim é possível a interação com o conteúdo de bancos de dados e aplicações existentes no servidor, com a vantagem de não expor o código fonte para o cliente.

3.4.2 Banco de Dados PostgreSQL

O PostgreSQL é um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD)⁴⁹ com mais de 15 anos de desenvolvimento. É extremamente robusto e confiável, além de ser extremamente flexível e rico em recursos. Pela riqueza de recursos e conformidade com os padrões, ele é um SGBD muito adequado para o estudo universitário, além de confiabilidade e sem altos custos de licenciamento.

3.4.3 Servidor Web Apache

O servidor Web Apache é um dos softwares web mais utilizado no mundo, pois provê segurança, confidencialidade e confiabilidade dos dados, além de estar disponível para diversas versões de sistema operacional como Linux, Windows, entre outras. Trata-se de um software de livre distribuição. Para a garantia da segurança nas transações HTTP, o servidor dispõe de um módulo chamado *mod_ssl*, o qual adiciona a capacidade do servidor atender

requisições utilizando protocolos HTTPS. Este protocolo utiliza camada SSL para criptografar todos os dados transferidos entre o cliente e o servidor, extremamente útil no transporte de informações confidenciais tais como senhas de acesso.

3.5 METODOLOGIA MATEMÁTICA

3.5.1 Dose Fetal Médica

Neste estudo, a avaliação da dose fetal médica e dos riscos foram obtidas por meio de estudo de casos hipotéticos de pacientes gestantes clinicamente expostas durante procedimentos de radiodiagnóstico. Essas simulações foram realizadas no sistema *on-line Dose Fetal Web* e no software *FetDose*.

Para o cálculo da dose fetal médica, de acordo com o fluxograma proposto apresentado na FIGURA 3.1, foram necessárias as seguintes informações:

- Informações da paciente gestante:
 - Idade gestacional (IG), em semanas;
 - Espessura AP (EAP), em cm, ou a massa corporal, em kg, e a altura da paciente, em m, para a estimativa desta variável;
 - Profundidade Fetal Média (PFM), em cm;
- Informações do procedimento radiológico:
 - Dose de entrada na pele, DEP_{GQ} (no caso de hospital), ou parâmetros técnicos para a estimativa da DEP_{rad} .

Os estudos de casos por meio do sistema *Dose Fetal Web* foram executados de duas maneiras: pelos parâmetros técnicos da modalidade diagnóstica e por meio das informações do PGQ, DEP_{GQ} , armazenadas no banco de dados.

3.5.2 Dose Fetal Ocupacional

Como descrito na introdução deste trabalho, em geral, as doses que estão submetidas IOE que operem equipamentos radiológicos são bastante baixas, com pequena probabilidade de ultrapassarem os valores de referência adotados pelas recomendações nacionais e internacionais.

A única exceção a este caso são os exames de fluoroscopia, em especial procedimentos intervencionistas, que utilizam quantidades consideravelmente altas de radiação. Neste sentido, optou-se neste estudo em dar ênfase a estes casos de exposição ocupacional, supondo-se uma IOE gestante em fase inicial de gestação.

Esta etapa do estudo não deve ser interpretada como uma contraposição às normas do Ministério do Trabalho e Emprego¹². Ela foi realizada como pesquisa científica, visando à ampliação dos conhecimentos nesta área, não podendo ser interpretada como recomendação.

Neste sentido, a avaliação da dose fetal ocupacional e dos riscos radiológicos de casos hipotéticos de IOE gestantes foi obtida por meio de três metodologias:

- Estudos de casos pelo sistema *Dose Fetal Web* e pelo software *FetDose*;
- Estudos de casos a partir de uma base de dados dosimétricos;
- Estudos de casos a partir da distribuição de cargas de trabalho.

O software *Origin 6.1* foi utilizado nos dois últimos casos.

3.5.2.1 Estudos de Casos

Para o cálculo da dose fetal ocupacional de casos hipotéticos de IOE gestantes por meio de simulações computacionais no sistema *on-line Dose Fetal Web* e no software *FetDose*, seguindo-se o fluxograma apresentado na FIGURA 3.2, foram necessárias as seguintes informações:

- Informações da IOE gestante:
 - Idade gestacional, em semanas;
- Informações da dosimetria pessoal da IOE gestante:
 - Dose na superfície de entrada (Leitura indireta de um dosímetro TLD), em mGy_{TLD} ;
 - Configuração usual do TLD em relação ao avental de proteção (sobre ou sob), caso utilize este EPI;
 - Equivalência em chumbo do avental de proteção, caso utilize este EPI.

3.5.2.2 Dose Fetal a partir de uma Base de Dados Dosimétricos

Esta metodologia prevê a avaliação da dose fetal ocupacional e dos riscos radiológicos de casos hipotéticos de IOE gestantes a partir da análise de uma base de dados dosimétricos.

Neste contexto, a grandeza dose equivalente mensal média foi escolhida para representar a dose de corpo inteiro de uma IOE supostamente gestante e, a partir deste valor, foi possível aplicar o modelo matemático proposto (EQUAÇÃO 2.6). Para adequação desta modelagem à realidade de operação empregada no Brasil, supôs-se a configuração de uso de um TLD portado sobre um avental de proteção, conforme preconiza a Portaria nº. 453⁶, com 0,25 mm de equivalência em chumbo durante toda a rotina de trabalho da IOE supostamente gestante.

No caso de possibilidade dos dados dosimétricos de uma dada amostra de IOE estiverem agrupados por instituições, é possível também analisar o padrão da dose fetal que uma dada IOE supostamente gestante estará sujeita em uma dada instituição. Neste sentido, introduziu-se neste trabalho a grandeza dose fetal mensal institucional, $F_{\text{eq}}^{\text{inst}}$, obtida por meio da EQUAÇÃO 3.1:

$$F_{\text{eq}}^{\text{inst}} = \sum_{i=1}^n \frac{F_{\text{eq}_i}}{n} \quad \text{EQUAÇÃO 3.1}$$

Onde F_{eqi} é a dose equivalente no feto da i -ésima IOE supostamente gestante e n é a quantidade de IOE de uma dada instituição. Embora esta grandeza possa não caracterizar a dose ocupacional fetal real uniforme de todas as IOE de uma dada instituição, ela foi introduzida neste estudo como uma forma de comparar o padrão de dose fetal ocupacional de uma dada IOE com relação ao padrão médio observado na instituição que esta IOE opera.

A aplicação desta metodologia em um conjunto de dados dosimétricos reais servirá de comparação dos resultados de dose fetal de casos hipotéticos de IOE gestantes com o valor de referência de dose fetal estabelecido pela Portaria nº. 453⁶. Conforme já introduzido no primeiro capítulo deste estudo, esta Portaria estabelece que, após a notificação da gravidez, a dose acumulada no feto durante o período de gestação restante não deve exceder 1 mSv. Assim, a partir deste valor de dose fetal referência, e supondo-se o período clínico médio de gestação igual a 40 semanas, foi adotado neste trabalho, o valor de referência para a dose fetal mensal, F_r , igual a 0,1 mSv/mês, ou seja:

$$F_r = \frac{1 \text{ mSv}}{40 \text{ semanas}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mês}} = 0,1 \text{ mSv/mês}$$

3.5.2.3 Dose Fetal a partir da Distribuição de Cargas de Trabalho

Esta metodologia prevê a avaliação da dose fetal ocupacional de casos hipotéticos de IOE gestantes a partir da distribuição de cargas de trabalho²¹. Assim, conhecendo-se a distribuição de cargas de trabalho que uma IOE supostamente gestante estará sujeita em uma dada sala, é possível avaliar o número de procedimentos que a IOE poderia executar durante a gestação com pequena probabilidade de ultrapassar as recomendações da Portaria nº. 453⁶.

Esta etapa do estudo também não deve ser interpretada como uma contraposição às normas do Ministério do Trabalho e Emprego¹². Ela foi realizada como pesquisa científica, visando à ampliação dos conhecimentos nesta área, não podendo ser interpretada como recomendação.

Assim foi proposta uma alteração na metodologia matemática desenvolvida por Osei e col.¹³, a fim de introduzir uma grandeza que caracterizasse a dose ocupacional recebida pelos IOE durante a sua jornada de trabalho.

A associação do conceito de distribuição de carga de trabalho a uma formulação para determinação de doses em equipes técnicas que participam de procedimentos radiológicos intervencionistas como rotina de trabalho foi desenvolvida por Rume³³. Os resultados obtidos por Rume puderam ser utilizados como estimativa de doses ocupacionais em procedimentos radiológicos intervencionistas.

Neste contexto, adotou-se o conceito de distribuição de carga de trabalho, introduzido por Douglas Simpkin²¹ para incorporar aspectos mais realistas aos cálculos de barreiras para salas de radiologia diagnóstica. Esta função, identificada como $W(V)$, permite levar em conta a quantidade de radiação típica utilizada em salas de diagnóstico e, assim, aprimorar o método para o cálculo de barreiras. Simpkin fez a avaliação de distribuições de cargas de trabalho de diferentes tipos de salas de hospitais nos EUA.

A Tabela 3-1 apresenta os dados publicados por Simpkin para a caracterização de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco.

Tabela 3-1: Valores de carga de trabalho (W), em mA.min/paciente, publicados por Simpkin, para caracterização de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco, para diferentes tensões (V)

V (kVp)	$W \pm \sigma_w$ (mA.min/paciente)	V (kVp)	$W \pm \sigma_w$ (mA.min/paciente)
50	$0,34 \pm 0,34$	95	$11,00 \pm 1,54$
55	$0,42 \pm 0,42$	100	$7,40 \pm 1,04$
60	$2,00 \pm 1,18$	105	$7,00 \pm 1,05$
65	$4,60 \pm 2,53$	110	$6,60 \pm 0,79$
70	$6,00 \pm 2,46$	115	$14,00 \pm 1,96$
75	$8,00 \pm 2,72$	120	$3,40 \pm 1,09$
80	$25,00 \pm 3,00$	125	$2,80 \pm 1,15$
85	$40,00 \pm 4,00$	130	$0,031 \pm 0,031$
90	$21,00 \pm 8,19$		

A FIGURA 3.4 apresenta o gráfico característico da distribuição de cargas de trabalho de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco. Para a construção deste gráfico foram utilizados os dados extraídos da literatura, apresentados na Tabela 3-1.

FIGURA 3.4: Distribuição de cargas de trabalho, W(V), em função da tensão do tubo em kVp, característico de salas que executam procedimentos de cateterismo cardíaco

A radiação espalhada em um dado ângulo θ , a qual um IOE está sujeito durante sua jornada de trabalho, depende, entre outros fatores, da condição

anatômica do paciente (espalhador), da quantidade e da qualidade da radiação primária⁵⁰. Considerando-se a fração da dose de radiação espalhada em um dado ângulo θ , $D(V, \theta)$, dada por:

$$D(V, \theta) = 10^{-6} \cdot W(V) \cdot \eta(V) \cdot a(V, \theta) \cdot F \cdot \left(\frac{1}{d_F} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{d_s} \right)^2 \quad \text{EQUAÇÃO 3.2}$$

Onde:

- $\eta(V)$ é a função do rendimento do tubo⁵¹, em $\text{mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, definida como a dose absorvida no ar por unidade de carga de trabalho, referente ao feixe primário, por paciente, a 1 metro do ponto focal. Esta função é representada pela equação⁵¹:

$$\eta(V) = 1,222 - 0,05664 \cdot V + 0,001227 \cdot V^2 - 3,136 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 \quad \text{EQUAÇÃO 3.3}$$

- $a(V, \theta)$ é função fração de espalhamento por unidade de área do feixe primário, para um dado ângulo θ ⁵², definida como a fração entre a dose no ar devido à radiação espalhada em um ângulo θ com relação à direção do feixe primário, e o produto da dose no ar devido à radiação primária medida em um ambiente livre de espalhamento e da área do campo de radiação primária (em cm^2). Esta função é expressa pela equação:

$$a(V, \theta) = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot (V - 125) + 8,43 - 1,11 \cdot 10^{-1} \cdot \theta + 9,83 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 - 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \cdot 10^{-6} \quad \text{EQUAÇÃO 3.4}$$

- F é a área do feixe primário, em m^2 ;
- d_s e d_F são as distâncias entre o ponto focal e o paciente (espalhador) e entre o paciente e a profissional sob investigação, em m, respectivamente.

Esta grandeza “fração da dose de radiação espalhada em um dado ângulo θ ”, $D(V, \theta)$, pode representar melhor a dose ocupacional recebida por

uma IOE em um dado período de monitoração. Assim, para o cálculo da dose fetal ocupacional, foi proposta a seguinte equação:

$$F_{eq}(V, \theta) = NUD(V) \cdot D(V, \theta) \quad \text{EQUAÇÃO 3.5}$$

Onde:

- $D(V, \theta)$ é a fração da dose de radiação espalhada em um dado ângulo θ ;
- $NUD(V)$ é a função dose uterina normalizada ocupacional.

O gráfico apresentado na FIGURA 3.5 representa a função dose uterina normalizada ocupacional, $NUD(V)$. Esta função foi obtida através de ajuste da curva dos valores de dose uterina normalizada ocupacional para a configuração de uso do dosímetro TLD sobre um avental de proteção com 0,25mm de equivalência em chumbo, publicados na literatura²².

FIGURA 3.5: Função dose uterina normalizada, $NUD(V)$, obtida por meio de ajuste gráfico dos dados originais publicados por Osei e col.²²

3.5.3 Investigação do Posicionamento e Tamanho Fetal

Em radiologia diagnóstica, a dose fetal é dependente do tamanho do feto no útero materno, uma vez que as camadas de tecido entre a superfície abdominal da paciente e o útero gravídico atenuam o feixe de raios X. Assim, a quantidade de energia de radiação absorvida pelo feto aumenta conforme o feto evolui, conforme o aumento no tamanho do abdômen materno com a idade gestacional. Nos primeiros dois meses de gestação, o valor médio da dose no útero pode ser uma boa aproximação para a dose média no embrião. No entanto, conforme o avanço da gestação, a posição e o tamanho fetal variam, e estas duas variáveis tornam-se mais importantes na estimativa mais precisa da dose fetal.

Para investigar a influência do tamanho e posicionamento fetal no cálculo da dose fetal, um trabalho de levantamento de dados biométricos maternos e fetais foi proposto para uma equipe de ultra-sonógrafos do Serviço de Ultra-sonografia do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (INRAD). Estes profissionais foram instruídos a obter medidas de parâmetros como profundidade do abdômen materno até as superfícies craniana (PFC) e abdominal (PFA) do feto, comprimento crânio-caudal (CRL), diâmetro biparietal (BPD), circunferência cefálica (CC) e abdominal (CA) do feto, comprimento do fêmur (CF), idade gestacional (IG) e a massa corporal fetal estimada (MF). A planilha para a coleção destas medidas é apresentada no ANEXO A. Um resumo de todas as siglas empregadas nesta análise é apresentado na Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Resumo das siglas utilizadas neste estudo e suas descrições

<i>Sigla</i>	<i>Descrição</i>
<i>MP</i>	Massa Corporal da Paciente (kg)
<i>AP</i>	Altura da Paciente (m)
<i>EAP</i>	Máxima Espessura AP (cm) é a máxima distância da superfície anterior da gestante até a superfície posterior
<i>PFC</i>	Profundidade fetal (sup. craniana) (cm) é a distância vertical entre a superfície fetal (cabeça) e a superfície da pele abdominal materna
<i>PFA</i>	Profundidade fetal (sup. abdominal) (cm) é a distância vertical entre a superfície fetal (abdômen) e a superfície da pele abdominal materna
<i>PFM</i>	Profundidade fetal média (cm) é a média entre as distâncias PFC e PFA
<i>NPFC</i>	Profundidade fetal (sup. craniana) normalizada pela EAP
<i>NPFA</i>	Profundidade fetal (sup. abdominal) normalizada pela EAP
<i>NPFM</i>	Profundidade fetal média normalizada pela EAP
<i>CRL</i>	Comprimento crânio-caudal (cm)
<i>BPD</i>	Diâmetro biparietal (cm)
<i>CC</i>	Circunferência cefálica (cm)
<i>CA</i>	Circunferência abdominal (cm)
<i>CF</i>	Comprimento do fêmur (cm)
<i>IG</i>	Idade gestacional (semanas)
<i>MF</i>	Massa Corporal Fetal (g)

As medidas de profundidade fetal foram obtidas a partir da distância vertical entre a superfície fetal craniana (PFC), ou abdominal (PFA), e a superfície da pele abdominal materna. As pacientes permaneciam na posição de decúbito dorsal horizontal (DDH) durante as tomadas destes parâmetros.

A FIGURA 3.6 apresenta uma imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade até a superfície craniana do feto (PFC). Uma imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade da superfície materna até a superfície abdominal do feto (PFA) é apresentada na FIGURA 3.7.

FIGURA 3.6: Imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade até a superfície craniana do feto (PFC)

Informações da gestação como localização da placenta (anterior, posterior ou outra), volume vesical (bexiga: cheia, parcialmente cheia ou vazia) e apresentação fetal (pélvica, cefálica ou transversa) também foram anotadas nesta planilha. O estudo consistiu de 102 exames de ultra-som realizados em mulheres com gestação simples (não gemelar) e anatomia fetal sonograficamente normal. Casos de múltiplas gestações não foram considerados neste estudo.

FIGURA 3.7: Imagem de ultra-sonografia obtida durante a medição da profundidade até a superfície abdominal do feto (PFA)

3.5.3.1 Medidas dos parâmetros maternos

A altura (AP) e a massa corporal (MP) das pacientes foram medidas antes do procedimento de ultra-som obstétrico usando-se uma balança antropomórfica. Após o exame de ultra-som, a máxima espessura AP (EAP) era medida, utilizando-se um espessômetro. Esta medida era obtida na porção mais alta do abdômen com a paciente gestante em DDH.

3.5.3.2 Medidas dos parâmetros fetais

Os equipamentos de ultra-som utilizados durante as medidas dos parâmetros fetais consistiram de um Philips, modelo iu22, com transdutor multifuncional de 2-5 MHz e de um GE, modelo Voluson 730 Pro, com transdutor de 2-7 MHz.

As medidas de BPD, CRL, comprimento do fêmur, circunferências craniana e abdominal do feto eram obtidas usando-se técnicas padrões. A

estimativa da massa corporal fetal através de ultra-som foi obtida através de um programa computacional que utiliza a metodologia matemática proposta por Hadlock e col.⁵³. A idade gestacional também era calculada a partir das informações de CF ou BPD através de programa computacional usando o método de Hadlock e col.⁵³.

4 SISTEMA ON-LINE

Este capítulo tem por objetivo apresentar as principais características do sistema *on-line Dose Fetal Web*. Trata-se de um sistema desenvolvido para a avaliação de dose fetal em radiologia diagnóstica e que pode ser acessado por meio de um computador conectado na Internet. Ele foi elaborado baseado na arquitetura Cliente-Servidor, ou seja, o cliente conectado a este sistema requisita as informações ao servidor e este, por sua vez, as interpreta e envia os resultados para o cliente, conforme apresentado na FIGURA 4.1.

FIGURA 4.1: Arquitetura cliente servidor

4.1 DOSE FETAL WEB

O sistema *Dose Fetal Web* foi desenvolvido para atender aos requisitos de diversos tipos de grupos de usuários. Assim, os níveis de acesso destes usuários estão agrupados em:

- **Administrador:** O administrador possui o nível mais alto de acesso às informações. É de sua responsabilidade o cadastro dos demais usuários, hospitais, unidades, além da manutenção do sistema e do banco de dados. Este usuário pode executar as simulações de dose fetal para os tipos de exposição médica e ocupacional da gestante, bem como visualizar os dados do PGQ e do levantamento de parâmetros maternos e fetais;
- **IEE:** os usuários deste grupo de acesso podem executar simulações de dose fetal de exposição médica e de exposição

ocupacional. No caso da exposição médica, os usuários deste grupo também podem visualizar os hospitais e unidades cadastrados no banco de dados e que possuem equipamentos de diagnóstico por imagens acompanhados pelo PGQ;

- **Hospital:** os usuários de grupo de acesso podem executar simulações de dose fetal ocupacional e de dose fetal médica. No caso de dose fetal médica, é possível obter os resultados de duas formas: inserindo os parâmetros da técnica radiológica ou selecionando uma sala de sua instituição (hospital);
- **Teste:** os usuários deste grupo de acesso só podem executar simulações de dose fetal de exposição médica e ocupacional, inserindo dados de entrada de informações do procedimento radiológico ou da dosimetria pessoal da IOE.

O sistema *Dose Fetal Web* possui autenticação de usuários, conforme fluxograma apresentado na FIGURA 4.2. Ao efetuar o *login* no sistema, o usuário poderá visualizar somente as páginas eletrônicas permitidas para o seu grupo de acesso. Caso o *login* não seja efetuado com sucesso, será exibida uma página eletrônica padrão indicando o erro de autenticação no sistema. Neste caso, o usuário pode entrar em contato com o administrador para verificar o motivo da falha na autenticação.

As etapas de cadastro das informações no banco de dados, os menus de acesso às simulações e as consulta de dados no sistema *Dose Fetal Web*, são descritas a seguir.

FIGURA 4.2: Fluxograma da autenticação dos usuários no *Dose Fetal Web*

4.1.1 Cadastro de Hospitais

A FIGURA 4.3 apresenta a interface desenvolvida para o cadastro de hospitais no sistema *Dose Fetal Web*. Este cadastro é realizado pelo administrador e consiste no primeiro passo para adição das informações de novos hospitais acompanhados pelo PGQ no banco de dados.

Cadastro de Hospitais		
Hospital		
<input type="button" value="Cadastrar"/> <input type="button" value="Pesquisar"/> <input type="button" value="Limpar Campos"/>		
4 registro(s) encontrado(s)		
Hospital e Maternidade São Camilo Pompéia	Salvar	Excluir
Hospital Israelita Albert Einstein	Salvar	Excluir
Instituto de Radiologia	Salvar	Excluir
Unidade Radiológica Paulista	Salvar	Excluir

FIGURA 4.3: Interface gráfica para o cadastro de hospitais

A partir deste formulário é possível efetuar pesquisas de hospitais cadastrados no banco de dados e alterar ou excluir, algum hospital previamente cadastrado.

4.1.2 Cadastro de Unidades

No caso de hospitais que possuem diversas unidades hospitalares, o sistema prevê o cadastro destas unidades, conforme apresentado na FIGURA 4.4.

4 registro(s) encontrado(s) do Hospital Israelita Albert Einstein		
Alphaville	Salvar	Excluir
Brasil	Salvar	Excluir
Morumbi	Salvar	Excluir
VI Mariana	Salvar	Excluir

FIGURA 4.4: Interface gráfica para o cadastro de unidades

Neste formulário é possível efetuar alterações e exclusões de unidades previamente cadastradas. Vale ressaltar que ao efetuar uma alteração ou exclusão, estará sendo alterado no banco de dados, uma vez que as informações no banco de dados são relacionadas.

4.1.3 Cadastro de Salas (localização dos equipamentos de diagnóstico por imagens)

Para executar a simulação da dose fetal de unidades hospitalares acompanhadas pelo PGQ, é necessário o cadastro prévio das salas que possuem os equipamentos de diagnóstico por imagens. Para tanto, o sistema possui o formulário específico para este cadastro, conforme apresentado na FIGURA 4.5.

Pesquisar:

FIGURA 4.5: Interface gráfica para o cadastro de salas

Caso seja necessário pesquisar ou efetuar alguma alteração no cadastro, é possível executar uma pesquisa no banco de dados, buscando os registros armazenados por hospital, por unidade ou por sala, conforme apresentado na FIGURA 4.6.

Cadastro de Salas
Pesquisa de Salas por Hospital

7 registro(s) encontrado(s)

Hospital	Unidade	Sala
Unidade Radiológica Paulista	Paulista	RX 1
Unidade Radiológica Paulista	Hospital Evaldo Foz	RX 1
Unidade Radiológica Paulista	Paulista	RX 2
Unidade Radiológica Paulista	Ibirapuera	RX 2
Unidade Radiológica Paulista	Ibirapuera	RX 3
Unidade Radiológica Paulista	Hospital Evaldo Foz	RX 3
Unidade Radiológica Paulista	Ibirapuera	RX 4

Voltar

FIGURA 4.6: Interface gráfica para o pesquisa de salas

4.1.4 Cadastro de Usuários

Para ter acesso ao sistema *Dose Fetal Web*, são necessários um *login* e uma senha. Para tanto, o formulário eletrônico apresentado na FIGURA 4.7 foi desenvolvido para efetuar este cadastro.

Cadastro de Usuários de Acesso

Login

Senha

Confirmar Senha

Nome

Grupo

Hospital

Pesquisar:

FIGURA 4.7: Interface gráfica para o cadastro de usuários

4.1.5 Exposição Médica – Estudo de casos

As simulações de dose fetal médica de uma paciente gestante podem ser realizadas pelos usuários cadastrados por meio do submenu “Estudo de Casos” do menu “Exposição Médica” do sistema *Dose Fetal Web*. Todos os usuários têm acesso a este formulário apresentado na FIGURA 4.8. Para realizar um estudo de caso, basta preencher os campos do formulário com as informações da paciente (massa corporal e altura), da gestação (seleção da idade gestacional) e do procedimento radiológico (parâmetros da técnica radiológica). Os parâmetros espessura AP e profundidade fetal podem ser fornecidos pelo usuário ou podem ser calculados automaticamente pelo sistema, por meio das equações apresentadas anteriormente na metodologia matemática.

Dose Fetal Médica - Estudo de Casos

Informações da paciente	
Massa corporal (kg):	<input type="text"/>
Altura (m):	<input type="text"/>
Espessura AP (EAP):	
EAP medida (cm):	<input type="text"/>
EAP estimada (cm):	<input type="text"/>

Informações da gestação	
Idade Gestacional (semanas):	0-7 <input type="button" value="v"/>
Profundidade Fetal Média (PFM):	
PFM medida (cm):	<input type="text"/>
PFM estimada (cm):	<input type="text"/>

Informações do procedimento	
Procedimento:	Selecione <input type="button" value="v"/>
Distância Foco-Pele, DFP, (cm):	90 <input type="text"/>
Filtração Total (mmAl):	2 <input type="button" value="v"/>
Número de Filmes:	1 <input type="text"/>
Tensão aplicada ao tubo (kVp):	80 <input type="text"/>
Produto Corrente-tempo (mAs):	50 <input type="text"/>

FIGURA 4.8: Formulário para o estudo de casos de dose fetal médica

4.1.6 Exposição Médica – Unidades do PGQ

O estudo de casos da dose fetal médica também pode ser realizado para uma situação hipotética de exposição de uma paciente gestante em uma das salas dos hospitais cadastrados no PGQ. Assim, por meio do formulário apresentado na IGURA 4.9, os usuários do grupo IEE e administrador podem realizar o cálculo da dose fetal médica, selecionando qualquer um dos hospitais cadastrados. Já os usuários do grupo de acesso hospital só podem realizar as simulações selecionando as salas e unidades referentes ao cadastro de seu próprio hospital.

Dose Fetal Médica - Estudo de Casos (Unidades do PGQ)

Informações da paciente	
Massa corporal (kg):	<input type="text"/>
Altura (m):	<input type="text"/>
Espessura AP (EAP):	
EAP medida (cm):	<input type="text"/>
EAP estimada (cm):	<input type="text"/>

Informações da gestação	
Idade Gestacional (semanas):	0-7 <input type="button" value="v"/>
Profundidade Fetal Média (PFM):	
PFM medida (cm):	<input type="text"/>
PFM estimada (cm):	<input type="text"/>

Dados do Programa de Garantia de Qualidade (PGQ)	
Hospital:	Selecione <input type="button" value="v"/>
Unidade:	Selecione <input type="button" value="v"/>
Sala:	Selecione <input type="button" value="v"/>
Procedimento:	Selecione <input type="button" value="v"/>
Número de Filmes:	<input type="text" value="1"/>

FIGURA 4.9: Formulário para o estudo de casos de dose fetal médica (Unidades do PGQ)

4.1.7 Exposição Ocupacional – Estudo de Casos

A dose fetal ocupacional pode ser obtida por meio do formulário apresentado na FIGURA 4.10. Este formulário eletrônico pode ser visualizado por todos os usuários cadastrados, pois não contém informações específicas dos hospitais cadastrados no PGQ. Os dados de entrada requeridos para o cálculo são idade gestacional, dose na superfície de entrada (leitura indireta de um dosímetro TLD) e período de monitoração da IOE, bem como a configuração usual de uso do TLD e do avental de proteção (TLD portado sobre ou sob um avental com equivalência em chumbo conhecida, caso utilize este EPI).

Dose Fetal Ocupacional - Estudo de Casos

Informações da IOE gestante

Idade Gestacional (semanas): 0-7 ▼

Informações Dosimétricas

Dose na superfície de entrada (Monitoração pessoal): mGyTLD

Período de monitoração: meses

Uso do avental plumbífero

Usou o avental de chumbo? Sim ▼

Qual a posição do dosímetro? Selecione ▼

Selecione a espessura do avental (em mm de equivalência em chumbo): Selecione ▼

FIGURA 4.10: Formulário para o estudo de casos de dose fetal ocupacional

4.1.8 Pesquisa de Dados de Ultra-Sonografia Obstétrica

Análise Estatística dos Parâmetros Maternos e Fetais

Os resultados obtidos da análise estatística dos dados do levantamento de parâmetros maternos e fetais em exames de ultra-sonografia obstétrica podem ser visualizados no sistema *on-line*, conforme apresentado nas FIGURA 4.11 e FIGURA 4.12. Esta página eletrônica tem como objetivo a visualização das informações de posicionamento e tamanho fetal para fins de estimativa mais precisa nas simulações computacionais da dose fetal médica.

Parâmetros Fetais e Maternos Classificação por Idade Gestacional

IG (semanas)	N	MP (kg)		AP (m)		EAP (cm)	
		Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média
0 - 14	17	40.9 - 84.6	63.3 (11.3)	1.5 - 1.8	1.6 (0.1)	16.5 - 27.0	21.0 (2.7)
15 - 19	24	50.2 - 119.8	70.8 (14.6)	1.5 - 1.7	1.6 (0.1)	20.0 - 30.0	23.7 (2.5)
20 - 24	30	49.7 - 88.3	66.6 (11.2)	1.5 - 1.8	1.6 (0.1)	20.0 - 27.5	23.7 (2.2)
25 - 29	15	50.5 - 93.3	64.9 (11.5)	1.4 - 1.7	1.6 (0.1)	20.5 - 29.5	24.1 (2.2)
30 - 34	14	45.4 - 101.5	70.9 (13.4)	1.4 - 1.7	1.6 (0.1)	22.5 - 31.0	26.5 (2.6)
35 - 40+	2	81.1 - 97.5	89.3 (11.6)	1.5 - 1.7	1.6 (0.1)	29.5 - 30.0	29.8 (0.4)

FIGURA 4.11: Página eletrônica para visualização da análise estatística do levantamento de parâmetros maternos e fetais (Parte 1). Dados de massa corporal (MP), altura (AP) e espessura AP (EAP) da paciente

Parâmetros Fetais e Maternos Classificação por Idade Gestacional

IG (semanas)	N	PFC (cm)		PFA (cm)		PFM (cm)		MF (g)	
		Int.	Méd.	Int.	Méd.	Int.	Méd.	Int.	Méd.
0 - 14	17	3.1 - 7.3	5.1 (1.1)	3.3 - 7.1	5.3 (1.1)	3.5 - 7.2	5.2 (1.0)	< 1 - 120	84.4 (20.2)
15 - 19	24	2.8 - 8.8	5.3 (1.5)	2.0 - 8.8	4.7 (1.7)	2.4 - 8.8	5.0 (1.5)	125 - 324	228.6 (61.7)
20 - 24	30	1.8 - 6.6	4.5 (1.0)	1.4 - 7.3	4.3 (1.5)	2.0 - 7.0	4.4 (1.2)	335 - 757	517.1 (113.0)
25 - 29	15	1.7 - 5.5	3.4 (1.1)	1.8 - 5.5	3.6 (1.0)	2.0 - 5.2	3.5 (0.9)	709 - 1147	976.7 (149.0)
30 - 34	14	2.3 - 5.3	4.0 (1.0)	2.1 - 6.2	4.0 (1.2)	2.6 - 5.2	4.0 (0.9)	1179 - 2585	1843.6 (409.3)
35 - 40+	2	3.5 - 4.3	3.9 (0.6)	2.9 - 7.3	5.1 (3.1)	3.6 - 5.4	4.5 (1.3)	2573 - 3065	2819.0 (347.9)

FIGURA 4.12: Página eletrônica para visualização da análise estatística do levantamento de parâmetros maternos e fetais (Parte 2). Dados de profundidade fetal média medidos até a superfície craniana (PFC), abdominal (PFA) e valor médio entre as duas grandezas (PFM), além da massa corporal do feto (MF)

Base de Dados Completa

Todas as informações do levantamento de parâmetros maternos e fetais em exames de ultra-sonografia obstétrica podem ser visualizadas no sistema por meio do menu “Pesquisa de dados ultra-som – Dados Ultra-som”, conforme apresentado na FIGURA 4.13. Esta página eletrônica também tem como objetivo a visualização das informações de posicionamento e tamanho fetal para fins de estimativa mais precisa nas simulações computacionais da dose fetal médica.

Parâmetros Maternos e Fetais

Idade Gestacional (semanas)	Peso da Paciente (kg)	Altura da Paciente (m)	Espessura AP Máxima (cm)	Profundidade Fetal (sup. craniana) (cm)	Profundidade Fetal (sup. abdominal) (cm)	Profundidade Fetal Média (cm)	Peso Fetal Estimado (g)
8.6	49.3	1.58	16.5	6.9	6.9	6.9	-
10.9	70.0	1.66	25.0	5.6	5.9	5.8	-
11.3	70.3	1.60	22.0	4.5	5.3	4.9	-
11.7	64.4	1.62	20.5	5.4	5.9	5.7	-
11.9	70.5	1.68	22.0	6.4	6.3	6.3	-
12.1	61.0	1.63	18.0	4.9	4.4	4.7	54
12.9	63.4	1.62	23.0	4.3	5.7	5.0	77
21.7	54.0	1.50	22.0	4.0	3.7	3.9	444
21.9	61.2	1.55	21.0	4.1	2.4	3.2	419
21.9	71.4	1.63	23.0	3.9	3.3	3.6	448
22.0	84.2	1.61	26.5	6.6	7.3	7.0	502
22.1	73.0	1.59	26.5	5.2	5.3	5.2	483
22.4	76.5	1.55	25.5	6.4	5.8	6.1	540
22.4	68.0	1.64	24.0	3.9	3.2	3.5	528
22.7	58.0	1.55	22.0	4.6	3.9	4.2	483
32.6	70.2	1.54	27.0	4.3	6.2	5.2	1947
32.7	78.6	1.63	27.0	3.6	4.7	4.2	2105
33.1	79.8	1.52	27.5	5.2	3.9	4.5	2058
33.4	63.1	1.58	25.0	2.3	2.9	2.6	2179
34.3	67.7	1.55	24.0	3.2	4.6	3.9	2171
34.6	101.5	1.67	31.0	4.7	5.2	5.0	2136
36.1	97.5	1.69	29.5	3.5	7.3	5.4	3065
37.1	81.1	1.50	30.0	4.3	2.9	3.6	2573

FIGURA 4.13: Página eletrônica para visualização dos dados de parâmetros maternos e fetais obtidos neste trabalho

4.1.9 Página Principal

A página principal do sistema *Dose Fetal Web* é apresentada na FIGURA 4.14. A área de livre acesso pode ser acessada por meio do menu de “Navegação”. Nesta parte do site estão disponíveis explicações gerais sobre os temas “Exposição Ocupacional”, “Exposição Médica” e “Riscos”, todos os temas com ênfase na exposição à radiação ionizante no período pré-natal. Além disso, uma página eletrônica apresenta as perguntas mais freqüentes, “FAQ” (*Frequent Answered Questions*). O sistema pode ser acessado por meio do endereço <http://www.fma.if.usp.br/dosefetal>.

FIGURA 4.14: Página principal do sistema *Dose Fetal Web*

5 RESULTADOS

5.1 DOSE FETAL MÉDICA

5.1.1 Estudo de Casos

Os estudos de casos hipotéticos de pacientes gestantes foram realizados no sistema *on-line Dose Fetal Web* e no software *FetDose*

Foi realizado o estudo de um caso hipotético de uma paciente gestante com 26 semanas, que realizou procedimentos de Abdômen AP por razões diagnósticas. As informações da paciente, da gestação e os parâmetros técnicos utilizados estão apresentados na FIGURA 5.1.

Dose Fetal Médica - Estudo de Casos

Informações da paciente

Massa corporal (kg): 60

Altura (m): 1.70

Espessura AP (EAP):

EAP medida (cm):

EAP estimada (cm): 21.2

Informações da gestação

Idade Gestacional (semanas): 26

Profundidade Fetal Média (PFM):

PFM medida (cm):

PFM estimada (cm): 6.6

Informações do procedimento

Procedimento: Abdomen - AP

Distância Foco-Pele, DFP, (cm): 75

Filtração Total (mmAl): 3

Número de Filmes: 3

Tensão aplicada ao tubo (kVp): 70

Produto Corrente-tempo (mAs): 50

Calcular

FIGURA 5.1: Estudo de caso da dose fetal médica

A dose fetal total obtida para este caso foi $D_f = 4,61$ mGy. A FIGURA 5.2 apresenta a página eletrônica com os resultados obtidos.

Dose Fetal - Exposição Médica

Os dados inseridos foram:

Idade Gestacional: 26 semanas
Massa corporal: 60,0 kg
Altura: 1,70 m
Espessura AP (estimada): 21,2 cm
Profundidade do feto (estimada): 6,6 cm

Tipo da modalidade: Radiologia Convencional
Procedimento - Projeção: Abdomen - AP
Dose de Entrada na Pele (DEP) Total: 12,25 mGy
Número de imagens: 3

Resultados obtidos:

Dose Fetal Total(D_f): 4,61 mGy

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ¹⁻⁴				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
1384,3 x 10 ⁻⁴	5,0 x 10 ⁻⁴	0,1 x 10 ⁻⁴	2,5 x 10 ⁻⁴	0,6 x 10 ⁻⁴

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300 x 10⁻⁴ pontos no QI por mGy.

^b Um risco de 1 x 10⁻⁴ equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura) ⁵⁻⁶			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

¹ OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. J Radiat Res, v. 32 (sup.), p. 249 - 264, 1991.

² NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 - 14, 1993.

³ NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 - 125, 1993.

⁴ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 84. Ann ICRP, v. 37, Oxford: Pergamon Press, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79, 2007.

⁵ OSEI, E.K. Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology, 2000. Tese (PHD)-Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

⁶ PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. Folha Med, v. 120, p. 213-219, 2001.

FIGURA 5.2: Resultados do estudo de caso da dose fetal médica

Os resultados também podem ser visualizados, e arquivados se for o caso, por meio da impressão do formulário de dose fetal, conforme apresentado na FIGURA 5.3.

Relatório de Dose Fetal Médica

Nome: Nome da Paciente
Data de Nascimento: dd/mm/aaaa
Idade Gestacional: 26 semanas
Peso: 60,0 kg
Altura: 1,70 m
Espessura AP (estimada): 21,2 cm
Profundidade do feto (estimada): 6,6 cm
Tipo da modalidade: Radiologia Convencional
Procedimento - Projeção: Abdomen - AP
Dose de Entrada na Pele (DEP) Total: 12,25 mGy
Dose Fetal Total(D_f): 4,61 mGy

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ¹⁻⁴				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
1380,0 x 10 ⁻⁴	5,0 x 10 ⁻⁴	0,1 x 10 ⁻⁴	2,5 x 10 ⁻⁴	0,6 x 10 ⁻⁴

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300 x 10⁻⁴ pontos no QI por mGy.

^b Um risco de 1 x 10⁻⁴ equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura ⁵⁻⁶)			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

¹ OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. J Radiat Res, v. 32 (sup.), p. 249 - 264, 1991.

² NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 - 14, 1993.

³ NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 - 125, 1993.

⁴ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 84. Ann ICRP, v. 37, Oxford: Pergamon Press, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79, 2007.

⁵ OSEI, E.K. Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology. 2000. Tese (PHD)-Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

⁶ PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. Folha Med, v. 120, p. 213-219, 2001.

FIGURA 5.3: Relatório de dose fetal médica do estudo de caso

Avaliando o valor da dose fetal médica por procedimento, $D_f = 1,54\text{mGy/proc}$, este resultado equivale a -19% da dose fetal média apresentada na Tabela 2-3, embora esteja contido no intervalo de dose fetal apresentado na mesma tabela.

Este mesmo caso foi estudado supondo-se que a paciente foi submetida a estes procedimentos em um dos hospitais cadastrados no PGQ, conforme apresentado na FIGURA 5.4. Neste caso, as mesmas informações da paciente e da gestação foram utilizadas e foi selecionado uma das salas de um dos hospitais cadastrados no PGQ.

Dose Fetal Médica - Estudo de Casos (Unidades do PGQ)

Informações da paciente

Massa corporal (kg):

Altura (m):

Espessura AP (EAP):

EAP medida (cm):

EAP estimada (cm):

Informações da gestação

Idade Gestacional (semanas):

Profundidade Fetal Média (PFM):

PFM medida (cm):

PFM estimada (cm):

Dados do Programa de Garantia de Qualidade (PGQ)

Hospital:

Unidade:

Sala:

Procedimento:

Número de Filmes:

FIGURA 5.4: Estudo de caso da dose fetal médica de uma das unidades cadastradas no PGQ

A dose fetal total obtida neste caso foi $D_f = 4,28 \text{ mGy}$. A FIGURA 5.5 apresenta a página eletrônica dos resultados obtidos pelo sistema *on-line Dose Fetal Web*.

Dose Fetal Médica - Unidades do PGQ

Procedimento: Abdomen - AP

Os dados inseridos foram:

Idade Gestacional: 26 semanas
Massa corporal: 60.0 kg
Altura: 1.70 m
Espessura AP (estimada): 21.2 cm
Profundidade do feto (estimada): 6.6 cm

Resultados obtidos:

Hospital: Hospital Israelita Albert Einstein
Unidade: Alphaville
Sala: RX 2
Dose Fetal Total(D_f): 4.28 mGy

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ¹⁻⁴				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
1242 x 10 ⁻⁴	5 x 10 ⁻⁴	0.1 x 10 ⁻⁴	2.36 x 10 ⁻⁴	0.54 x 10 ⁻⁴

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300 x 10⁻⁴ pontos no QI por mGy.

^b Um risco de 1 x 10⁻⁴ equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura) ⁵⁻⁶			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

¹ OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. J Radiat Res, v. 32 (sup.), p. 249 - 264, 1991.

² NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 - 14, 1993.

³ NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 - 125, 1993.

⁴ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 84. Ann ICRP, v. 37, Oxford: Pergamon Press, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79, 2007.

⁵ OSEI, E.K. Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology. 2000. Tese (PHD)-Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

⁶ PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. Folha Med, v. 120, p. 213-219, 2001.

FIGURA 5.5: Resultados da dose fetal médica e dos riscos do estudo de caso de uma das unidades cadastradas no PGQ

Estes resultados também podem ser visualizados, e arquivados se for o caso, por meio da impressão do formulário de risco, conforme apresentado na FIGURA 5.6.

Relatório de Dose Fetal Médica - Unidades do PGQ

Procedimento: Abdomen - AP

Nome: Nome da Paciente

Data de Nascimento: dd/mm/aaaa

Idade Gestacional: 26 semanas

Peso: 60.0 kg

Altura: 1.70 m

Espessura AP (estimada): 21.2 cm

Profundidade do feto (estimada): 6.6 cm

Hospital: Hospital Israelita Albert Einstein

Unidade: Alphaville

Sala: RX 2

Dose Fetal Total(D_f): 4.28 mGy

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ¹⁻⁴				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
1242.0 x 10 ⁻⁴	4.6 x 10 ⁻⁴	0.1 x 10 ⁻⁴	2.4 x 10 ⁻⁴	0.5 x 10 ⁻⁴

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300 x 10⁻⁴ pontos no QI por mGy.

^b Um risco de 1 x 10⁻⁴ equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura ⁵⁻⁶)			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

¹ OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. J Radiat Res, v. 32 (sup.), p. 249 - 264, 1991.

² NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 - 14, 1993.

³ NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 - 125, 1993.

⁴ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 84. Ann ICRP, v. 37, Oxford: Pergamon Press, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79, 2007.

⁵ OSEI, E.K. Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology, 2000. Tese (PHD)-Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

⁶ PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. Folha Med, v. 120, p. 213-219, 2001.

FIGURA 5.6: Relatório de dose fetal médica do estudo de caso de uma das unidades cadastradas no PGQ

Foram realizados estudos de casos de dose fetal média no sistema *on-line Dose Fetal Web* e no software *FetDose*, utilizando-se os valores de DEP armazenados no banco de dados. Para estes estudos de casos, estabeleceu-se a mesma hipótese de uma paciente com 26 semanas de gestação. A Tabela 5-1 apresenta os resultados de dose fetal média obtidos nos dois sistemas para os tipos de procedimentos disponíveis na base de dados. A última coluna da tabela apresenta a diferença entre os resultados obtidos nos dois sistemas.

Tabela 5-1: Resultados de dose fetal média obtidos no sistema *Dose Fetal Web* e no software *FetDose*

Procedimento		Tensão Média (kVp)	Dose Fetal Média (mGy)		Diferença (%)
			Dose Fetal Web	Fet Dose	
Coluna Lombar	AP	72,5	3,08 (1,82)	3,08 (1,82)	0,20
	LAT	80,8	1,16 (1,03)	1,03 (0,92)	12,63
	JLS	83,6	0,60 (0,33)	0,60 (0,33)	-0,04
Abdômen	AP	72,1	1,40 (1,30)	1,70 (1,58)	-17,50
Tórax	PA	87,5	$1,13 \times 10^{-3}$ (1,57)	$1,13 \times 10^{-3}$ (1,56)	-0,26
	LAT	100,0	$1,55 \times 10^{-3}$ (1,45)	$1,55 \times 10^{-3}$ (1,45)	-0,29

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5-1, somente os procedimentos de Coluna Lombar LAT e Abdômen AP apresentaram diferenças percentuais acentuadas, em comparação com os resultados obtidos no software *FetDose*.

A partir dos valores de dose fetal média apresentados na Tabela 5-1, obteve-se os resultados das estimativas de riscos para a ocorrência de declínio de pontos no QI, retardamento mental severo, efeitos hereditários, leucemia fatal e câncer fatal, apresentados na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Probabilidade de ocorrência de riscos obtidos nos estudos de casos de dose fetal média

Procedimento	Projeção	Probabilidade de ocorrência de risco ($\times 10^{-4}$)				
		Declínio de pontos no QI	Retardamento Mental Severo	Efeitos Hereditários	Leucemia Fatal	Câncer Fatal
Coluna Lombar	AP	893	3	0,1	0,4	1,7
	LAT	338	1	0,02	0,1	0,6
	JLS	174	1	0,01	0,1	0,3
Abdômen	AP	406	2	0,03	0,2	0,8
Tórax	PA	0,3	1×10^{-3}	2×10^{-5}	1×10^{-4}	6×10^{-4}
	LAT	0,4	2×10^{-3}	3×10^{-5}	2×10^{-4}	9×10^{-4}

Os resultados apresentados na Tabela 5-2 referem-se à probabilidade de ocorrência dos efeitos declínio de pontos no QI, retardamento mental severo, efeitos hereditários, leucemia fatal e câncer fatal para cada 10 mil casos. Por exemplo, uma dose fetal média de 1,4 mGy (Tabela 5-1) para um procedimento de abdômen AP induziria uma probabilidade de ocorrência de declínio de 406×10^{-4} pontos no QI no futuro indivíduo. Este mesmo valor de dose fetal média induziria uma probabilidade de ocorrência de 2 casos de retardamento mental severo para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose.

5.2 DOSE FETAL OCUPACIONAL

5.2.1 Estudo de Casos

Os estudos de casos hipotéticos de IOE gestantes foram realizados no sistema on-line *Dose Fetal Web* e no software *FetDose*.

As informações da IOE gestante, da gestação e as configurações de uso do dosímetro TLD e do avental de proteção utilizados para um dos estudos de caso estão apresentadas na FIGURA 5.7.

Dose Fetal Ocupacional - Estudo de Casos

Informações da IOE gestante

Idade Gestacional (semanas): 26

Informações Dosimétricas

Dose na superfície de entrada (Monitoração pessoal): 2 mGyTLD

Período de monitoração: 1 meses

Uso do avental plumbífero

Usou o avental de chumbo? Sim

Qual a posição do dosímetro? Sobre

Selecione a espessura do avental (em mm de equivalência em chumbo): 0,5

Calcular

FIGURA 5.7: Estudo de caso da dose fetal ocupacional

A dose fetal total obtida neste caso foi $F_{eq} = 0,02$ mSv/mês. A FIGURA 5.8 apresenta a página eletrônica dos resultados obtidos pelo sistema *on-line Dose Fetal Web*.

FIGURA 5.8: Resultados obtidos do estudo de casos da dose fetal ocupacional

Estes resultados também podem ser visualizados, e arquivados se for o caso, por meio da impressão do formulário de dose fetal, conforme apresentado na FIGURA 5.9.

Relatório de Dose Fetal Ocupacional

Nome: Nome da IOE

Data de Nascimento: dd/mm/aaaa

Idade Gestacional: 26 semanas

Leitura Pessoal: 2 mGy_{TLD}

Período de Monitoração: 1 mês

Espessura do Avental: 0.5 mm de equivalência em chumbo

Posição do TLD: sobre o avental de proteção

Dose Equivalente no Feto(F_{eq}): 0.02 mSv/mês

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ¹⁻⁴				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
5.8×10^{-4}	0.1×10^{-4}	0.0002×10^{-4}	0.008×10^{-4}	0.003×10^{-4}

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300×10^{-4} pontos no QI por mGy.

^b Um risco de 1×10^{-4} equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura ⁵⁻⁶)			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

¹ OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. J Radiat Res, v. 32 (sup.), p. 249 - 264, 1991.

² NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 - 14, 1993.

³ NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 - 125, 1993.

⁴ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 84. Ann ICRP, v. 37, Oxford: Pergamon Press, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79, 2007.

⁵ OSEI, E.K. Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology. 2000. Tese (PHD)-Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

⁶ PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. Folha Med, v. 120, p. 213-219, 2001.

FIGURA 5.9: Relatório de dose fetal do estudo ocupacional do estudo de caso

As simulações de casos hipotéticos de IOE gestantes foram realizadas no sistema *on-line Fetal Web* e no software *FetDose*. A Tabela 5-3 apresenta

os resultados da dose fetal ocupacional obtidos nos dois sistemas para alguns tipos de configuração de uso do TLD e avental de proteção. A última coluna da tabela apresenta a diferença entre os resultados obtidos nos dois sistemas.

Tabela 5-3: Resultados de dose fetal ocupacional obtidos no sistema *on-line* *Dose Fetal Web* e no software *FetDose*

Equivalência em chumbo (mm)	Posição do TLD	Leitura Dosimétrica (mGy/mês)	Dose Equivalente no Feto (mSv/mês)		Diferença (%)
			Dose Fetal Web	FetDose	
0,25	Sob	0,072	0,027	0,027	0,15
0,25	Sobre	0,072	0,003	0,003	1,23
0,35	Sobre	0,072	0,002	0,002	1,23
Sem o uso do EPI		0,072	0,018	0,019	-6,01

A partir dos valores de dose fetal média apresentados na Tabela 5-3, obteve-se os resultados das estimativas de riscos para a ocorrência de declínio de pontos no QI, retardamento mental severo, efeitos hereditários, leucemia fatal e câncer fatal, apresentados na Tabela 5-4.

Tabela 5-4: Probabilidade de ocorrência de riscos dos estudos de casos de dose fetal ocupacional

Equivalência em chumbo (mm)	Posição do TLD	Probabilidade de ocorrência de risco ($\times 10^{-4}$)				
		Declínio de pontos no QI	Retardamento Mental Severo	Efeitos Hereditários	Leucemia Fatal	Câncer Fatal
0,25	Sob	1	1×10^{-2}	3×10^{-4}	3×10^{-3}	1×10^{-2}
0,25	Sobre	0,1	1×10^{-3}	3×10^{-5}	4×10^{-4}	1×10^{-3}
0,35	Sobre	0,1	1×10^{-3}	2×10^{-5}	3×10^{-4}	9×10^{-4}
Sem o uso do EPI		5	2×10^{-2}	2×10^{-4}	2×10^{-3}	8×10^{-3}

Os resultados apresentados na Tabela 5-4 referem-se à probabilidade de ocorrência dos efeitos de declínio de pontos no QI, retardamento mental severo, efeitos hereditários, leucemia fatal e câncer fatal para cada 10 mil indivíduos. Por exemplo, uma dose fetal média de 0,027 mGy (Tabela 5-3) para a configuração de uso de um TLD portado sobre um avental com 0,25 mm de equivalência em chumbo induziria uma probabilidade de ocorrência de declínio $0,1 \times 10^{-4}$ pontos no QI no futuro indivíduo. Este mesmo valor de dose fetal

média induziria uma probabilidade de ocorrência de 1×10^{-3} caso de retardamento mental severo para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose.

5.2.2 Dose Fetal a partir de uma Base de Dados Dosimétricos

Esta parte do estudo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia matemática proposta em dados de dosimetria pessoal de indivíduos ocupacionalmente expostos de instituições que possuem serviço de hemodinâmica. A amostra de dados dosimétricos foi cedida pela empresa Sapra Landauer.

Observou-se que as informações da amostra, contendo 39.460 dados de leituras de dosímetros pessoais, coletados em um período de quatro anos, estavam organizadas em três categorias:

- Informações das instituições monitoradas: número seqüencial para identificação da instituição, data de inclusão no banco de dados de monitoração de doses, cidade e estado;
- Informações dos trabalhadores monitorados: número seqüencial para identificação, data de inclusão no banco de dados de monitoração de doses, sexo, data de nascimento, tipo do monitor individual e forma de uso (pulseira, anel, monitor de área, por cima, por baixo ou sem avental);
- Informações dosimétricas: valor da dosimetria pessoal (leitura indireta do monitor pessoal obtida durante a jornada de trabalho por IOE à radiação ionizante), datas de início, término e da obtenção da monitoração, e observação referente ao valor obtido de dose na superfície de entrada, no caso de sobre-exposição ocupacional.

A partir destas informações, foram realizadas estratificações na amostra a fim de selecionar leituras com valores não nulos de dose de mulheres IOE portando dosímetro por cima do avental. O resumo das etapas de estratificação está apresentado na Tabela 5-5.

Tabela 5-5: Resumo das etapas de aplicação dos critérios para estratificação da amostra

Critério para filtragem	Observações
Sexo Feminino	Essencial para aplicação da metodologia
Uso do TLD sob o avental de proteção	Critério escolhido para uso apropriado do NUD

Foram identificados na amostra 6 casos de leituras que ultrapassavam 20 mGy/mês, mas que não estavam correlacionados com padrões de doses altas regulares da mesma IOE. Utilizando-se a hipótese de que estes valores correspondem a erros de leitura, os 6 casos foram removidos da base de dados para a realização da análise.

A aplicação das etapas de estratificação resultou em uma coleção de 4.911 leituras de dosímetros (12% da amostra original) válida para o presente estudo. Estes dados são referentes à monitoração pessoal de 453 IOE de 68 instituições que possuem serviços de hemodinâmica.

A partir dos valores de doses ocupacionais, obteve-se o valor da dose mensal ocupacional, L_m , para cada uma das 453 IOE. A aplicação da EQUAÇÃO 2.6 aos valores de dose mensal média resultou na distribuição dos valores de dose fetal mensal, F_{eq} , no grupo de IOE monitorado. O gráfico desta distribuição é apresentado na FIGURA 5.10.

FIGURA 5.10: Distribuição dos resultados obtidos para a dose fetal mensal, F_{eq} , em comparação com o valor de referência adotado, F_r , no grupo de 453 IOE analisado

De acordo com a distribuição dos resultados apresentada na FIGURA 5.10, 94% dos resultados estão abaixo da faixa representativa do valor de referência adotado neste estudo, F_r (0,1 mSv/mês). O intervalo de dose fetal mensal obtido foi 0,008(4) a 0,36(2) mSv/mês e o valor médio obtido foi 0,04(3) mSv/mês.

A partir dos valores de F_{eq} das IOE de uma mesma instituição monitorada aplicados na EQUAÇÃO 3.1, pode-se obter a distribuição dos resultados de dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} . A distribuição dos resultados de F_{eq}^{inst} de todas as 68 instituições monitoradas pela empresa Sagra está apresentado na FIGURA 5.11.

FIGURA 5.11: Distribuição dos resultados obtidos para a dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} , em comparação com o valor de referência adotado, F_r , no grupo de 68 instituições

A partir do gráfico da FIGURA 5.11, pode-se observar que quatro instituições, 6% da amostra de instituições, apresentaram resultados de F_{eq}^{inst} acima da faixa representativa do valor de referência adotado, F_r . O intervalo de dose fetal mensal institucional obtido foi 0,008(4) a 0,16(1) mSv/mês e o valor médio obtido para esta grandeza, F_{eq}^{inst} , foi 0,04 (3) mSv/mês.

Os casos de IOE que apresentaram resultados de dose fetal mensal, F_{eq} , acima de F_r , foram analisados separadamente. A FIGURA 5.12 representa o histograma da distribuição destes resultados

FIGURA 5.12: Histograma obtido a partir de observações da dose fetal mensal, F_{eq} , cujos resultados encontrados no grupo de IOE analisado ultrapassaram o valor de referência adotado, F_r . O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$

partir de 27 casos de IOE que apresentaram dose fetal mensal, F_{eq} , acima do valor de referência, F_r , e, por meio da aplicação da EQUAÇÃO 2.7 nestes valores de F_{eq} , pode-se obter as probabilidades de ocorrência de riscos radiológicos para alguns efeitos danosos. Nestes casos particulares, supôs-se o período de 8 a 15 semanas de gestação.

A FIGURA 5.13 apresenta os resultados encontrados para o risco radiológico referentes à ocorrência de pontos de declínio no QI de um caso hipotético de um feto de uma IOE exposta aos padrões de dose fetal mensal acima do valor de referência adotado, $F_{eq} > F_r$. O gráfico representa a média e a incerteza da ocorrência deste efeito por dose fetal média dos 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$.

FIGURA 5.13: Risco radiológico referente à ocorrência de pontos de declínio no QI. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$

No gráfico apresentado na FIGURA 5.13, um risco de $105,3 \times 10^{-4}$, que é o valor mais alto relativo à IOE que apresentou o padrão de dose fetal média mais elevado da amostra ($F_{eq} = 0,36$ mSv/mês), equivale à probabilidade de ocorrência de declínios de $105,3 \times 10^{-4}$ pontos no QI (1,05%) no futuro indivíduo.

A FIGURA 5.14 representa os resultados encontrados para o risco radiológico referentes à ocorrência de retardamento mental severo. O gráfico representa a média e a incerteza da ocorrência deste efeito por dose fetal média dos 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$.

FIGURA 5.14: Risco radiológico referente à ocorrência de retardamento mental severo. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$

No gráfico apresentado na FIGURA 5.14, um risco de $1,6 \times 10^{-4}$, que é o valor mais alto relativo à IOE que apresentou o padrão de dose fetal média mais elevado da amostra ($F_{eq} = 0,36$ mSv/mês), equivale à probabilidade de ocorrência de 1,6 casos de retardamento mental severo em 10 mil (0,016%) casos submetidos a esta dose.

A FIGURA 5.15 representa os resultados encontrados para o risco radiológico referentes à ocorrência de efeitos hereditários, câncer fatal e leucemia fatal. O gráfico representa a média e a incerteza da ocorrência destes efeitos por dose fetal média dos 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$.

FIGURA 5.15: Risco radiológico referentes à ocorrência de efeitos hereditários, câncer fatal e leucemia. O gráfico representa a distribuição de 27 casos de IOE que apresentaram $F_{eq} > F_r$

No gráfico apresentado na FIGURA 5.15, os riscos de $0,004 \times 10^{-4}$, $0,14 \times 10^{-4}$ e $0,05 \times 10^{-4}$, que são os valores mais altos relativos à IOE que apresentou o padrão de dose fetal média mais elevado da amostra ($F_{eq} = 0,36$ mSv/mês), equivalem às probabilidades de ocorrência de 0,004 casos de efeitos hereditários em 10 mil (0,00004%), de 0,14 casos de câncer fatal em 10 mil (0,0014%) e de 0,05 casos de leucemia fatal em 10 mil (0,0005%), respectivamente.

A Tabela 5-6 apresenta os resultados críticos de dose fetal mensal, $F_{eq} > F_r$, dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} , dose fetal total durante toda a gestação (F_{eq} multiplicada por 9 meses), F_{total} , e a probabilidade de ocorrência dos riscos radiológicos para alguns efeitos danosos: declínio de pontos no QI, retardamento mental severo, efeitos hereditários, leucemia fatal e câncer fatal.

Tabela 5-6: Alguns resultados críticos de dose fetal mensal, $F_{eq} > F_r$, dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} , dose fetal total durante toda a gestação, F_{total} , e a probabilidade de ocorrência de risco radiológico para alguns efeitos danosos

F_{eq} (mSv/mês)	F_{eq}^{inst} (mSv/mês)	F_{total} (mSv)	Probabilidade de ocorrência de risco ($\times 10^{-4}$)				
			Declínio de pontos no QI	Retardamento Mental Severo	Efeitos Hereditários	Leucemia Fatal	Câncer Fatal
0,36 (2)	0,15 (2)	3,27	105 (60)	1,6 (9)	0,004 (2)	0,05 (2)	0,14 (9)
0,28 (2)	0,16 (1)	2,49	80,2 (67)	1,2 (9)	0,003 (3)	0,04 (3)	0,12 (9)
0,24 (8)	0,16 (1)	2,17	69,8 (23)	1,0 (3)	0,003 (1)	0,04 (1)	0,09 (9)
0,24 (4)	0,11 (2)	2,13	68,6 (111)	1,0 (1,6)	0,003 (4)	0,04 (5)	0,09 (2)

Avaliando o caso de uma das IOE que apresentou o padrão de dose fetal mensal mais elevado da amostra ($F_{eq} = 0,36$ mSv/mês), a dose fetal total para nove meses de gestação ultrapassaria em 227% o valor de referência estabelecido pela Portaria nº. 453⁶, caso esta IOE realmente estivesse grávida, e mantivesse o mesmo regime de trabalho durante toda a gestação.

5.2.3 Dose Fetal a partir da Distribuição de Cargas de Trabalho

O levantamento bibliográfico apontou para vários estudos sobre doses ocupacionais em radiologia intervencionista. Dentre eles, foi utilizado o resultado de um estudo publicado por Vano e col.⁵⁴ sobre dosimetria ocupacional em procedimentos de cardiologia intervencionista para exemplificar o cálculo da dose fetal.

De acordo com esta publicação, Vano e col.⁵⁴ obtiveram o valor de dose efetiva mensal igual a 0,072 mSv. Supondo-se este valor como sendo igual à dose na superfície de entrada (0,072 mGy_{TLD}), ou seja, dose ocupacional obtida por meio de uma leitura indireta de um dosímetro termoluminescente portado sobre um avental de proteção com equivalência 0,25 mm de chumbo, é possível calcular a dose fetal ocupacional. O valor tabelado da dose uterina normalizada correspondente à configuração operacional descrita acima (cardiologia intervencionista, uso de avental de proteção com equivalência em chumbo conhecida e TLD portado sobre este EPI), é igual à NUD=0,05. Aplicando-se estes valores na EQUAÇÃO 2.6, chega-se ao resultado de 3 μ Sv/mês para o valor da dose fetal, ou seja, a dose equivalente no feto de uma IOE, operando nestas condições operacionais.

Utilizando-se a EQUAÇÃO 3.5 com a distribuição de cargas de trabalho publicada por Simpkin²¹, $W(V)$, característica de salas de cateterismo cardíaco, apresentada na FIGURA 3.4, e, substituindo as funções: dose uterina normalizada em função da tensão, $NUD(V)$, apresentada na FIGURA 3.5, rendimento do tubo $\eta(V)$, razão espalhamento primário para um dado $a(V, \theta=90^\circ)$, obteve-se o gráfico apresentado na FIGURA 5.16

FIGURA 5.16 - Dose fetal, em $\mu\text{Sv/procedimento}$, em função do potencial do tubo, em kVp

Nesta análise foram definidos os seguintes valores representativos para as constantes:

- $\theta = 90^\circ$, representando o ângulo entre a profissional sob investigação e o paciente (espalhador);
- F sendo igual à área de um intensificador de imagens com diâmetro igual a 9 polegadas;
- $d_s = d_F = 50 \text{ cm}$, representando as distâncias entre o ponto focal e o paciente (espalhador) e entre o paciente e a profissional sob investigação.

Assim, a dose equivalente no feto, F_{eq} , pôde ser obtida por meio da integração (área) do gráfico apresentado na FIGURA 5.16. Com isso, foi obtido o valor de $F_{eq} = 1,32 \mu\text{Sv/procedimento}$.

A Tabela 5-7 apresenta alguns resultados publicados na literatura para fins de comparação do resultado obtido neste estudo. A última coluna apresenta os valores de dose equivalente semanal em $\mu\text{Sv/semana}$.

Tabela 5-7: Dose equivalente no feto reportada por alguns autores e o valor correspondente em $\mu\text{Sv/semana}$

<i>Referência</i>	<i>F_{eq}</i>	<i>F_{eq} ($\mu\text{Sv/semana}$)</i>
Este Trabalho	1,32 $\mu\text{Sv/proc}$	26,4 ^d
Osei e col. ¹³	62 $\mu\text{Sv/mês}$ ^a	15,5
Limacher e col. ⁵⁵	30 $\mu\text{Sv/semana}$ ^b	30
McParland e col. ⁵⁶	7,80 – 29 $\mu\text{Sv/proc}$ ^c	156 – 580 ^d

^a Dose na superfície de entrada igual a 168 $\mu\text{Gy/mês}$ obtida por meio da leitura indireta de um TLD portado sob um avental com 0,25 mm de equivalência em chumbo.

^b Configuração usual do TLD portado sob o avental com 0,5 mm de equivalência em chumbo.

^c Dose na superfície de entrada iguais a 21 e 78 $\mu\text{Gy/procedimento}$ obtida por meio da leitura indireta de um TLD portado sob um avental com 0,25 mm de equivalência em chumbo.

^d Dose equivalente no feto calculada para 20 procedimentos semanais.

O resultado da dose equivalente no feto obtido neste estudo (Tabela 5-7), 1,32 $\mu\text{Sv/proc}$, está entre -83% e -95%, comparado ao intervalo de mínimo e máximo publicados por McParland e col.⁵⁶. Já o resultado da dose equivalente no feto semanal, 26,4 $\mu\text{Sv/semana}$, está entre -12% e 70%, com relação aos valores de dose fetal equivalente publicados por Limacher e col.⁵⁵ e por Osei e col.¹³, respectivamente.

5.3 INVESTIGAÇÃO DO POSICIONAMENTO E TAMANHO FETAL

Os resultados da análise realizada com os dados de parâmetros fetais e maternos coletados durante exames de ultra-sonografia obstétrica são apresentados nesta seção.

Por meio desta base de dados, pode-se analisar estatisticamente o comportamento dos parâmetros fetais e maternos durante o avanço da gestação e verificar a validação das metodologias matemáticas sugeridas para

estimar os parâmetros espessura AP da paciente (EAP) e a profundidade fetal média (PFM). Além disso, pode-se investigar a influência de outros parâmetros da gestação, tais como a localização da placenta, a apresentação fetal e o volume vesical nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP, definidas como: NPFC, NPFA e NPFM, respectivamente.

Neste estudo, os dados de 102 fetos foram analisados, com idade gestacional de 8,57 (8 semanas e 4 dias) à 37,1 semanas (37 semanas e 1 dia).

5.3.1 Comportamento dos Parâmetros Maternos e Fetais durante o Avanço da Gestação

A influência do avanço da gestação nos parâmetros estudados foi investigada. Assim, os resultados obtidos foram agrupados por faixas de semanas de idade gestacional (IG). A Tabela 5-8 apresenta o intervalo, a média e o desvio padrão (SD) dos parâmetros maternos: massa corporal (MP), altura (AP) e espessura máxima AP (EAP) da paciente, segundo este agrupamento. A Tabela 5-9 apresenta os parâmetros maternos e fetais: profundidade fetal, medidos da superfície abdominal da gestante até um ponto da superfície craniana (PFC) e abdominal (PFA) do feto, valor médio entre estas duas grandezas (PFM), e a massa corporal fetal (MF), agrupados por períodos semanais de idade gestacional (IG).

Tabela 5-8: Parâmetros maternos: massa corporal (MP), altura (AP) e espessura máxima AP (EAP), agrupados por períodos semanais de idade gestacional (IG). N é o número de pacientes gestantes

IG (semanas)	N	MP (kg)		AP (m)		EAP (cm)	
		Intervalo (min – max)	Média	Intervalo (min – max)	Média	Intervalo (min – max)	Média
0 - 14	17	40,9 - 84,6	63,3 (11,3)	1,5 - 1,8	1,6 (0,1)	16,5 - 27,0	21,0 (2,7)
15 - 19	24	50,2 - 119,8	70,8 (14,6)	1,5 - 1,7	1,6 (0,1)	20,0 - 30,0	23,7 (2,5)
20 - 24	30	49,7 - 88,3	66,6 (11,2)	1,5 - 1,8	1,6 (0,1)	20,0 - 27,5	23,7 (2,2)
25 - 29	15	50,5 - 93,3	64,9 (11,5)	1,4 - 1,7	1,6 (0,1)	20,5 - 29,5	24,1 (2,2)
30 - 34	14	45,4 - 101,5	70,9 (13,4)	1,4 - 1,7	1,6 (0,1)	22,5 - 31,0	26,5 (2,6)
35 - 40+	2	81,1 - 97,5	89,3 (11,6)	1,5 - 1,7	1,6 (0,1)	29,5 - 30,0	29,8 (0,4)

Tabela 5-9: Parâmetros maternos e fetais: profundidade fetal medida da superfície abdominal da gestante até um ponto da superfície craniana (PFC) e abdominal (PFA) do feto, valor médio entre estas duas profundidades (PFM) e a massa corporal fetal (MF), agrupados por períodos semanais de idade gestacional (IG). N é o número de fetos

IG (semanas)	N	PFC (cm)		PFA (cm)		PFM (cm)		MF (g)	
		Intervalo (min – max)	Média	Intervalo (min – max)	Média	Intervalo (min – max)	Média	Intervalo (min – max)	Média
0 - 14	17	3,1 - 7,3	5,1 (1,1)	3,3 - 7,1	5,3 (1,1)	3,5 - 7,2	5,2 (1,0)	54 - 120	84,4 (20,2)
15 - 19	24	2,8 - 8,8	5,3 (1,5)	2,0 - 8,8	4,7 (1,7)	2,4 - 8,8	5,0 (1,5)	125 - 324	228,6 (61,7)
15 - 24	30	1,8 - 6,6	4,5 (1,0)	1,4 - 7,3	4,3 (1,5)	2,0 - 7,0	4,4 (1,2)	335 - 757	517,1 (113,0)
25 - 29	15	1,7 - 5,5	3,4 (1,1)	1,8 - 5,5	3,6 (1,0)	2,0 - 5,2	3,5 (0,9)	709 - 1147	976,7 (149,0)
30 - 34	14	2,3 - 5,3	4,0 (1,0)	2,1 - 6,2	4,0 (1,2)	2,6 - 5,2	4,0 (0,9)	1179 - 2585	1843,6 (409,3)
35 - 40+	2	3,5 - 4,3	3,9 (0,6)	2,9 - 7,3	5,1 (3,1)	3,6 - 5,4	4,5 (1,3)	2573 - 3065	2819,0 (347,9)

5.3.2 Validação das Metodologias para obtenção do EAP e do PFM

Por meio dos parâmetros massa corporal e altura da paciente, pode-se aplicar a metodologia matemática sugerida, diâmetro cilíndrico equivalente de paciente dado pela EQUAÇÃO 2.3, para o cálculo da espessura máxima AP da paciente EAP_{calc} . Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5-10 e estão dispostos segundo o agrupamento por faixa semanal de IG. Nesta tabela também são apresentados os resultados obtidos entre a razão das médias de EAP obtidas no levantamento, extraídas da Tabela 5-8, e as médias de EAP_{calc} .

Tabela 5-10: Resultados da espessura AP da paciente obtidos pelo método matemático, EAP_{calc} , e a razão destes valores com as medidas observadas no levantamento, EAP

IG (semanas)	EAP_{calc} (cm)		EAP/EAP_{calc}
	Intervalo (min – max)	Média	
0 - 14	18,5 - 26,0	22,2 (1,8)	0,9 (0,1)
15 - 19	20,5 - 30,9	23,7 (2,2)	1,00 (0,05)
15 - 24	20,2 - 26,7	23,1 (1,8)	1,00 (0,05)
25 - 29	20,6 - 26,8	22,8 (1,7)	1,10 (0,05)
30 - 34	20,3 - 27,8	24,0 (2,0)	1,10 (0,04)
35 - 40+	26,2 - 27,1	26,7 (0,6)	1,10 (0,04)

Os resultados apresentados na Tabela 5-10 indicam a confirmação da validação da metodologia matemática para a estimativa da espessura AP, EAP_{calc} , a partir dos parâmetros de massa corporal (MP) e altura da paciente (AP).

Por meio dos parâmetros espessura AP da paciente (EAP) e profundidade fetal média (PFM), pode-se analisar a razão entre estas duas grandezas, definida como profundidade fetal média normalizada pela EAP, NPFM, a fim de verificar a validade da metodologia matemática sugerida pela literatura, isto é, PFM aproximadamente igual a 30% da EAP ($NPFM_{pub}=0,30$, adaptada por Osei e col.²⁰ no software *FetDose*). Os resultados obtidos para a profundidade fetal média normalizada pela EAP, NPFM, e a diferença percentual entre os resultados encontrados e o valor publicado na literatura, $NPFM_{pub}$, estão apresentados na Tabela 5-11.

Tabela 5-11: Profundidade fetal média normalizada pela espessura AP, NPFM, e a diferença percentual entre os resultados obtidos e o valor publicado na literatura²⁰

IG (semanas)	NPFM		Diferença (%)
	Intervalo (min – max)	Média	
0 - 14	0,18 - 0,42	0,25 (0,06)	-17
15 - 19	0,11 - 0,30	0,21 (0,05)	-30
15 - 24	0,10 - 0,26	0,18 (0,04)	-40
25 - 29	0,08 - 0,21	0,15 (0,03)	-50
30 - 34	0,10 - 0,20	0,15 (0,03)	-50
35 - 40+	0,12 - 0,18	0,15 (0,04)	-50

As diferenças percentuais apresentadas na Tabela 5-11 indicam que o valor de referência publicado para a grandeza profundidade fetal média normalizada pela espessura AP, $NPFM_{pub}=0,30$, não é aplicado para casos reais de gestantes brasileiras. No padrão observado no levantamento realizado neste estudo, esta grandeza depende da idade gestacional (IG) inversamente proporcional, ou seja, NPFM diminui em 40% durante o avanço da gestação.

5.3.3 Influência de Outros Parâmetros Gestacionais

A localização da placenta (A=anterior, P=posterior ou O=outra), a apresentação fetal (P=pélvica, C=cefálica ou T=transversa) e o volume vesical (C=cheio, P=parcialmente cheio ou V=vazio) também foram coletados durante o levantamento, a fim de analisar suas influências nos dados de profundidade fetal normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM). A Tabela 5-12 apresenta os resultados de NPFC, NPFA e NPFM, agrupados por tipo de localização da placenta e de volume vesical, para todos os tipos de apresentação fetal.

Tabela 5-12: Influência da localização da placenta e do volume vesical materna nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM), para todos os tipos de apresentação fetal

Vol. Vesical	Anterior			Posterior		
	NPFC	NPFA	NPFM	NPFC	NPFA	NPFM
C	0,23 (0,03)	0,24 (0,02)	0,24 (0,02)	0,18 (0,04)	0,17 (0,04)	0,18 (0,04)
P	0,19 (0,02)	0,20 (0,04)	0,20 (0,03)	0,18 (0,07)	0,21 (0,07)	0,20 (0,07)
V^a	0,20	0,12	0,16	0,17 (0,03)	0,14 (0,03)	0,16 (0,03)

^a No levantamento realizado, havia somente um caso de gestante que apresentava a configuração de placenta anterior com volume vesical vazio.

A influência nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM), devido às configurações volume vesical materna para todos os tipos de apresentação fetal e localização da placenta, apresentação fetal para todos os tipos de localização da placenta e volume vesical e localização da placenta para todos os tipos de apresentação fetal e volume vesical materna é apresentada na Tabela 5-13.

Tabela 5-13: Influência nos parâmetros de profundidade medidos até a superfície craniana fetal, abdominal fetal e a média entre estas duas variáveis, normalizadas pela EAP (NPFA, NPFC e NPFM), devido às configurações: (i) volume vesical materna para todos os tipos de apresentação fetal e localização da placenta, (ii) apresentação fetal para todos os tipos de localização da placenta e volume vesical e (iii) localização da placenta para todos os tipos de apresentação fetal e volume vesical materna

Configurações	NPFC	NPFA	NPFM
(i) Volume Vesical			
C	0,21 (0,05)	0,20 (0,05)	0,20 (0,04)
P	0,19 (0,05)	0,20 (0,05)	0,20 (0,04)
V	0,18 (0,03)	0,14 (0,03)	0,16 (0,03)
(ii) Apresentação Fetal			
P	0,18 (0,05)	0,19 (0,06)	0,19 (0,05)
C	0,20 (0,03)	0,19 (0,05)	0,19 (0,03)
T^a	0,19	0,25	0,22
(iii) Localização da Placenta			
A	0,20 (0,04)	0,21 (0,04)	0,20 (0,04)
P	0,18 (0,05)	0,17 (0,06)	0,17 (0,05)

^a No levantamento realizado observou-se somente um caso de gestante com apresentação fetal transversa.

O resumo da análise estatística de todos os parâmetros fetais e maternos obtido neste trabalho é apresentado na Tabela 5-14.

Tabela 5-14: Resumo da análise estatística de todos os parâmetros fetais e maternos obtido neste estudo

<i>Parâmetro</i>	<i>Média</i>	<i>Intervalo (mín-máx)</i>
Massa Corporal da Paciente – MP (kg)	67,8 (12,8)	40,9 - 119,8
Altura da Paciente – AP (m)	1,6 (0,1)	1,4 - 1,8
Espessura AP – EAP (cm)	23,8 (2,9)	16,5 - 31,0
Profundidade Fetal (sup. Craniana) – PFC (cm)	4,5 (1,3)	1,7 - 8,8
Profundidade Fetal (sup. Abdominal) – PFA (cm)	4,4 (1,5)	1,4 - 8,8
Profundidade Fetal Média – PFM (cm)	4,5 (1,3)	2,0 - 8,8
Profundidade Fetal (sup. Craniana) normalizada pela EAP – NPFC	0,2 (0,1)	0,1 - 0,4
Profundidade Fetal (sup. Abdominal) normalizada pela EAP – NPFA	0,2 (0,1)	0,1 - 0,4
Profundidade Fetal Média normalizada pela EAP – NPFM	0,2 (0,1)	0,1 - 0,4
Comprimento crânio-caudal – CRL (cm)	6,8 (2,0)	1,1 - 9,2
Diâmetro Biparietal – BPD (cm)	6,7 (10,2)	1,9 - 89,0
Circunferência Cefálica – CC (cm)	19,4 (6,5)	6,8 - 32,6
Circunferência Abdominal – CA (cm)	17,4 (6,7)	5,3 - 33,8
Comprimento do Fêmur (cm) – CF (cm)	3,8 (1,6)	0,7 - 7,0
Idade Gestacional – IG (semanas)	22,0 (6,5)	8,6 - 37,1
Massa Corporal Fetal – MF (g)	707,1 (666,2)	54,0 - 3065,0

As comparações entre os resultados obtidos para a espessura AP da paciente gestante (EAP) e para a profundidade fetal média (PFM) com resultados publicados na literatura são apresentadas na Tabela 5-15.

Tabela 5-15: Comparação dos resultados obtidos para a espessura AP da paciente (EAP) e para a profundidade fetal média (PFM) com os valores publicados na literatura

<i>Referência</i>	<i>EAP (cm)</i>	<i>PFM (cm)</i>
Este trabalho	23,8 (2,9)	4,5 (1,3) ^a
Osei e Faulkner ³¹	25,90	8,10 ^b
Ragozzino e Breckle ²⁸	19,50	6,10 ^c
	20,0	8,40 ^d
Ragozzino e col. ²⁹	20,0	3,80
Huften ³⁰	25,0	7,30 ^e

^a Média de 102 gestações: IG = 8,6 – 37,1 semanas.

^b Média de 215 gestações.

^c Média de 14 gestações em estágio inicial, IG = 0 – 14 semanas.

^d Média de 10 gestações em estágio avançado, IG = 35 – 41,4 semanas.

^e Média de 75 gestações.

A comparação dos resultados apresentados na Tabela 5-15 indica que o valor obtido para a espessura AP (EAP) está entre 22% e -8% dos dados publicados por Ragozzino e Breckle²⁸ (19,50) e por Osei e Faulkner³¹, respectivamente. Já para a profundidade fetal média (PFM), os valores obtidos estão entre 18% e -38% dos resultados publicados por Ragozzino e col.²⁹ e por Hufton³⁰, respectivamente.

6 DISCUSSÃO

O sistema *on-line* desenvolvido neste estudo, *Dose Fetal Web*, mostrou-se uma ferramenta bastante eficiente para a estimativa da dose fetal e dos riscos radiológicos associados à exposição pré-natal. Os formulários eletrônicos propostos para os estudos de caso de exposição médica e ocupacional de gestantes possuem instruções básicas em português e são bem simples de serem usados. Os resultados da dose fetal e da probabilidade de ocorrência de riscos são calculados instantaneamente pelos *scripts* contendo as equações matemáticas e a página eletrônica pode ser impressa em forma de um relatório. Os resultados obtidos podem ser comparados com os valores limiares de dose fetal para a ocorrência dos efeitos: óbito intra-uterino, malformações, retardamento mental e no crescimento.

A funcionalidade dos formulários eletrônicos propostos para o cadastro das informações no banco de dados foi testada com sucesso durante o desenvolvimento do sistema. A acessibilidade aos menus de navegação do sistema *on-line* foi verificada para todos os tipos de usuários.

As informações de operação de equipamentos de diagnóstico por imagens dos hospitais e clínicas radiológicas da cidade de São Paulo acompanhados no PGQ foram incorporadas ao modelo. Os usuários destas unidades médicas podem se conectar ao sistema *on-line* e podem realizar estimativas de dose fetal por meio dos parâmetros técnicos ou selecionar uma das salas referentes ao seu hospital ou clínica radiológica. Este sistema também vai ser útil na estimativa de dose fetal de casos reais de pacientes que não sabiam da gestação no momento da realização do procedimento.

Os resultados dos estudos de casos hipotéticos de dose fetal médica e ocupacional e dos riscos radiológicos associados a estas exposições, realizados pelo *Dose Fetal Web* estão bem próximos dos resultados obtidos utilizando o software *FetDose*. As únicas exceções observadas nos resultados apresentados na Tabela 5-1, foram os casos de dose fetal médica com diferenças de 12,6% e -17,5% entre os resultados obtidos no software *FetDose* e no sistema *on-line Dose Fetal Web*, para procedimentos de Coluna Lombar LAT e de Abdômen AP, respectivamente. Como a base de dados de valores de DEP utilizada foi a mesma, pode-se atribuir esta diferença às escolhas do

coeficiente de dose uterina normalizada, NUD, e do fator de tamanho fetal, SF. Como o NUD é dependente da profundidade fetal média e da tensão do tubo e o SF é dependente da idade gestacional, estas duas variáveis podem influenciar os resultados obtidos nos dois sistemas.

No caso do estudo da dose fetal ocupacional a partir de uma base de dados dosimétrica, o valor médio da dose fetal mensal encontrado, F_{eq} igual a 0,04 mSv/mês (FIGURA 5.10), e o valor médio da dose fetal mensal institucional, F_{eq}^{inst} igual a 0,042 mSv/mês (FIGURA 5.11), implicam que uma mulher ocupacionalmente exposta (IOE) durante suas atividades profissionais em unidades que possuem serviços de hemodinâmica, na maioria dos casos estudados, apresentaria uma dose fetal média abaixo do valor de referência adotado ($F_r = 0,1$ mSv/mês), desde que utilize o padrão de configuração de forma de uso de dosímetro TL portado por cima de um avental de proteção com, no mínimo 0,25 mm de equivalência em chumbo. Com isso, o feto de uma IOE operando nestes padrões dosimétricos estará sujeito a uma dose entre 62% e 64% inferior ao valor máximo da dose fetal estabelecido pela Portaria nº. 453⁶, de 1 mSv para toda a gestação.

Com relação aos casos críticos apresentados na Tabela 5-6, os resultados obtidos implicam em doses fetais mensais superiores ao limite estabelecido, variando de 1,4 a 2,6 vezes no grupo de IOE estudado. Uma vez que a probabilidade de ocorrência dos efeitos danosos é proporcional à dose, os riscos aumentam nesta mesma proporção.

Deve-se ressaltar que a amostra de dados dosimétricos de IOE em serviços de hemodinâmica considerada apresentava 71% das leituras dosimétricas com doses inferiores ao nível de registro dos dosímetros. Estes valores não foram incorporados à base de dados utilizada nos cálculos de dose fetal mensal e dose fetal mensal institucional.

O resultado da dose equivalente no feto obtido neste estudo (Tabela 5-7), 1,32 μ Sv/proc, está entre -83% e -95%, comparado ao intervalo de mínimo e máximo publicados por McParland e col.⁵⁶. Já o resultado da dose equivalente no feto semanal, 26,4 μ Sv/semana, está entre -12% e 70%, com relação aos valores publicados por Limacher e col.⁵⁵ e por Osei e col.¹³, respectivamente.

Por meio dos resultados obtidos no estudo da influência dos parâmetros maternos e fetais nas estimativas de dose, apresentados na Tabela 5-10,

observa-se a validação da metodologia para a obtenção da máxima espessura AP da paciente, EAP (isto é, razão EAP/EAP_{calc} em torno de 1). Pelas comparações apresentadas na Tabela 5-15 o resultado obtido para a EAP está entre 22% e -8% do mínimo e do máximo publicados, respectivamente.

A metodologia publicada na literatura^{28,31} para a estimativa da profundidade fetal média, PFM, a partir da EAP não foi validada, conforme os resultados apresentados na Tabela 5-11. Pôde-se perceber que os valores de PFM dependem da idade gestacional e são menores do que 30%. Os resultados obtidos na Tabela 5-13 indicam que a dose fetal média é influenciada pelo volume vesical, seguido da localização da placenta e da apresentação fetal. Pôde-se perceber que, em um caso hipotético de uma paciente gestante, a dose fetal é maior nos casos de volume vesical vazio, placenta posterior e apresentação fetal cefálica ou pélvica.

Observa-se, pelas comparações apresentadas na Tabela 5-15, que a maioria dos valores publicados para PFM estão acima dos valores obtidos neste estudo. O resultado obtido para PFM está 18% e -44% do mínimo e do máximo publicados, respectivamente. Essa diferença pode estar relacionada ao padrão da gestante brasileira ou ao tipo de metodologia seguida por outros autores para as medidas de profundidade fetal durante os exames de ultrassonografia obstétrica (pressão do transdutor na superfície abdominal da gestante, movimento do feto, etc.).

7 CONCLUSÕES

Este trabalho contribuirá para as avaliações da dose fetal e dos riscos de exposições médicas e ocupacionais de gestantes, tanto por meio de estudos de casos hipotéticos quando por situações reais de exposição inadvertida, por exemplo, durante as primeiras semanas de gestação que é o período em que a gestação pode ser desconhecida. Estas avaliações podem servir de auxílio na tomada de decisões e no aconselhamento de gestantes com relação aos efeitos da radiação ionizante sobre o futuro indivíduo.

O sistema *on-line* desenvolvido prevê formulários para a atualização das informações dos testes do PGQ dos hospitais e clínicas radiológicas já cadastrados e a incorporação de mais unidades médicas.

No caso do levantamento de dados de ultra-sonografia obstétrica, as páginas eletrônicas do sistema prevêem a inclusão de mais registros e sua imediata análise estatística.

O sistema *Dose Fetal Web* poderá ser expandido para incorporar os valores do levantamento de dados de ultra-sonografia obstétrica nos cálculos de dose fetal. Atualmente, a estimativa da profundidade fetal média, utilizada nos cálculos, está sendo realizada por meio da metodologia matemática proposta e, segundo este estudo, esta metodologia não apresentou boa concordância quando comparado aos dados reais de gestantes brasileiras.

Outras técnicas radiográficas podem ser inseridas no *Dose Fetal Web* para, por exemplo, estimar a dose fetal média em procedimentos de tomografia computadorizada. Já no caso de exposição ocupacional, pode-se acrescentar um formulário para *upload* de arquivos tipo texto, contendo uma base de dados dosimétrica de IOE de uma dada instituição médica, ou uma distribuição de cargas de trabalho que caracterize uma dada sala radiológica.

Durante este estudo não foi possível realizar uma análise mais detalhada dos coeficientes NUD, como interpolações dos valores tabelados. Além disso, a dose fetal ocupacional a partir de valores reais de distribuição de cargas de trabalho para um caso de uma sala radiológica no Brasil não pôde ser realizada. Estas duas abordagens ficam como sugestões de trabalhos futuros.

ANEXO A

PLANILHA PARA
COLEÇÃO DE DADOS
DE PARÂMETROS FETAIS E MATERNOS
DURANTE EXAME
DE ULTRA-SONOGRAFIA OBSTÉTRICA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Planilha para coleção de dados de parâmetros fetais e maternos durante exame de ultra-sonografia obstétrica

Instituição: InRad/Hospital das Clínicas – São Paulo

Número do Formulário: ...

No	Máxima Espessura AP (EAP) (cm)	Massa Corporal da Paciente (MP) (kg)	Altura da Paciente (AP) (cm)	Profundidade fetal (sup. craniana) (PFC) (cm)	Profundidade fetal (sup. abdominal) (PFA) (cm)	CRL (cm)	BPD (cm)	Circunf. cefálica (CC) (cm)	Circunf. abdominal (CA) (cm)	Comp. do fêmur (CF) (cm)	Idade gestacional (IG) (semanas)	Massa Corporal Fetal (MF) (g)	Placenta (A,P,O)	Apresentação Fetal (P,C,T)	Bexiga (C,V,P)	OBS.
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																

CRL-comprimento crânio-caudal; BPD-Diâmetro biparietal; A-ANTERIOR; P-POSTERIOR; O-OUTRA; P-PÉLVICA; C-CEFÁLICA; T-TRANSVERSA; C-CHEIA; V-VAZIA; P-PARCIALMENTE CHEIA.

Projeto de pesquisa: **Análise dos parâmetros fetais e maternos para fins de estimativa da dose em fetos de gestantes submetidas a procedimentos de radiodiagnóstico**

Aluna: Sybele G. P. Groff

Orientador: Dr. Paulo R. Costa – IEE

Colaborador: Dr. Sergio Kobayashi - INRAD

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 WAGNER, L.K.; LESTER, R.G.; SALDANA, L.R. ***Exposure of the pregnant patient to diagnostic radiations: A Guide to Medical Management***. 2. ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing, 1997.
- 2 LINDELL, B.; DUNSTER, H.J.; VALENTIN, J. **International Commission on Radiological Protection: History, policies, procedures**. Disponível em <<http://www.icrp.org/docs/Histpol.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2004.
- 3 INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Recommendations of the International Commission Radiological Protection - Publication 60. ***Ann ICRP***, v. 21, p. 1-3, 1991.
- 4 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). ***International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources***. Safety Series n. 115. Vienna: IAEA, 1996.
- 5 Brasil. Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN). ***Diretrizes básicas de radioproteção. Norma CNEN-NN 3.01***. Rio de Janeiro: CNEN, 2005.
- 6 Brasil. Ministério da Saúde. ***Portaria SVS MS 453: Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico do Ministério da Saúde***. Brasília: Diário Oficial da União. Jun. 02, 1998.
- 7 SHERER, M.A.S.; VISCONTI, P.J.; RITENOUR, E.R. ***Radiation protection in medical radiography***. 4. ed. St. Louis: Mosby, 2002.
- 8 CEMBER, H. ***Introduction to health physics***. 3. ed. New York: McGraw-Hill Medicine, 1996.

- 9 KEARFOTT, K. J.; BACIAK, J.E. Review of fetal radiation dose protection and dosimetry issues for medical procedures. ***RSO Magazine***, v. 5, n. 2, p. 13 - 16, 2000.
- 10 BERGONIÉ, J.; TRIBONDEAU, L.C.R. De quelques résultats de la radiothérapie et essai de fixation d'une technique rationnelle. ***Comptes Rendus Acad Sci***, v. 143, p. 983, 1906.
- 11 INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 84: Pregnancy and Medical Radiation, 84. ***Ann ICRP***, v. 30, Oxford: Pergamon Press, 2000.
- 12 Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). ***NR-32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Assistência à Saúde***. Portaria MTE nº 485. Brasília: Diário Oficial da União. Nov. 11, 2005.
- 13 OSEI, E.K.; KOTRE, C.J. Equivalent dose to the fetus from occupational exposure of pregnant staff in diagnostic radiology. ***Br J Radiol***, v. 74, p. 629 – 637, 2001.
- 14 GROFF, S.G.P.; COSTA, P.R. *Exposição ocupacional da trabalhadora grávida em procedimentos de cardiologia intervencionista*. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, Ribeirão Preto. Anais do XI Congresso Brasileiro de Física Médica, 2006.
- 15 GROFF, S.G.P.; COSTA, P.R. Análise da dose fetal de mulheres ocupacionalmente expostas durante procedimentos de radiologia intervencionista. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, Foz do Iguaçu. Anais do XII Congresso Brasileiro de Física Médica, 2007.
- 16 EMERY, R.J. Embryo/fetal radiation protection: a possible model for comprehensive occupational reproductive health programs. ***Chem Health Saf***, v. 8, n. 3, p. 15 – 20, 2001.

- 17 GROFF, S.G.P.; COSTA, P.R. Estudo da dose fetal a partir dos resultados de dose de entrada na pele. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, Foz do Iguaçu. Anais do XII Congresso Brasileiro de Física Médica, 2007.
- 18 OSEI, E.K.; FAULKNER, K. Fetal doses from radiological examinations. **Br J Radiol**, v. 72, p. 773 - 780, 1999.
- 19 TUNG, C.J.; TSAI, H.Y. Evaluations of gonad and fetal doses for diagnostic radiology. **Proc Natl Sci Counc Repub China B**, v. 23, n. 3, p. 107 - 113, 1999.
- 20 OSEI, E.K.; DARKO, J.B.; FAULKNER, K.; KOTRE, C.J. Software for the estimation of foetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology. **J Radiol Prot**, v. 23, p.183 - 194, 2003.
- 21 SIMPKIN, D. Evaluation of NCRP Report No. 49 assumptions on workloads and use factors in diagnostic radiology facilities. **Med Phys**, v. 23, n.4, p. 577 - 584, 1996.
- 22 OSEI, E.K. **Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology**. 2000. Tese (PHD) – Universidade de Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.
- 23 Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.
- 24 PEREIRA, P.A.A.; FURQUIM, T.A.C.; COSTA, P.R. Avaliação da Dose de entrada na pele em Equipamentos de Diagnóstico por Imagens Utilizando Distribuições de Cargas de Trabalho. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, Ribeirão Preto. Anais do XI Congresso Brasileiro de Física Médica, 2006.

- 25 LINDSKOUG, B. A. The reference man in diagnostic radiology dosimetry. **Br J Radiol**, v. 65, p. 431 - 437, 1992.
- 26 MARTIN, C.J.; FARQUHAR, B.; STOCKDALE, E; MACDONALDS, S. A study of the relationship between patient dose and size in paediatric radiology. **Br J Radiol**, v. 67, p. 864 – 871, 1994.
- 27 CHAPPLE, C.L.; BROADHEAD, D.A.; FAULKNER, K. A phantom based method for deriving typical doses from measurements of dose-area product on populations of patients. **Br J Radiol**, v. 68, p. 1083 – 1086, 1995.
- 28 RAGOZZINO, M.W.; BRECKLE, R.; HILL, L.M.; GRAY, J.E. Average fetal depth in utero: data for estimation of fetal absorbed radiation dose. **Radiol**, v. 158, p. 513 – 515, 1986.
- 29 RAGOZZINO, M.W.; GRAY, J.E.; BURKE, T.M.; VAN LYSEL, M.S. Estimation and minimization of fetal absorbed dose: data from common radiographic examinations. **Am J Roentgenol**, v. 137, p. 667 – 671, 1981.
- 30 HUFTON, A.P. Radiation dose to the fetus in obstetric radiography. **Br J Radiol**, v. 52, p. 735 – 740, 1979.
- 31 OSEI, E.K.; FAULKNER, K. Fetal position and size data for dose estimation. **Br J Radiol**, v. 72, p. 363 - 370, 1999.
- 32 ROSENSTEIN, M. **Organ doses in diagnostic radiology**. Food and Drug Administration, FDA. HEW Publication 76-8030. Rockville, MD: HEW, 1976.
- 33 RUME, M.S. **Avaliação de Carga de Trabalho em Procedimentos Intervencionistas e Doses Ocupacionais**. 2007. Monografia - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

- 34 FAULKNER, K; MARSHALL, N.W. Personal monitoring of pregnant staff in diagnostic radiology. **J Radiol Prot**, v. 13, n. 4, p. 259 – 265, 1993.
- 35 SHAPIRO, J. Radiation protection: a guide for scientists, regulators, and physicians. 4. ed. Cambridge: Harvard University Press, p. 418 – 423, 2002.
- 36 MARTIN, C.J.; SUTTON, D.G. (Ed.) Practical radiation protection in healthcare. New York: Oxford University Press, p. 177 – 187, 2002.
- 37 PAULA, L.C.; MEDEIROS, R.B. Exposição à radiação no período pré natal. **Folha Med**, v. 120, p. 213 – 219, 2001.
- 38 OSEI, E.K.; FAULKNER, K. Radiation risks from exposure to diagnostic X-rays during pregnancy, **Radiography**, v. 6, p. 131 – 144, 2000.
- 39 D'IPPOLITO, G.; MEDEIROS, R.B. Exames radiológicos na gestação. **Radiol Bras**, v. 38, n. 6, 2005.
- 40 OTAKE, M.; SCHULL, W.J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. **J Radiat Res**, v. 32 (sup.), p. 249 – 264, 1991.
- 41 INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. **Ann ICRP**, v. 37, cap. 3 – 4, p. 49 – 79, 2007.
- 42 NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). **Diagnostic medical exposures: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement**. Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 5 – 14, 1993.

- 43 NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). ***Estimates of late radiation risks to the UK population: Chapter 6 - Irradiation in utero.*** Doc. NRPB 4. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, n. 4, p. 105 – 125, 1993.
- 44 GANDELMAN, H. ***De Gutenberg à Internet: direitos autorais na era digital.*** 4. ed. Rio de Janeiro: Record, 2001.
- 45 SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSHAN, S. ***Sistema de banco de dados.*** 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1999.
- 46 LIMA, V.R. ***Desenvolvimento de um sistema baseado na web para suporte ao programa de monitoração individual interna do IPEN.*** 2007. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 47 SOARES, F.C.F. ***Avaliação de dispositivos de proteção individual utilizados em radiologia diagnóstica.*** 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 48 NIEDERAUER, J.; ***PHP para quem conhece PHP.*** 2. ed. São Paulo: Novatec, 2004.
- 49 NETO, P.A. ***PostgreSQL - técnicas avançadas - versões open source 7.X.*** 4. ed. São Paulo: Érika, 2003.
- 50 COSTA, P.R. ***Modelo para determinação de espessuras de barreiras protetoras em salas para radiologia diagnóstica.*** 1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- 51 SIMPKIN, D.J.; DIXON, R.L. Primary shielding barriers for diagnostic X-ray facilities: A new model. **Health Phys**, v. 74, p. 181 - 189, 1998.
- 52 SIMPKIN, D.J.; DIXON, R.L. Secondary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities: Scatter and leakage revisited. **Health Phys**, v. 74, n. 3, p. 350 – 365, 1998.
- 53 HADLOCK, F.P.; SHAH, Y.P.; KANON, D.J.; LINDSEY, J.V. Fetal crown-rump length: reevaluation of relation to menstrual age (5 - 18 weeks) with high-resolution real time US. **Radiol**, v. 182, p. 501 – 505, 1992.
- 54 VAÑO, E.; GONZALEZ, L.; FERNANDEZ, J.M.; ALFONSO, F.; MACAYA, C. Occupational radiation doses in interventional cardiology: a15-year follow-up. **Br J Radiol**, v. 79, p. 383 - 388, 2006.
- 55 LIMACHER, M.C.; DOUGLAS, P.S.; GERMANO, G.; LASKEY, W.K.; LINDSAY, B.D.; MCKETTY, M.H. *et al.* ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. **J Am Coll Cardiol**, v. 31, p. 892 - 913, 1998.
- 56 MCPARLAND, B.J.; NOSIL, J; BURRY, B. A survey of the radiation exposures received by the staff at two cardiac catheterization laboratories. **Br J Radiol**, v. 63, p. 885 – 888, 1990.