



ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA DE PROCEDIMENTOS DE
RADIOTERAPIA VIA REDES BAYESIANAS

Érica Cupertino Gomes

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Nuclear.

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e
Melo

Rio de Janeiro

Abril de 2011

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA DE PROCEDIMENTOS DE
RADIOTERAPIA VIA REDES BAYESIANAS

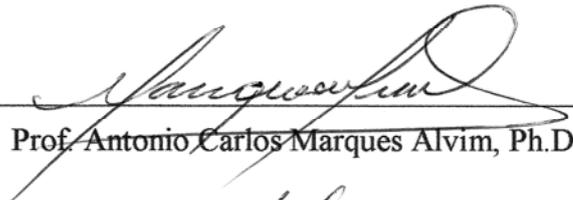
Érica Cupertino Gomes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:



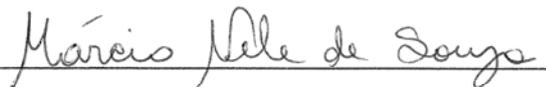
Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.



Prof. Antonio Carlos Marques Alvim, Ph.D.



Prof. Ademir Xavier da Silva, D. Sc.



Prof. Marcio Nele de Souza, D.Sc.



Prof. Alessandro Facure Neves de Salles Soares, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2011

Gomes, Érica Cupertino

Análise de Confiabilidade Humana de Procedimentos de Radioterapia Via Redes Bayesianas/Érica Cupertino Gomes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XII, 110 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo
Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2011.

Referencias Bibliográficas: p. 73-79.

1. Análise de Confiabilidade Humana. 2. Redes Bayesianas. 3. Elicitação. I. Melo, Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

“Transformação é uma porta que só se abre por dentro”

Provérbio francês

Agradecimentos

A Deus por iluminar meu caminho e por me acompanhar na travessia dos obstáculos.

Ao setor de Radioterapia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/UFRJ, especialmente ao médico Paulo César V. Canary, por permitir o desenvolvimento deste trabalho e disponibilizar os recursos necessários, bem como aos médicos Rachele M. Santoro, Marcio Reisner, Marcos A. L. Polonia, Lisa T. Ogawa, pela paciência e importante contribuição.

Aos físicos médicos Claudia G. Baptista, Evangelina Márcia, Leo de O. Franco, Leonardo P. da Silva e Roberto S. de Souza e aos técnicos em radiologia Renata de S. Silva, Pedro P. Rabello, Luciana R. da Silva, Luiz Fernando Domingues e Carlos R. S. Silva pela paciência e importante contribuição.

Aos meus pais pelo amor e incentivo e ao meu irmão pelo suporte na informática.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Fernando Frutuoso, por todo o incentivo, confiança e paciência.

Ao Reginaldo de Oliveira, funcionário do Programa de Engenharia Nuclear, pelo incentivo e disposição em ajudar.

Ao professor Ademir, pela contribuição bibliográfica.

Aos meus amigos, pela compreensão e incentivo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA DE PROCEDIMENTOS DE RADIOTERAPIA VIA REDES BAYESIANAS

Érica Cupertino Gomes

Março/2011

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Programa: Engenharia Nuclear.

O principal propósito deste trabalho é destacar e modelar as etapas mais relevantes no caso de falhas humanas no procedimento de radioterapia, identificando os possíveis modos de falhas humanas nestes procedimentos. Para modelar e destacar as etapas mais relevantes da teleterapia e da braquiterapia foi utilizado uma abordagem via redes bayesianas. Por fim, como técnica para a quantificação das redes bayesianas é utilizada a elicitación de especialistas, já que não existe um banco de dados que possa ser utilizado.

No caso da teleterapia, observando-se apenas as etapas prescrição, planejamento e execução, verifica-se que a etapa cujo aumento da probabilidade de sucesso foi maior, depois de consideradas medidas preventivas, é a execução. Este fato está de comum acordo com os casos de falhas e acidentes relatados na literatura, tendo em vista que mais de 50% destes casos estão relacionados com a fase de execução. Relacionado à braquiterapia, o fator que apresentou maior relevância foi o uso do equipamento, cujo aumento da probabilidade de sucesso, depois de consideradas medidas de prevenção, foi de 39,8%, demonstrando a importância de um treinamento específico e continuado. É importante destacar que o objetivo não é o cálculo do risco associado a tratamentos de radioterapia, mas sim verificar como medidas de prevenção de acidentes influenciam no sucesso do procedimento, além de observar a relação entre todas as etapas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.)

HUMAN RELIABILITY ANALYSIS OF RADIOTHERAPY PROCEDURES USING
BAYESIAN NETWORKS

Érica Cupertino Gomes

March/2011

Advisor: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Department: Nuclear Engineering

The main purpose of this thesis is to highlight and model the most important steps in cases of human error in radiotherapy procedures by identifying possible modes of human error in these procedures. An approach via Bayesian networks to model and highlight the most relevant steps of teletherapy and brachytherapy was used. Finally, as a technique for the quantification of Bayesian networks, an expert opinion elicitation procedure is used since there is not a database that can be used.

In the case of teletherapy, observing only the stages of prescription, planning and execution, it appears that the step which increases the success probability the most, after consideration of preventive measures, is implementation, which is in agreement with cases of errors and accidents reported in the literature, considering that over 50% of these cases are related to the implementation phase. Related to brachytherapy. The most relevant factor was the use of equipment, which increase in success probability, after consideration of preventive measures was 39.8%, demonstrating the importance of a continuous specific training. It is important to mention that, the purpose was not to calculate the risk associated with radiotherapy treatments, but to check how accident prevention influences the success procedure, and observe the relationship between all stages.

Índice

Capítulo 1	Introdução	1
Capítulo 2	Revisão Bibliográfica	8
Capítulo 3	Fundamentos teóricos	14
3.1	– Inferência bayesiana	15
3.2	– Conceitos básicos sobre teoria dos grafos	16
3.3	– Redes bayesianas	18
3.4	– Opinião de especialistas e o Teorema de Bayes	21
3.5	– Obtenção dos dados	23
3.5.1	– Procedimentos para a elicitacão de especialistas	24
3.6	– Análise de Confiabilidade Humana	38
3.6.1	– Aspectos gerais	38
3.6.2	– Fatores Delimitadores do Desempenho Humano - FDDH	41
Capítulo 4	Estudo de caso	43
4.1	– Teleterapia	43
4.1.1	– Eventos relacionados com o equipamento	44
4.1.2	– Eventos relacionados com pacientes	45
4.2	– Braquiterapia	46
4.2.1	– Eventos relacionados ao equipamento	47
4.2.2	– Eventos relacionados com pacientes	48
4.5	– Medidas para prevençã de acidentes	51
4.5.1	– Identificaçã das atividades e etapas críticas de segurança	51
4.5.2	– Treinamento	52
4.5.3	– Comunicaçã	53
4.5.4	– Equipamentos	54
4.5.5	– Interface homem-máquina	55
4.5.5	– Manutençã	56
4.6	– Breve histórico do desenvolvimento do trabalho	56
4.7	– Redes bayesianas	58
4.8	– Questionários aplicados	61
4.9	– Apresentaçã dos resultados	62
Capítulo 5	Conclusões e Recomendações	69

5.1 – Conclusões.....	69
5.2 – Recomendações	70
Referências Bibliográficas.....	73
APÊNDICE I	80
Questões sobre Teleterapia.....	80
APÊNDICE II.....	91
Questões sobre Braquiterapia	91
APÊNDICE III	96
Questionário preenchido sobre teleterapia	96
APÊNDICE IV	103
Questionário preenchido sobre braquiterapia.....	103
APÊNDICE V	106
Valores agrupados das estimativas fornecidas pelos especialistas referentes à teleterapia	106
APÊNDICE VI.....	109
Valores agrupados das estimativas fornecidas pelos especialistas referentes à braquiterapia.....	109

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Passos do planejamento do processo de radioterapia.....	11
Figura 3.1 – Exemplo de Grafo	17
Figura 3.2 – Exemplo de RB	19
Figura 3.3 – Principais passos no processo de elicitação	25
Figura 4.1 – Equipamento de teleterapia	44
Figura 4.3 – Exemplo de equipamento de braquiterapia	47
Figura 4.4 – Fios de Irídio – 192 para uso em braquiterapia.....	47
Figura 4.5 – Eventos Adversos na Radioterapia.	50
Figura 4.6 – Incidentes na Radioterapia.	50
Figura 4.7 – Rede bayesiana para a braquiterapia	58
Figura 4.8 – Rede bayesiana para a teleterapia	59
Figura 4.9 – Rede bayesiana para a etapa de prescrição da teleterapia.....	60
Figura 4.10 – Rede bayesiana para a etapa de planejamento da teleterapia.....	60
Figura 4.11 – Rede bayesiana para a etapa de execução da teleterapia.....	61
Figura 4.12 – RB com os valores <i>a priori</i> da fase de prescrição do tratamento de teleterapia	62
Figura 4.13 – RB com os valores <i>a posteriori</i> da fase de prescrição do tratamento de teleterapia	63
Figura 4.14 – RB com os valores <i>a priori</i> do planejamento do tratamento de teleterapia	64
Figura 4.15 – RB com os valores <i>a posteriori</i> do planejamento do tratamento de teleterapia	64
Figura 4.16 – RB com os valores <i>a priori</i> da fase de execução do tratamento de teleterapia	65
Figura 4.17 – RB com os valores <i>a posteriori</i> da fase de execução do tratamento de teleterapia	65
Figura 4.18 – Gráfico comparativo das etapas de teleterapia, por ordem cronológica. .	66
Figura 4.19 – RB com os valores <i>a priori</i> do tratamento de braquiterapia	67
Figura 4.20 – RB com os valores <i>a posteriori</i> do tratamento de braquiterapia.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Distribuição das instalações de radioterapia autorizadas e registradas na CNEN em Abril de 2011.	6
Tabela 3.1 – Tabela de Probabilidades Condicionais relacionadas à variável A	20
Tabela 3.2 – Fatores delimitadores do desempenho humano	42
Tabela 4.1 – Eventos relacionados ao equipamento e às etapas onde ocorreram os acidentes na teleterapia.....	45
Tabela 4.2 – Eventos relacionados aos pacientes e às etapas onde ocorreram os acidentes na teleterapia.....	46
Tabela 4.3 – Etapas onde ocorreram acidentes relacionados ao equipamento na braquiterapia	48
Tabela 4.4 – Etapas onde ocorreram acidentes relacionados aos pacientes na braquiterapia.	49

Lista de Siglas

ACH	Avaliação da Confiabilidade Humana
APS	Análise Probabilística de Segurança
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
FDDH	Fatores Delimitadores do Desempenho Humano
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis (Análise de Modo e Efeitos de Falhas)
Gy	gray (unidade de medida de dose absorvida)
HUCFF	Hospital Universitário Clementino Fraga Filho
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
MU	Unidade de Monitoração
NRC	Nuclear Regulatory Commission
PSF	Fatores Delimitadores de Desempenho
RB	Rede Bayesiana

A radioterapia é uma abordagem terapêutica da doença oncológica que utiliza radiação ionizante. Os efeitos desta radiação ionizante dependem de fatores como a taxa de dose, o tipo de radiação, o fracionamento, dentre outros (Tauhata, 2003). As alterações provocadas pela interação da radiação com a matéria nem sempre são nocivas, mas o objetivo da radiação como tratamento é a morte da célula doente.

A radioterapia é amplamente utilizada, pois é uma das principais opções no tratamento do câncer.

De acordo com a WHO(2008), 52% dos pacientes recebem radioterapia pelo menos uma vez durante o tratamento contra o câncer e ainda, junto com outras modalidades, tais como cirurgia e quimioterapia, a radioterapia desempenha um papel importante no tratamento de 40% dos pacientes que foram curados.

Segundo o INCA (2008) o uso da radiação ionizante no tratamento de câncer data do final do século passado. Desde então a medicina avançou bastante, e hoje pode-se dividir a radioterapia em:

- Teleterapia, que consiste na terapia à distância. Aqui se enquadram os feixes de raios-X, de raios gama, elétrons de alta energia e nêutrons;
- Aceleradores lineares, cujo tratamento é feito com elétrons acelerados com micro-ondas;
- Braquiterapia, que consiste na terapia de curta distância. Uma fonte encapsulada ou um grupo é utilizado para liberação de radiação β ou γ a poucos centímetros do tumor;
- Método de Implantação de fontes.

Embora este procedimento tenha sofrido grandes avanços nos campos do conhecimento e da tecnologia, está sujeito a diversas incertezas relacionadas a falhas humanas. Para reduzir tais falhas um rigoroso programa de garantia de qualidade é recomendado (IAEA, 2000 e WHO, 2008). No capítulo 2 é feita uma revisão de vários erros ocorridos e no capítulo 3 um levantamento de diversas fontes de erros.

1.1 – Objetivos da Tese

O presente trabalho visa modelar alguns procedimentos de radioterapia, ou seja, teleterapia e braquiterapia (que serão descritos no Capítulo 3), identificando os possíveis modos de falhas humanas nestes procedimentos, bem como os Fatores Delimitadores de Desempenho Humano (Performance Shaping Factors – PSF) que mais contribuem para um acidente cujas vítimas seriam pacientes em tratamento.

Busca analisar os fatores envolvidos de modo qualitativo e sugerir técnicas de quantificação bem como obter meios para minimizar os riscos a partir de técnicas de Avaliação de Confiabilidade Humana - ACH.

1.2 – Justificativa

A partir de relatórios da IAEA – International Atomic Energy Agency e de artigos em publicações indexadas, que serão citados na revisão bibliográfica, foi observada a existência de certa preocupação com a prevenção de acidentes. Thomadsen et al (2003) e o TecDoc 1494 (2006) utilizam ou sugerem técnicas de APS – Análise Probabilística de Segurança como árvores de falhas e árvores de eventos, entretanto tais modelos não permitem o rastreamento dos principais fatores que influenciam os erros cometidos, fatores que limitam o desempenho humano, como por exemplo, carga excessiva de trabalho, condições ambientais, estresse. Souza et al. (2001) descrevem alguns erros humanos cometidos em procedimentos de teleterapia e braquiterapia e tornam clara a importância do contexto em algumas falhas cometidas.

1.3 – Motivação

Alguns acidentes radioativos têm sido aludidos na literatura tendo o homem como causa raiz. Souza et al. (2001) apontam alguns erros em tratamentos radioterapêuticos que atingem diretamente os pacientes. É bastante conveniente o estudo de uma metodologia que possa ser aplicada especificamente a falhas como as expostas por Souza et al. (2001), algumas das quais estão descritas a seguir.

- 1- Erro na medida do fator de transmissão de um filtro em cunha. Nenhuma verificação independente, das medidas de transmissão, foi feita e os técnicos falharam em comparar a medida do fator de transmissão com medidas prévias a tempo. Este erro resultou em tratamento com dose menor que a prescrita de pelo menos 53 pacientes. Doses abaixo da prescrita podem acarretar a reincidência da neoplasia (tumor, benigno ou maligno).
- 2- Erro humano na localização do campo de tratamento. Um paciente foi submetido ao tratamento da mama direita, em uma unidade de ^{60}Co , quando a mama esquerda é a que deveria ser irradiada. O paciente recebeu uma aplicação de 200 cGy¹.
- 3- Erro de multiplicação no cálculo do tempo de exposição em uma unidade de ^{60}Co . Foi detectado após o final do tratamento com revisão da ficha de planejamento. O paciente, agendado para dose total de 3.000 cGy, recebeu 3.345 cGy (11,5% a mais do que a da dose prescrita).
- 4- O técnico cometeu erro de leitura do tempo de exposição calculado; em vez de ler 1,39 minutos, leu 1,89 minutos. O erro foi detectado depois da 11ª aplicação das 12 prescritas. O tratamento era de 3.000 cGy para a linha média do cérebro em 12 frações iguais de 250 cGy. O paciente recebeu 3.753 cGy, em vez da prescrição de 3.000 cGy.
- 5- Erro na adição das doses por seção de tratamento. Pensou-se que a dose recomendada no tumor era de 5.373 cGy, mas verificou-se que a dose real liberada era de 6.173 cGy.
- 6- Erro na determinação da profundidade do tumor. Neste erro, um paciente sob tratamento recebeu dose tumor de 5.570 cGy, em vez da dose tumor prescrita de 4.070 cGy.
- 7- A profundidade de cálculo do tratamento foi assinalada erradamente na ficha do paciente. A dose prescrita era de 4.500 cGy e o paciente recebeu dose de 6.000 cGy.
- 8- O dosimetrista utilizou um fator de taxa de dose da tabela de uma outra máquina. Como consequência desta falha, um paciente sob tratamento em uma

¹ Gy (gray) é uma unidade no Sistema Internacional de medidas, que representa a quantidade de energia de radiação ionizante absorvida (ou dose) por unidade de massa, onde: $1 \text{ Gy} \equiv 1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \equiv 1 \text{ J kg}^{-1}$. (Tauhata et al, 2003)

unidade de cobaltoterapia recebeu 8.100 cGy, em vez da dose prescrita de 6.500 cGy.

- 9- O dosimetrista cometeu um erro ao calcular o tempo de exposição que seria utilizado para uma dose diária de 200 cGy por campo. O tratamento prescrito para o paciente foi de 200 cGy de dose diária para a linha média do cérebro, por intermédio de dois campos laterais paralelos e opostos. Dessa maneira, cada campo lateral deveria contribuir com 100 cGy/dia para esta dose diária prescrita. O paciente recebeu taxa de dose de 400 cGy/dia (200 cGy/dia por campo). O paciente desenvolveu eritema² durante o tratamento. Uma vez que esta reação foi mais severa do que o previsto, o médico reduziu a dose total por dia para 150 cGy a partir da 15ª aplicação. Um segundo dosimetrista calculou o novo tempo de irradiação, repetindo o erro original. A intensidade do eritema continuou a aumentar e, depois de nove aplicações com a dose diária reduzida, os cálculos foram verificados e o tratamento foi interrompido. O paciente tinha recebido 8.700 cGy, isto é, 45% a mais do que a dose prescrita.
- 10- O dosimetrista e o físico interpretaram erroneamente a prescrição médica e calcularam o tempo de máquina para uma dose de 200 cGy por campo de tratamento por fração, em vez de 100 cGy por campo de tratamento. Nesta falha, como consequência, um paciente em teleterapia para tratamento do cérebro, com dose prescrita de 4.000 cGy, recebeu dose de 6.400 cGy na área de tratamento. Embora houvesse procedimento de controle da qualidade para verificar os cálculos de tempo de exposição, este, aparentemente, falhou em detectar o erro a tempo.
- 11- Inicialmente, o médico prescreveu, verbalmente, dose de 600 cGy a ser dada em três frações. Ele, mais tarde, assinou uma prescrição de 300 cGy a ser dada em cinco frações. A confusão com as duas prescrições resultou em um plano de tratamento de 600 cGy em cinco frações.
- 12- Fontes de atividades erradas foram carregadas no aplicador. Neste caso, o paciente sob tratamento para câncer cervical recebeu doses 21% e 37% maiores que as prescritas para as duas áreas de tratamento.

² Vermelhidão da pele, devido à vasodilatação dos capilares cutâneos. Este tipo de lesão pode ser produzido por exposições localizadas e de altas doses. (Tauhata, et al, 2003)

1.4 – Relevância e Ineditismo

A radioterapia é muito dependente do desempenho humano. Um grande número de passos, tarefas e subtarefas devem ser realizados várias vezes em um dia de trabalho e são similares de um paciente para outro. Muitas pessoas trabalham em conjunto, contribuindo com uma pequena parte do processo. Profissionais de diversas disciplinas devem interagir e isto, segundo a IAEA (2000), pode aumentar a ocorrência de erros no decorrer do processo.

Mesmo o profissional bem treinado e bem qualificado comete erros, devido a fatores como falta de atenção ou falta de consciência, especialmente se as condições de trabalho não forem as ideais.

Em nenhum artigo sobre falhas humanas em procedimentos de radioterapia existe uma abordagem estatística que permita a quantificação dos riscos envolvidos. O que é encontrado, que será mais explicitado no item revisão bibliográfica, são considerações acerca de erro de enfermagem, falhas organizacionais, de uma forma qualitativa, sem o uso de ferramentas de análise de segurança. O estudo que utiliza uma técnica de APS para tratamentos de braquiterapia faz uso da técnica de árvore de falhas e de probabilidades condicionais sem, contudo, avaliar os riscos envolvidos no procedimento citado e sem analisar o contexto.

Com a modelagem proposta, é possível identificar dependências entre diferentes contextos de realização de uma mesma tarefa. A técnica que utiliza a modelagem bayesiana permite ainda atualizar dados na medida em que mais experiência é obtida bem como rastrear os fatores que mais influenciam os erros humanos cometidos. O TecDoc – 1494 (2006) apresenta uma série de desafios encontrados na aplicação de técnicas de APS em fontes de radiação, e com a metodologia apresentada é possível aplicar tais técnicas em instalações de radioterapia e quantificar os riscos de ocorrência de um acidente que cause uma superexposição proveniente de erros humanos. Os desafios apresentados no TecDoc – 1494 (2006) estão descritos nas referências bibliográficas.

Tendo em vista a existência de muitas instalações de radioterapia no Brasil, como pode ser observado na Tabela 1.1, um estudo que modele o processo de falha humana pode contribuir para quantificar os riscos destas instalações bem como minimizar acidentes e, conseqüentemente, vítimas.

Tabela 1.1 – Distribuição das instalações de radioterapia autorizadas e registradas na CNEN em Abril de 2011.

Estado	Quantidade	Estado	Quantidade
AC	1	PB	2
AL	1	PE	6
AM	3	PI	1
BA	6	PR	12
CE	4	RJ	20
DF	4	RN	1
ES	3	RO	1
GO	3	RS	17
MA	2	SC	8
MG	24	SE	1
MS	3	SP	59
MT	3	TO	1
PA	3	Total	189

Fonte: Adaptada de CNEN 2011.

1.5 – Método

O método abordado nesta pesquisa é baseado em técnicas estabelecidas que são explanadas no Capítulo 3, e no estudo de caso realizado através de pesquisa de campo no setor de radioterapia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/UFRJ.

O objetivo do estudo de casos é compreender o contexto do trabalho e identificar as restrições relacionadas às atividades desenvolvidas.

No estudo de casos, em um primeiro momento, serão descritos os protocolos dos tratamentos de braquiterapia e teleterapia, as pessoas envolvidas, os equipamentos utilizados e em seguida tais procedimentos serão analisados.

Em um segundo momento são verificados os possíveis cenários para falhas humanas que podem ocorrer neste procedimento. Com a técnica de redes bayesianas é possível incluir o contexto no qual a falha está inserida e avaliar os eventos dependentes, ou seja, os eventos que contribuem de maneira significativa para o caso analisado.

A próxima etapa é identificar os fatores que mais influenciam os erros (PSF), incluindo os fatores dependentes. Temos por exemplo, a influência da carga de trabalho no estresse do técnico. Também será analisado o quanto estes fatores influem na

probabilidade de falha, onde se entende por falha um acidente radioterapêutico em que o paciente recebe uma dose não prescrita.

Com os cenários identificados, pode-se modelar todo o procedimento, utilizando as técnicas estatísticas descritas no Capítulo 3.

Após a identificação de todos os fatores de interesse e a modelagem, o próximo passo é buscar a quantificação das probabilidades desejadas, a fim de calcular o impacto do fator humano em diferentes contextos. Para isso são utilizadas técnicas de educação³ de especialistas, também descritas no Capítulo 3.

³ Ato de deduzir ou eduzir (Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.11a)

Os tratamentos de saúde que utilizam materiais radioativos são prestados em ambientes complexos, onde muitas variáveis são atuantes, como o processo da doença que está sendo tratada, o equipamento utilizado no tratamento, as políticas organizacionais, os procedimentos a serem seguidos e a atuação humana neste contexto (TecDoc – 1494, 2006).

Na radioterapia o tratamento pode causar danos aos pacientes e para minimizar os erros existem vários protocolos, padrões, legislação e procedimentos a serem seguidos para garantir a segurança dos profissionais e doentes (TecDoc – 1494, 2006).

Leunes et al (1992) destacam os erros ocorridos devido à transferência de dados durante a preparação e aplicação de radioterapia. Um ponto destacado é o grande número de passos (prescrição do tratamento, preparação do tratamento, execução do tratamento) e o número de pessoas envolvidas na preparação da radioterapia que torna a transferência de informações entre os passos um ponto crítico. Tais erros podem resultar em desvios no tratamento. Os autores verificaram a quantidade de dados errôneos transferidos e o quanto tais dados errados influenciaram na verificação do tratamento. Não houve uma abordagem quantitativa das causas raízes das falhas, apenas um mapeamento de erros durante a transferência de informações.

Calandrino et al. (1997) acompanharam procedimentos de radioterapia por mais de 5 anos e verificaram três momentos importantes para erros sistemáticos – ocorridos durante o cálculo, o planejamento e a fase de transição. Eles estabeleceram o limite de 5% de desvio para considerar um erro sério. Também dividiram os erros em categorias e contabilizaram, durante o tempo de observação, as falhas ocorridas. Não existe, neste estudo, uma modelagem qualitativa ou quantitativa das falhas ocorridas.

IAEA (2000) aborda a prevenção da exposição acidental de doentes durante o tratamento de radioterapia, com respeito à complexidade do equipamento utilizado no tratamento; funções e responsabilidades dos profissionais envolvidos; formação e treinamento inadequado; comunicação organizacional; identificação ou informação inadequada do paciente; processos de tratamento, como calibração do feixe, administração do tratamento; controle de qualidade.

Thomadsen et al (2003) apresentam uma proposta de identificação de situações perigosas, durante o tratamento e da análise da natureza de erros cometidos. Este estudo

aplica técnicas de análise de riscos em falhas de má administração no procedimento de braquiterapia (incluindo tratamento de pacientes errados, tratamentos de locais errados, aplicação de doses diferentes por mais de 20% do tempo do tratamento e tratamento usando fonte com vazamento).

Neste artigo ainda é destacado que informações de falhas no setor médico são difíceis de obter. Entretanto, a U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) impõe, para tratamentos com materiais radioativos, algumas obrigações e restrições, estabelecidos em treinamentos e equipamentos.

Os autores utilizam a técnica de árvores de falhas. As probabilidades condicionais foram calculadas pela razão entre o número de falhas de um ramo da árvore (como por exemplo, falha no planejamento do tratamento) pelo número total de eventos para um dado tipo de tratamento. Entretanto, a técnica utilizada não permite a consideração do contexto, o rastreamento dos fatores que influenciam as falhas e nem a atualização do modelo.

De acordo com Inoue e Koizumi (2004), no estudo sobre a aplicação de análise de confiabilidade humana em erros de enfermagem em hospitais, os três fatores organizacionais que mais influenciam no erro médico são: violação de regras, falha de gerenciamento do trabalho e defeitos na padronização de práticas de enfermagem. Embora este estudo não esteja interessado em todas as práticas médicas, como por exemplo, injeção subcutânea de insulina ou preparação e assistência de endoscopia, mas somente naquelas envolvidas no tratamento com material nuclear, o estudo de Inoue e Koizumi (2004) aponta as necessidades de estudos mais profundos sobre o assunto.

Segundo Inoue e Koizumi (2004), uma grande parte dos erros que ocorrem em instalações hospitalares é devido a erros médicos. É destacado neste artigo que a ACH tem contribuído para o desenvolvimento de sistemas de segurança, mas que a ACH não é facilmente aplicável a instalações médicas, devido às características peculiares destas instalações. Por exemplo, não existe uma forma única de tratamento. É citado que práticas médicas são compostas de combinações de práticas versáteis, ou seja, cada profissional médico seleciona uma determinada prática entre um grande conjunto de opções que dependem do diagnóstico ou das condições dos pacientes. Sob esta luz, a aplicação das redes bayesianas é bastante interessante por permitir a modelagem do contexto no qual procedimentos médicos são desenvolvidos.

Inoue e Koizumi (2004) destacam ainda a carência de dados para quantificar análises de fatores organizacionais. Propõem um modelo EDIT (Error type, Direct

threat, and Indirect threat) que permite, segundo os autores, a caracterização de erros individuais a partir da avaliação do tipo de erro, de ameaças diretas (fatores de desempenho) e ameaças indiretas (fatores organizacionais), que são priorizadas no modelo. A modelagem matemática utilizada é extremamente simples. A probabilidade de erro é calculada pela razão entre o número de incidentes em um procedimento e o número de procedimentos deste tipo realizados. A fim de obter o número de erros recorre-se aos relatos de incidentes em determinados hospitais, objeto de estudo destes autores.

Yeung et al (2005) avaliaram erros e incidentes em radioterapia em um período de dez anos (1992-2002) a fim de registrar e classificar incidentes, avaliar o impacto destes incidentes nos pacientes, em termos das doses aplicadas e avaliar a eficácia de um programa de verificação para a garantia de qualidade. Os autores fazem um levantamento de erros para a classificação de incidentes em função da fonte de erro, por exemplo, erros ocorridos durante a calibração da fonte ou durante o planejamento do tratamento ou ainda, erros na ficha do paciente, seja por comunicação inadequada ou por generalização de dados. Não houve, neste trabalho, a preocupação de modelar todo o contexto de falha, apenas um levantamento de erros ocorridos, o que é bastante interessante, por apontar possíveis fontes de falhas. Os autores concluem que erros humanos ocorrem durante vários estágios do complexo processo de radioterapia e podem resultar em significativos erros na aplicação da dose nos pacientes.

Segundo o TecDoc – 1494 (2006), uma grande parte de acidentes que ocorrem na prática médica envolvendo fontes radioativas, tem a ação humana como um componente importante no cenário de acidentes. Este documento destaca alguns desafios metodológicos para a utilização de técnicas de análise de segurança em instalações com fontes de radiação. A seguir estão descritos os desafios destacados:

- A grande quantidade de cenários indesejados que podem estar associados com a segurança de fontes de radiação nos campos como radioterapia e aplicação industrial. Estes incluem exposição de operadores de instalações industriais e pacientes à radiação, exposição ocupacional e exposições por acidentes médicos. Em contraste, a aplicação da APS em usinas nucleares foca em vários cenários de acidentes, mas limita o número de resultados indesejados (como danos ao núcleo do reator), e são estimadas as consequências dos cenários de acidentes para o público e meio ambiente.

🌈 O papel central de ações humanas em processos complexos. Em aplicações médicas, por exemplo, o tratamento de pacientes é um processo complexo que envolve um grande número de ações humanas de diferentes áreas de conhecimento, como mostra a Figura 2.1.

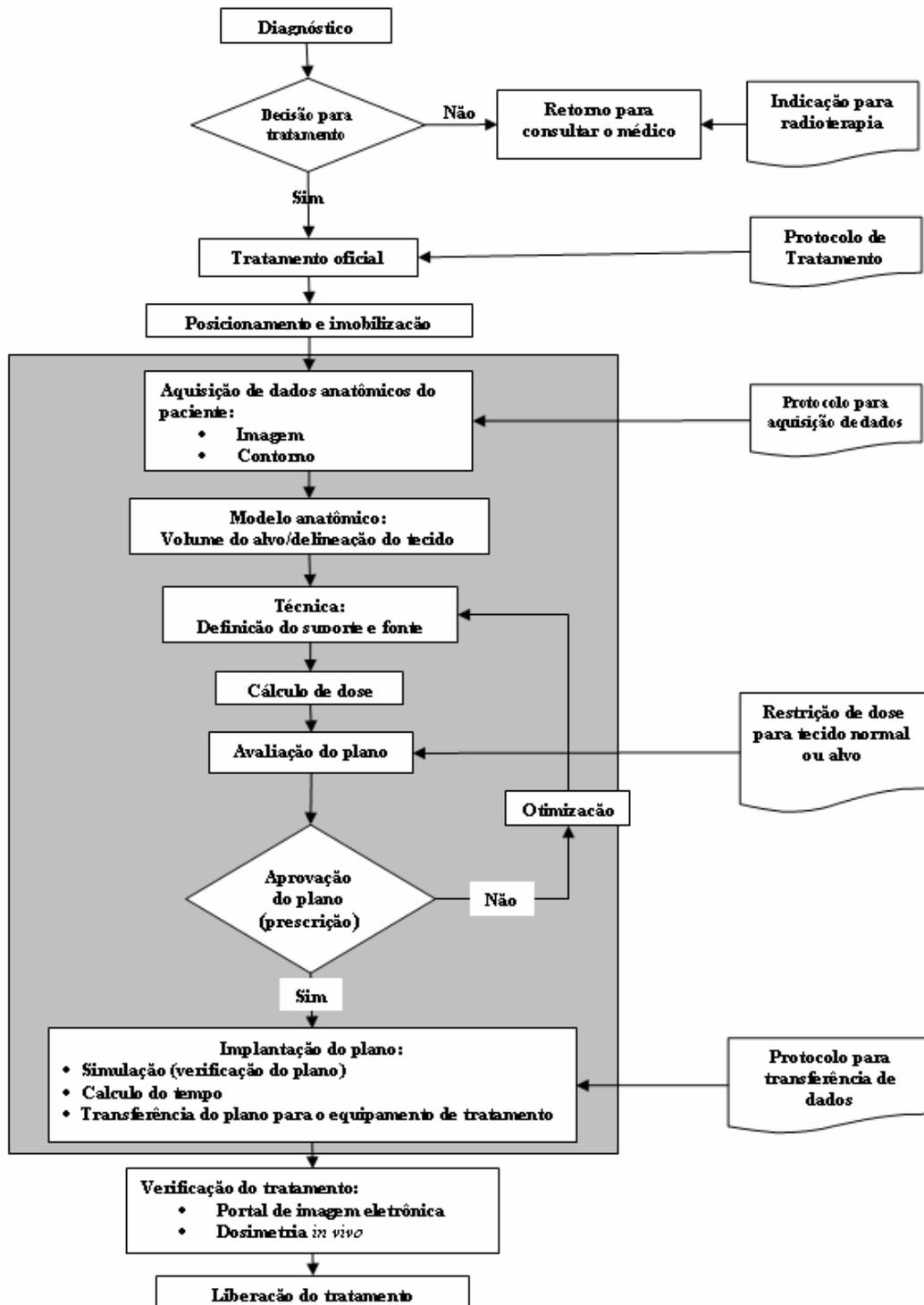


Figura 2.1 – Passos do planejamento do processo de radioterapia.
Fonte: TECDOC – 1494 (2006)

- Confiança na inspeção humana e medidas administrativas. Segundo o relatório, em virtude do baixo grau de automação, inspeções confiáveis e uso de medidas administrativas podem aumentar a segurança do processo.
- Grande variedade de eventos iniciadores de acidentes. De acordo com o relatório, apesar de a técnica de defesa em profundidade⁴ ser implantada para ações críticas, existe um grande número de eventos que podem ser causas raízes de acidentes. Isso porque ações humanas críticas podem ser encobertas se a verificação do procedimento for feita pela própria pessoa.

Este relatório apresenta alguns estudos de erros em radioterapia, como em braquiterapia e teleterapia com cobalto. Em alguns casos é utilizada a FMEA (Stamatis, 1995) para identificar os cenários de falhas. São utilizadas árvores de falhas para as análises. As probabilidades são calculadas com base na quantidade de casos falhos e na quantidade de procedimentos realizados. Entretanto, o relatório considera como ação humana importante apenas a conferência do procedimento e da calibração da fonte radioativa. A proposta aqui apresentada reconhece como importantes todos os fatores que compõem o cenário de tratamento com fontes radioativas.

Thomadsen e Lin (2008) sugerem uma taxonomia, ou seja, uma orientação sistemática, que contém a identificação de possíveis eventos iniciadores, a saber, ações falhas realizadas quando não deveriam ser realizadas; ações não realizadas; ações erradas realizadas; e ações mal executadas. Este estudo visa a categorização dos agentes contribuintes para a falha – equipamento (hardware e software) e erro humano a fim de desenvolver programas de garantia de qualidade. Esta análise é puramente qualitativa, sem nenhum tipo de quantificação de falhas.

Ramírez et al (2010) fizeram um estudo de relatórios e conclusões de incidentes e acidentes ocorridos em áreas de diagnóstico em instituições de países desenvolvidos como EUA, Reino Unido, Alemanha e outros. Concluíram que existe uma grande preocupação sobre a questão da segurança dos pacientes e dos trabalhadores nas áreas de diagnóstico, mas que a questão principal, segundo eles, são os erros que em sua

⁴ Esta técnica consiste no estabelecimento de múltiplas barreiras de proteção. Essa integridade é sustentada por uma abordagem em três níveis: prevenção (visa evitar ocorrências), proteção (visa parar ou contornar incidentes de baixa frequência) e mitigação (visa limitar as conseqüências de acidentes, caso ocorram). (INSAG-10, 1996)

grande maioria, ou possivelmente todos, foram erros humanos. De acordo com este estudo uma boa percentagem de médicos, técnicos e profissionais de enfermagem, altamente especializados nas áreas de intervenção ou de apoio, mostrou desconhecimento da tecnologia que estavam usando e todos mostraram uma percepção muito baixa dos riscos inerentes ao trabalho. Destacaram ainda a ênfase dada à física e à química sem levar em conta o fator humano (médicos, enfermeiros, técnicos).

A revisão bibliográfica acima reúne um conjunto de estudos aplicados à análise de falhas humanas que visam avaliar os procedimentos de radioterapia de maneira qualitativa, mostrando que existe espaço para proposição de metodologias para a avaliação quantitativa de tais procedimentos, de forma a complementar os estudos realizados.

Assim, a abordagem proposta nesta tese de doutorado, busca de forma realista, a utilização da experiência adquirida por profissionais da área para a quantificação da análise dos procedimentos de radioterapia.

A braquiterapia consiste na radioterapia mediante uma ou mais fontes seladas emissoras de raios gama ou beta utilizadas para aplicações superficiais, intracavitárias ou intersticiais (CNEN 1990), ou seja, isótopos radioativos são inseridos dentro do corpo do paciente, diretamente em contato com o tecido tumoral, onde será liberada a radiação ionizante. Materiais radioativos, sementes, são colocadas junto ao tumor liberando doses de radiação diretamente sobre ele, afetando minimamente os órgãos mais próximos e preservando os mais distantes da área do implante. São utilizadas, neste tratamento, fontes de Co^{60} , Ra^{226} , Cs^{137} , Ir^{192} , I^{125} e Sr^{90} . Esta técnica tem sido muito utilizada no Brasil em tumores ginecológicos e em pacientes com câncer de próstata.

A teleterapia é uma modalidade de radioterapia cuja fonte de radiação é externa ao paciente. Os equipamentos utilizados em teleterapia com raios-X são os aceleradores lineares (AL), máquinas de raios-X e os equipamentos com fontes radioativas (geralmente Co^{60}).

Instalações que trabalham com materiais perigosos, como instalações nucleares, possuem sistemas de gestão de riscos que objetivam impedir ou minimizar a ocorrência ou a evolução de acidentes. Tais sistemas são baseados em barreiras físicas ou barreiras de proteção (fundamentalmente equipamentos e sistemas, como por exemplo, coletes) além de aspectos humanos, como a utilização de procedimentos e treinamento de profissionais especializados.

A Análise de Confiabilidade Humana tem sido um importante elemento na análise do risco que sistemas complexos impõem aos operadores e ao público em geral. Esta ferramenta é utilizada frequentemente em usinas nucleares. Entretanto esta cultura ainda não é difundida em outras instalações que utilizam radioisótopos, como por exemplo, instalações industriais e de radioterapia.

3.1 – Inferência bayesiana

Este item vem explicitar a motivação de se utilizar a abordagem bayesiana no estudo da confiabilidade humana de procedimentos de radioterapia.

Como em muitos outros contextos, no campo da radioterapia não existe um banco de dados com respeito a falhas ocorridas que envolvam o público em geral. Acidentes acontecem e em uma grande parte deles a causa raiz é o aspecto humano (Souza et al, 2001, Thomadsen et al, 2003, Yeung et al, 2005, TecDoc – 1494, 2006 e Thomadsen et al, 2008,). A abordagem bayesiana é extensamente usada no tratamento de dados escassos.

O Teorema de Bayes é capaz de combinar informações importantes a fim de se obter curvas de distribuição de probabilidades de falhas atualizáveis. Segundo Migon e Gamerman (1999) há três tipos de informações usadas na aplicação do Teorema de Bayes:

- a) Conhecimento da engenharia geral do projeto e do fabricante do equipamento, e a opinião de peritos concernente ao comportamento operacional da planta;
- b) O desempenho histórico em outras plantas semelhantes à em questão;
- c) A experiência passada da planta estudada.

Informações dos tipos *a* e *b* juntas constituem as informações genéricas e a do tipo *c* a informação específica da planta.

No que diz respeito ao estudo aqui desenvolvido, as informações *a priori* e *a posteriori* usadas serão obtidas a partir da opinião de peritos ou especialistas.

Em sua forma geral o Teorema de Bayes é dado por:

$$P(A|E) = \frac{P(E|A)P(A)}{P(E)} \quad (3.1)$$

onde

- ◆ $P(A|E)$ é probabilidade de ocorrência de um evento *A* dado um evento *E* (distribuição posterior),
- ◆ $P(A)$ é a probabilidade antes de ocorrer um evento *E*, a distribuição *a priori* do evento *A*,

- ◆ $\frac{P(E|A)}{P(E)}$ é a função verossimilhança relativa do evento E.

De acordo com o princípio da verossimilhança é preciso escolher o valor do parâmetro desconhecido que maximize a probabilidade de obter o valor que torna a amostra considerada a “mais provável” (Morettin e Bussab, 2003).

Tendo em vista a complexidade envolvida na inferência bayesiana quando se trata de sistemas com mais de duas variáveis, as redes bayesianas são recomendadas (Jensen, 1996).

3.2 – Conceitos básicos sobre teoria dos grafos

Redes bayesianas são grafos acíclicos direcionados que representam dependências entre variáveis, assim é importante destacar a teoria dos grafos.

Um grafo é um conjunto de pontos, chamados vértices, nodos ou ainda nós, conectados por linhas, chamadas de arestas ou arcos (West, 2001).

Os grafos são geralmente representados graficamente por um círculo, para cada vértice, e com um arco conectado às extremidades do círculo, para cada aresta (Diestel, 2005).

As estruturas associadas aos grafos podem ser definidas por associações de conjuntos de dois tipos (Netto, 1979):

- ▶ $X = \{x_i | i = 1, \dots, n\}$ cujos elementos são os vértices, nodos ou nós;
- ▶ $\varepsilon = \{E_j | j \in A\} A \subset B$, cujos elementos são as arestas ou arcos.

onde:

- n é o enésimo elemento
- A e B são conjuntos

O significado dos elementos depende do problema estudado. No caso do presente estudo, os elementos são ações humanas que serão interligadas a partir de suas dependências.

Os grafos podem ser não orientados e direcionados (orientados ou dígrafos). Em um grafo não orientado as arestas são representadas por linhas unindo os pares de vértices. Se o grafo for direcionado, o seu sentido é indicado na aresta por uma seta, cujo sentido corresponde à orientação do par ordenado (Netto, 1979).

Se uma aresta conecta dois vértices; esses dois vértices são ditos incidentes à aresta. Dois vértices são considerados adjacentes se uma aresta existe entre eles. Um grafo chama-se acíclico se não contém ciclos. Um ciclo (ou circuito) é um caminho que começa e acaba com o mesmo vértice (West, 2001).

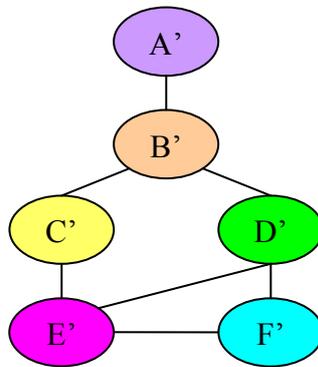


Figura 3.1 – Exemplo de Grafo

O grafo de exemplo exibido na Fig. 3.1 é um grafo simples com o conjunto de vértices $V = \{A', B', C', D', E', F'\}$ e um conjunto de arestas $E = \{\{F', E'\}, \{F', D'\}, \{E', C'\}, \{E', D'\}, \{C', B'\}, \{B', D'\}, \{B', A'\}\}$.

No grafo da Figura 3.1, os vértices E' e F' são adjacentes, mas os vértices E' e B' não são. O conjunto de vizinhos de um vértice consiste de todos os vértices adjacentes a ele. No grafo exemplo, o vértice F' possui dois vizinhos: vértice E' e vértice D' .

No grafo de exemplo $(F', E', C', B', D', E', F')$ é um ciclo não direcionado.

3.3 – Redes bayesianas

Jensen (2001) e Pearl (1988) apresentam uma série de vantagens para a utilização da rede bayesianas (RB). Através de uma RB é possível modelar relações de causalidade existentes nas ações humanas, representar e quantificar conhecimentos acumulados nas ciências comportamentais.

É possível representar, de maneira realista, interações entre indivíduos e entre o homem e sistemas complexos, considerando as dependências existentes entre os eventos e os fatores delimitadores de desempenho.

Esta abordagem pode ser aplicada em diversos contextos e permite atualizações no sistema, além de ser sensível à variabilidade do comportamento humano.

Outra vantagem deste modelo é a arquitetura que facilita a adição de novos objetos bem como a visualização da dependência entre eles.

Uma limitação das redes bayesianas é a quantidade de probabilidades condicionais necessárias para alimentá-la.

Redes bayesianas (RB) são grafos acíclicos direcionados que, de um modo probabilístico, representam dependências entre variáveis.

Os nós da rede representam variáveis aleatórias (discretas ou contínuas) e os arcos direcionados ilustram as relações de dependência entre as variáveis (Pearl, 1988). A relação entre causa e consequência é expressa por probabilidades condicionais.

As redes bayesianas modelam determinados contextos da realidade com base nas relações de dependência entre as variáveis que compõem o modelo. São úteis para a agregação de opiniões de especialistas.

A complexidade da rede bayesiana dependerá do nível de informações que podem ser obtidas e da importância que o analista confere a tais informações. Pode ser muito dispendioso ou impossível obter as probabilidades associadas com determinadas informações constituintes da rede.

Por exemplo, um arco direcionado de um nó X para um nó A significa que o nó X representa uma causa de A e adota-se como nomenclatura que X é um pai de A. O nó é chamado de nó raiz se não possuir pais.

Cada nó tem associada uma tabela de probabilidades condicionais (TPC) que quantifica os efeitos que os pais exercem sobre um nó, ou seja, a probabilidade do nó estar em um estado específico dado os estados dos seus pais.

É importante observar que, segundo Jensen (2001), é preciso obedecer à condição de Markov, de que não existe uma relação de dependência direta entre quaisquer dois nós a não ser que exista um arco entre eles.

Basicamente, as dependências entre as variáveis aleatórias do domínio são declaradas explicitamente na rede e a distribuição conjunta de probabilidade pode ser obtida desta dependência.

Para cada variável A que possui como pais X_1, \dots, X_i , existe uma tabela de probabilidades condicionais $P(A | X_1, \dots, X_i)$.

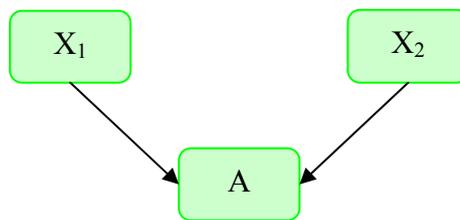


Figura 3.2 – Exemplo de RB

Considerando o diagrama da Fig. 3.2 temos uma rede bayesiana que relaciona as variáveis aleatórias A , X_1 e X_2 . As variáveis X_1 e X_2 não têm pais, então as TPC se reduzem às probabilidades incondicionais $P(X_1)$ e $P(X_2)$ que devem ser especificadas. As variáveis X_1 e X_2 são causas diretas de influência sobre a variável A , assim, é dito que X_1 e X_2 são pais de A . A intensidade do relacionamento entre A , X_1 e X_2 é expressa pela Tabela 3.1.

Uma vez definida a topologia da rede, o próximo passo é especificar as probabilidades dos nós. Isto é feito pela atribuição da distribuição de probabilidades para cada nó, construindo uma tabela de probabilidades condicionais.

A distribuição de probabilidade correspondente a uma rede bayesiana é obtida por meio das probabilidades condicionais (Jensen, 2001).

$$P(U) = P(A_1, \dots, A_n) = \prod_i^n P(A_i | \text{pais}(A_i)) \quad (3.2)$$

onde:

- $P(U)$: probabilidade conjunta para a rede;
- $P(A_i | pais(A_i))$: probabilidades condicionais de A em relação aos seus pais, para $1 \leq i \leq n$.

O tamanho das TPC depende da quantidade de pais que cada variável possui e do número de estados que ela pode assumir. Em um nó A com k estados, o número de probabilidades a serem especificadas é:

$$N^{\circ} \text{ de elementos da tabela} = k \prod_i^n n(pais_i(A)) \quad (3.3)$$

onde:

- $pais_i(A)$: pais da variável A
- $n(pais_i(A))$: número de estados de pais(A);
- k : número de estados do nó A;

Relacionando as variáveis causadoras X_1 e X_2 (na Figura 3.2) com fatores delimitadores de desempenho humano (PSF) como carga de trabalho excessiva e distração, pode-se afirmar que tais variáveis possuem dois estados, que podem ser: {presente, ausente}. Já a variável consequência A poderia possuir três estados: {baixo, médio, alto}. Pela Equação 3.3 tem-se que a TPC relacionada à variável A possui 12 elementos.

Tabela 3.1 – Tabela de Probabilidades Condicionais relacionadas à variável A

		A		
		Baixo	Médio	Alto
X1	X2			
0	0	?	?	?
0	1	?	?	?
1	0	?	?	?
1	1	?	?	?

A partir das TPC de A, X_1 e X_2 , obtém-se a probabilidade $P(X_1, X_2, A)$. Portanto, conforme a Eq. 3.2, temos:

$$P(X_1, X_2, A) = P(X_1) \times P(X_2) \times P(A|X_1, X_2) \quad (3.4)$$

Tendo em vista que este trabalho tem como foco as ações humanas em procedimentos de radioterapia, o próximo tópico aborda aspectos sobre confiabilidade humana.

3.4 – Opinião de especialistas e o Teorema de Bayes

A fim de melhor considerar a variabilidade humana considera-se a probabilidade subjetiva a partir de estimativas de opiniões de especialistas.

Cada especialista, baseado em informações anteriores e em sua opinião a respeito do evento em questão, pode inferir uma resposta para a probabilidade deste evento. A inferência bayesiana aplica-se bem, pois considera que todas as probabilidades são subjetivas. O Teorema de Bayes é fundamental neste tipo de inferência, pois é um mecanismo de atualização de opiniões, ou seja, o especialista adquire uma experiência B e passa a ter uma opinião nova, diferente da que tinha antes da experiência B , cuja probabilidade associada é $P(A|B)$ (Apostolakis, 1985).

Estimativas de distribuições de probabilidades de erros humanos em avaliações de risco têm sido obtidas a partir de julgamento de especialistas (Apostolakis, 1986). Esse julgamento é frequentemente o resultado de uma análise minuciosa dos fatores que influenciam o desempenho humano, bem como da avaliação de evidências de campo e de laboratório.

Uma análise qualitativa do objeto de estudo resulta em uma lista de possíveis erros humanos. O problema passa a ser, então, a quantificação, ou seja, a atribuição de probabilidades a tais possíveis erros humanos. O processo de quantificação começa, segundo Apostolakis (1986), com a identificação dos principais Fatores Delimitados de Desempenho Humano (Performance Shaping Factors – PSF) no contexto estudado.

Segundo Swain & Guttman (1983), Apostolakis (1986), e Martino (1993) as probabilidades que os especialistas produzem, a partir de conhecimentos prévios, assumem características de distribuições lognormais. E ainda, segundo Apostolakis

(1980, 1986) e Mosleh (1992), tratando-se de distribuições lognormais, estimativas intuitivas da moda (valor da observação que ocorre com mais frequência) ou da mediana (medida de tendência central) das distribuições são bastante precisas, enquanto que estimativas da média são parcialmente tendenciosas para a mediana. A mediana é uma medida mais representativa da tendência central da distribuição e é destacada como “melhor” estimativa, além de conservadora (Apostolakis, 1980).

Swain & Guttman (1983) também consideram o valor da mediana da distribuição lognormal como o mais recomendado para a utilização a fim de se obter melhores estimativas.

Também é destacado (Apostolakis, 1986 e Mosleh, 1992) um fator de erro (FE) da distribuição produzida. Este fator é obtido a partir da razão entre o maior valor da estimativa (percentil⁵ 95%) e o menor valor (percentil 5%) de uma distribuição lognormal:

$$FE = \left(\frac{x_{95\%}}{x_{5\%}} \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

Mosleh & Apostolakis (1986) tratam a opinião de especialistas como evidências que modificam nosso estado de conhecimento seguindo o Teorema de Bayes. Consideram também tais estimativas como variáveis X^* compostas por dois fatores:

$$X^* = x.FE \quad (3.6)$$

onde x é o valor verdadeiro e FE o fator de erro.

Apostolakis (1980) destaca uma técnica para o agrupamento de várias opiniões, utilizando média geométrica e esta técnica é utilizada neste trabalho como segue:

$$X_{AC} = \left[\prod_{i=1}^n X_i^* \right]^{1/n} \quad (3.7)$$

⁵ Um percentil é uma medida da posição relativa de uma unidade observada em relação a todas as outras. O k -ésimo percentil P_k é o valor x (x_k) que corresponde a frequência cumulativa de $N k/100$, onde N é o tamanho amostral. Portanto, 50º percentil é a mediana. Bussab (2003).

onde X_{AC} é o valor agrupado das probabilidades que os especialistas forneceram, n é o número de especialistas e X_i^* é o valor ponderado da probabilidade fornecida pelo i -ésimo especialista.

A Eq. 3.7 considera que todos os especialistas são igualmente competentes, que não existe qualquer parcialidade sistemática ou dependência entre eles e que todas essas hipóteses são válidas independentemente das respostas estimadas.

3.5 – Obtenção dos dados

O estudo das ações humanas no procedimento de radioterapia envolve a consideração de parâmetros cujos valores são desconhecidos. A observação de opiniões de especialistas se faz necessária para suplementar a análise. O processo de obtenção de dados a partir de opiniões de especialistas é chamado de elicitación.

O tipo de informação elicitada do perito depende do modelo a ser utilizado na modelagem do processo. No presente trabalho, as questões são binárias, do tipo: existe/inexiste; certo/errado, bom/ruim, adequado/inadequado, presente/ausente. Questões com um grau de complexidade maior foram simplificadas, tendo em vista a complexidade da tabela de probabilidades condicionais (TPC) bem como o tempo despendido no preenchimento do questionário.

Um aspecto importante do processo é familiarizar o perito com os objetivos do processo de elicitación e com as questões envolvidas. Somente depois de o perito entender o modelo que será utilizado no trabalho, ele poderá se posicionar de forma a contribuir com a análise.

Apostolakis et al (1992) destacam a metodologia Delphi (Turoff e Listone, 1975) como um método de elicitación conhecido. Um importante aspecto da Delphi é o *feedback* proporcionado aos especialistas envolvidos na análise. Entretanto, esta característica é indesejada nos casos onde a independência das informações deva ser preservada. Observando que um dos pressupostos para a utilização do modelo anteriormente descrito é a inexistência de dependência entre os especialistas, a metodologia Delphi não se aplica a este estudo.

3.5.1 – Procedimentos para a elicitação de especialistas

O processo de elicitação de opiniões deve ser sistemático para todas as questões.

O NUREG – 1150 (1989) destaca onze passos como principais para a obtenção de dados confiáveis. São:

1. Seleção das questões;
2. Seleção de especialistas;
3. Treinamento no método de elicitação;
4. Preparação das questões;
5. Apresentação da evidencia técnica;
6. Apresentação e revisão das questões;
7. Elaboração das análises dos especialistas;
8. Revisão e discussão com especialistas;
9. Elicitação dos especialistas;
10. Composição e agregação de decisões;
11. Revisão pelos especialistas.

O NUREG – 6372 (1997) destaca sete passos sistemáticos para a obtenção de dados a partir de especialistas. As etapas são:

1. Identificação e seleção de questões técnicas;
2. Identificação e seleção de especialistas;
3. Discussão e refinamento das questões;
4. Treinamento para elicitação;
5. Grupo de interação e levantamento individual;
6. Análise, agregação e resolução de pendências;
7. Documentação.

Por fim, Ayyub (2001) destaca cinco etapas para o processo de elicitação. As etapas são:

1. Treinamento dos especialistas;
2. Levantamento das opiniões;
3. Agregação e apresentação dos resultados;
4. Grupo de interação, discussão e revisão por especialistas;
5. Documentação.

Esta diferença de quantidades características das etapas de elicitación ocorre devido ao objeto de estudo de cada referência, das peculiaridades encontradas e do método de quantificação utilizado nas análises. Assim, neste trabalho foi criada uma abordagem, adaptada das fontes já citadas, para o estudo realizado.

Os oito passos seguidos neste trabalho estão ilustrados na Figura 3.3 e serão analisados individualmente a seguir.

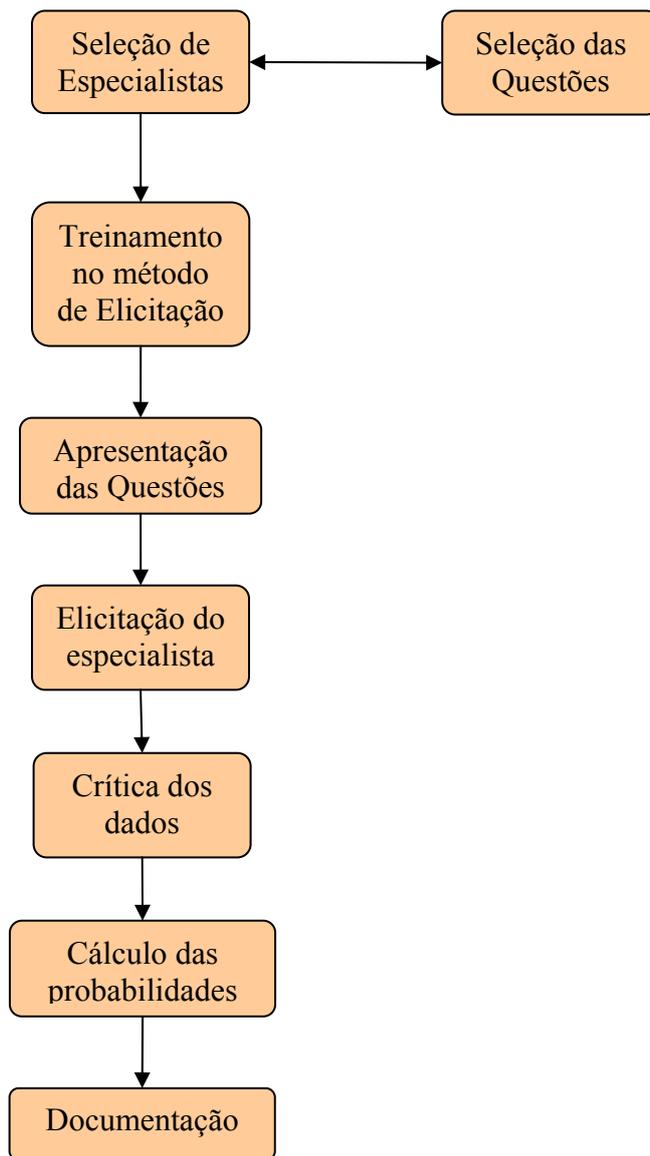


Figura 3.3 – Principais passos no processo de elicitación

3.5.1.1 – Seleção de Especialistas

A seleção dos especialistas a serem consultados é um tema importante. Um especialista é uma autoridade em conhecimento acerca de um tema. Apostolakis et al (1992) destacam a importância de o especialista saber agregar suas crenças em forma de distribuições de probabilidade.

Os peritos devem ser escolhidos de acordo com a área de conhecimento que será avaliada no estudo, pois uma diversidade de opiniões cria muitas incertezas. Devem ser escolhidos de modo que especializações mais relevantes, mais facilidades de execução e maior equilíbrio sejam alcançados. É importante que não existam conflitos de interesse como, por exemplo, ganho ou perda com um determinado resultado, a fim de minimizar a motivação de parcialidade.

No estudo do NUREG – 1150 (1989) foram reunidos sete grupos de especialistas para considerar as principais questões dos eventos mais importantes, cada grupo sendo composto por três a dez especialistas. Já o NUREG – 6372 (1997) e Ayyub (2001) destacam que o tamanho do grupo de especialistas deve ser determinado baseado no caso estudado. Entretanto, o grupo deve ser de tal tamanho que atinja uma diversidade de opinião, credibilidade e confiabilidade de resultado.

É consenso, porém, a existência de requisitos para a escolha de tais especialistas. Estes devem ser escolhidos com base em critérios que ratifiquem o reconhecimento do mérito de especialização dos peritos. São eles, de acordo com o NUREG – 1150 (1989):

1. Os peritos devem ter demonstrado por publicações, experiências em consultoria ou gerenciamento de pesquisas em áreas relacionadas com as questões analisadas;
2. Cada perito deve ser versátil, capaz de resolver várias questões, além de ter conhecimento a respeito do modo como as questões consideradas são, ou serão, utilizadas;
3. Devem representar uma larga variedade de experiências obtidas, por exemplo, em universidades, laboratórios, firmas, agências do governo, dentre outros locais;
4. Devem representar uma perspectiva tão ampla quanto possível das questões avaliadas;

5. Devem estar dispostos a ser elicitados de acordo com a metodologia a ser utilizada.

Neste trabalho, foram entrevistados três grupos de especialistas: médicos radioterapeutas, físicos médicos e técnicos em radiologia especializados em radioterapia, todos funcionários do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/UFRJ. Entretanto, não são funcionários somente desta instituição, mas de outras como o INCA, o Centro Universitário de Controle do Câncer/UERJ e o Instituto Oncológico S/A.

O fator preponderante para a seleção do especialista foi o tempo de trabalho com radioterapia. Os profissionais elicitados tem, em média, 11 anos de experiência.

3.5.1.2 – Seleção das Questões

Os estudos já citados que envolvem opiniões de especialistas destacam que as questões para elicitación devem ser discutidas e formuladas em uma reunião com todos os especialistas envolvidos no estudo. Entretanto, por se tratar de um trabalho acadêmico independente, a reunião de todos os especialistas em uma única reunião para a discussão exaustiva das questões foi inviável. Assim uma lista inicial de questões foi escolhida a partir das observações de procedimentos de tele e braquiterapia, de pequenas reuniões com especialistas e de revisões de artigos que tratam de falhas humanas em procedimentos de radioterapia.

As perguntas foram simplificadas a fim de reduzir a complexidade das questões e, assim, obter maior confiança nas respostas.

3.5.1.2.1 – Preparação do questionário

O questionário é a ferramenta básica utilizada para a coleta dos dados desta pesquisa.

Um questionário poderia ser simplesmente uma lista de tópicos ou um conjunto estruturado de perguntas com categorias de respostas pré-codificadas.

Antes de planejar um questionário, o SCB (2004) destaca que alguns aspectos devem ser considerados, pois o próprio questionário tem um impacto importante sobre a qualidade dos dados e sobre a imagem de organização da pesquisa.

Um questionário bem planejado deve coletar dados eficientemente com um número mínimo de erros, deve facilitar a entrada dos dados e a codificação dos mesmos, bem como reduzir a quantidade de crítica.

Ao planejar o questionário é importante observar, além do objetivo, a forma dos dados. As questões devem se relacionar às necessidades de informação.

As questões devem ser relevantes para o objetivo da pesquisa, claras, específicas e ainda é importante que estejam em uma seqüência lógica, de modo que sejam facilmente entendidas e respondidas precisamente.

Para o desenvolvimento do questionário é conveniente consultar os especialistas da área temática ou formar grupos para discussão informal a fim de obter conselhos e diretrizes. Isso ajuda a identificar os pontos importantes e na tomada de decisão do conteúdo do questionário.

O SCB (2004) coloca que o processo de respostas envolve quatro aspectos:

- Compreensão;
- Memória;
- Ideias e juízos;
- Comunicação da resposta.

Ou seja, o especialista deve entender bem a questão, depois pesquisar a memória para recuperar a informação solicitada, então ponderar sobre qual é a resposta correta e quanto está disposto a revelar. Somente depois deste processo é que deve comunicar a resposta. O SCB (2004) destaca que se o informante precisa consultar outro indivíduo deve ser inserido um fator de complexidade. Tendo em vista que o modelo de Bayes utilizado considera que os especialistas são independentes, este fator de complexidade não será introduzido na análise.

Outro fator importante destacado por este órgão especialista em questionário (SCB, 2004) é o uso de técnicas cognitivas no teste do questionário. É colocado que testes qualitativos são usados para conferir se os informantes compreenderão corretamente o significado das questões, desse modo pode-se avaliar a validade das questões bem como as fontes de erro potenciais. Este método inclui:

- * Observação do informante: Observação de cada um dos grupos de informantes enquanto preenchem o questionário, a fim de obter

informações sobre o comportamento deles durante o preenchimento. O observador anota a reação do informante, a seqüência na qual as perguntas são respondidas, o tempo gasto, as correções ou mudanças feitas para a obtenção das respostas.

- * Entrevista em voz alta: O informante é solicitado a pensar em voz alta enquanto responde, comentando e explicando como a resposta foi escolhida. O entrevistador pode esclarecer o processo através do qual a resposta foi escolhida.
- * Paráfrases: É solicitado ao informante que repita as questões nas próprias palavras para verificar o real entendimento da questão.
- * Avaliação da confiabilidade: Informação obtida diretamente do informante que apresenta o grau de confiança que tem na exatidão da resposta que forneceu. É um indicativo do grau de dificuldade que o informante teve na formulação da resposta e se esta foi deduzida ou escolhida ao acaso.

O SCB (2004) destaca também que é essencial realizar um pré-teste do questionário com a finalidade de descobrir falhas e determinar os problemas devido à falha de compreensão.

3.5.1.2.2 – Planejamento do questionário

A formulação das perguntas e a ordem lógica de apresentação das mesmas são fatores importantes no planejamento do questionário.

O SCB (2004) separa os tipos de perguntas de um questionário em classe ou tipos e destaca que a classificação mais básica é através do grau de liberdade permitido às respostas, sendo as perguntas abertas e fechadas. As perguntas fechadas restringem o informante a escolher uma das opções elencadas. Tendo em vista que o objetivo do questionário usado nesta pesquisa é obter as probabilidades condicionais em um intervalo de variáveis contínuas de 0 a 100% o tipo fechado não é utilizado.

Sendo assim, é adequado o uso do tipo aberto, que permite ao informante interpretar e responder da maneira que quiser tendo, neste trabalho, somente o padrão de percentil como limitador. É o tipo adequado para a obtenção de dados numéricos, segundo o SCB (2004). Entretanto, o SCB (2004) apresenta algumas dificuldades

relacionadas às questões abertas. As que aparecem em trabalhos como o aqui apresentado são:

a) Para o informante:

- A elaboração da resposta exige um processo cognitivo maior;
- Tempo de entrevista;
- O questionário pode se tornar cansativo.

b) Para o pesquisador:

- A entrada dos dados fornecidos pelo informante. Dificuldade relacionada à grafia do informante.
- Análise da coerência da resposta.

O SCB (2004) considera ainda aspectos acerca da redação do questionário. Esta deve ser simples, direta e familiar ao informante. Abreviações e jargões devem ser evitados e a terminologia não deve ser excessivamente complexa. As perguntas precisam ser claras, específicas e bem redigidas. É importante verificar se as perguntas não são tendenciosas, ou seja, se não predispõe o informante a responder de uma determinada maneira.

O SCB (2004) também faz algumas considerações sobre a seqüência e o planejamento do questionário. As mais pertinentes à pesquisa aqui apresentada são:

- ❖ Identificar o questionário por um código;
- ❖ Garantir o sigilo das informações;
- ❖ Reservar um campo para observações;
- ❖ Introduzir as questões delicadas, de caráter privativo ou relativas a um comportamento ilegal, do meio para o fim do questionário, quando, provavelmente, a confiança do entrevistado já tenha sido conquistada. Tais questões são melhor absorvidas quando apresentadas junto com outras relativas ao mesmo tema, as quais podem servir de introdução;
- ❖ Seguir uma seqüência lógica do ponto de vista do informante; e
- ❖ Agrupar questões de conteúdo similar.

No Capítulo 4 encontram-se os questionários utilizados para a obtenção dos dados mediante os especialistas.

3.5.1.3 – Treinamento no método de elicitación

Os profissionais especialistas são pessoas de diferentes formações na área de saúde, nenhum possui formação em análise de decisão, confiabilidade humana ou estão familiarizados com a linguagem da probabilidade, portanto houve a necessidade de explicações quanto aos aspectos, métodos de análise e estimativas de probabilidades, ou seja, um breve treinamento. O objetivo é fazer com que os especialistas transformem seus conhecimentos e julgamentos em distribuições de probabilidade, pois precisam fornecer respostas em um formato aceitável para ser utilizado na análise. Assim, é de extrema importância que a abordagem matemática utilizada seja clara e lógica.

Quando se trata de educação de conhecimento de especialistas o NUREG – 6372 (1997) apresenta algumas desvantagens ou problemas com os quais é preciso ter atenção para que a avaliação seja coerente e tenha vieses minimizados. Alguns deles são:

- ✓ Agregação de todos os fatores importantes no modelo matemático considerado;
- ✓ Inexistência de um único modelo matemático que abranja todos os possíveis casos.

Nesta fase a evidência técnica é apresentada ao especialista para promover uma análise mais coesa das questões.

Outro ponto importante é evitar vieses na análise, como por exemplo, excesso de confiança por parte do perito, possibilitando o fornecimento de estimativas de probabilidade consistentes. Ayyub (2001) salienta a necessidade de, nesta etapa, realizar uma pesquisa de qualquer viés motivacional dos peritos, como o desejo de influenciar decisões.

3.5.1.3.1 – Controle de vieses não intencionais

Um fator de extrema importância associado à utilização de opinião de especialista é a ocorrência de viés não intencional. Forester et al (2004) destacam a importância de fortes controles para evitar que vieses venham a distorcer os resultados. Destacam também a dificuldade natural do ser humano em estimar probabilidades a partir de conhecimentos prévios. Forester et al (2004) salientam o trabalho de Hogarth

(1975) que mostra que “alguns psicólogos concluíram que o homem tem uma capacidade de processamento de informações limitada”. Isto implica em nossa percepção ser seletiva, uma vez que é limitada.

Tendo em vista tal limitação é importante destacar que o tamanho da amostra pode influenciar na análise da questão pelo especialista. Por exemplo, no presente trabalho procurou-se apresentar os problemas para o especialista de modo que este pensasse, em média, de 100 exames já realizados em quantos já foram observados os problemas apresentados. No caso de eles não terem percebido a ocorrência do referido problema neste espaço amostral eles poderiam assumir que o problema pode não acontecer, ou é muito mais improvável do que uma vez em cem. Neste caso, uma solução seria aumentar o espaço amostral.

Outros problemas destacados por Forester et al (2004) são de interesse neste trabalho:

- ❖ Falta de entendimento ou de meditação sobre dependências consideradas no modelo;
- ❖ Estruturação mental inadequada, ou seja, criação errônea de um padrão mental acerca do problema considerado;
- ❖ Influência de preconceitos e emoções no julgamento;
- ❖ Uso de analogias no caso de as experiências utilizadas no processo heurístico serem pouco representativas;
- ❖ “Ancoragem e Ajustes”. Na quantificação das questões elicítadas a tendência humana é começar com um primeiro valor e ajustá-lo à conta de outros fatores que afetam a análise. Segundo Forester et al (2004) existe um problema nesta abordagem humana, pois parece ser difícil fazer os ajustes apropriados, mesmo que as estimativas iniciais sejam totalmente arbitrárias. Uma técnica encontrada para minimizar este problema é o questionamento de estimativas subjetivas de probabilidades para os limites superior e inferior, antes de abordar os valores mais prováveis.

Ao compreender como essas carências e vieses ocorrem, as informações elicítadas podem ser usadas para combater a sua influência.

As carências relacionadas aos indivíduos podem ser tratadas selecionando especialistas com uma variedade de experiências.

O analista, ou seja, quem está desenvolvendo o trabalho, deve pedir aos especialistas para explicarem suas opiniões, pois isto pode diminuir os vieses relacionados à estruturação mental inadequada e à influência de preconceitos e emoções no julgamento.

O analista deve usar o seu próprio julgamento quando um indivíduo não está usando as informações completas. Como o analista conhece os vieses potenciais, ele pode testar as idéias dos especialistas e auxiliá-los a interpretar corretamente as perguntas e fornecer respostas adequadas.

De acordo com Forester et al (2004) o analista também pode ajudar os especialistas a desenvolverem um pensamento claro e alinhado por:

- ◆ Construir modelos simples a fim de evitar ancoragem e testar esses modelos para examinar as provas;
- ◆ Buscar consenso sobre as provas consideradas pela equipe de especialistas (no caso deste trabalho as provas, ou seja, os incidentes e acidentes ocorridos estão em artigos publicados);
- ◆ Formular perguntas evitando sugerir a resposta;

3.5.1.4 – Apresentação e Análise das Questões

Em um primeiro momento, as questões foram apresentadas em grupos de assuntos e relevância, permitindo-se o refino do problema, a adição ou o descarte de determinadas situações, dependendo da importância. Foram fornecidos dados utilizados, descrições detalhadas dos tipos de acidentes e do contexto das questões, referências das técnicas utilizadas.

Os problemas foram decompostos e simplificados para diminuir a dificuldade, aliviar o ônus cognitivo de se considerar problemas complexos e melhorar a precisão dos julgamentos.

Como já mencionado, o ideal neste tipo de trabalho é a realização de reuniões com todos os especialistas agrupados e as partes interessadas para a apresentação do método, das questões e para a discussão de toda a análise. Tais reuniões podem levar dias e podem ser utilizadas técnicas como AQR ou HAZOP para a condução das discussões.

Levando-se em consideração que os profissionais que contribuíram para este trabalho têm horários bastante diferentes e, em alguns casos, trabalham em locais diferentes, não foi possível a realização de reuniões com a participação de todos. Assim, foi utilizada a técnica de entrevista na maioria dos casos.

Como os dados coletados de todas as entrevistas devem ser combinados é preciso que a coleta seja feita de maneira uniforme, ou seja, a todos os especialistas devem ser perguntadas as mesmas questões na mesma ordem.

Órgãos especializados em entrevistas, como o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – destacam que as perguntas devem ser feitas de maneira positiva, para não afetar negativamente o fluxo da entrevista. Afirmarções tendenciosas do tipo “você pode não querer responder esta pergunta” podem mudar a resposta do entrevistado.

Se o entrevistado tiver dificuldade em responder a uma determinada questão por não conseguir entendê-la ou interpretá-la, o resultado poderá ser uma resposta incompleta ou inconsistente com outra informação. Quando isto ocorre, técnicas de entrevistas devem ser utilizadas para estimular o entrevistado. Caso a repetição da pergunta não seja suficiente, pesquisas de órgãos já citados destacam que perguntas neutras podem ser úteis desde que feitas com cuidado, para não inserir tendências nas respostas. Pode-se citar: “Qual você acha que mais se aproxima?” ou “Mais alguma coisa?”.

O estímulo, além de neutro, deve ser feito de tal forma que o entrevistado não sinta que seu julgamento está sendo questionado. A entrevista não deve parecer um teste ou um interrogatório.

Outra fonte de viés na apresentação das questões é a postura do entrevistador, como por exemplo, exposição de surpresa, crítica, aprovação ou desaprovação. O entrevistador não deve apresentar seus próprios valores para que o entrevistado não tenda a responder de forma socialmente aceitável e para que as respostas não reflitam as tendências do entrevistador. O entrevistado não deve sentir que uma resposta é mais aceitável do que outra.

Um bom entrevistador apenas faz perguntas, nada mais. Ele precisa ser um bom ouvinte. O SCB (2004) destaca três pontos importantes para o bom andamento da entrevista:

1. Fazer pausas curtas depois de cada pergunta pois asseguram que a questão realmente acabou. E ainda, ausência de pausas indicam que o entrevistador

está ansioso e inseguro, o que induz o entrevistado a sentir-se da mesma maneira.

2. Demonstrar interesse no que o entrevistado diz.
3. Não fazer suposições nem tentar, mentalmente, concluir a sentença por ele.

De acordo com o SCB (2004) é importante, ainda, no final da entrevista, assegurar-se de que toda a informação está registrada, bem como verificar exaustivamente o questionário.

3.5.1.5 – Elicitação do especialista

A elicitação de opinião de especialistas é um processo heurístico de reunião de informações e dados.

O processo heurístico é um método não comprovado cientificamente, cujas decisões são baseadas em experiências vividas durante o desempenho de funções específicas (Aquino et al, 2008). Tal processo não substitui a pesquisa científica rigorosa, mas é um método útil para a exploração de temas vagos e desconhecidos. Para tal, se faz necessária a identificação precisa do problema a ser abordado, bem como, estabelecer a sua relevância. Segundo Ayyub (2001), cada questão ou problema deve ser relevante para cada especialista, especialmente se os indivíduos tiverem pontos de vista e experiências diferentes.

3.5.1.6 – Crítica dos dados

É importante garantir que os dados coletados sejam consistentes e para isso é necessário avaliar a sua coerência antes de serem inseridos no modelo para os cálculos das probabilidades.

Os valores percentis de 95%, 5 %, e a mediana (50%) são computados para as questões e para uma análise aceitável é importante determinar a consistência e integridade destes.

Ayyub (2001) destaca a importância do desenvolvimento de um resumo, feito pelo especialista, das alegações apresentadas para a escolha das probabilidades

condicionais, com o objetivo de melhor alicerçar as respostas. Entretanto, o SCB (2004) defende que a determinação da consistência, correção e integridade dos dados incide em dois aspectos – um interno e outro externo.

A crítica interna ou microcrítica se refere à determinação da consistência de cada microdado. A crítica externa ou macrocrítica envolve o estudo do conjunto completo de dados e pode ser chamada de “validação dos dados”, já que é um processo essencialmente de validação dos dados em relação a outros. No presente trabalho o interesse é na crítica interna, tendo em vista que os especialistas podem não fornecer dados coerentes e que a análise do conjunto de dados é feita por um programa já validado e utilizado em outras análises.

A crítica interna é um processo que envolve a aplicação de certas regras aos dados. O SCB (2004) destaca que se o dado não se adequar às regras pré-definidas ele deve ser corrigido ou alterado. Entretanto, somente o especialista pode fazer tal alteração e se não puder fazê-lo, o referido dado deve ser descartado, para não conspurcar a análise. Essas regras podem limitar os valores que cada item pode assumir, podem gerir a maneira com a qual os itens podem se relacionar ou ainda, desenhar o perfil que o conjunto de dados pode ter. Neste trabalho as limitações impostas para a apresentação dos dados são:

- O valor correspondente ao estado mais observado pelo especialista, ou seja, a mediana tem que estar no intervalo cujos limites são os estados:
 - Menor Valor correspondente ao percentil de 5%;
 - Maior Valor correspondente ao percentil de 95%.

- O valor da probabilidade para o estado que representa sucesso, tendo em consideração medidas extras de prevenção de acidentes, tem de ser maior do que o valor da probabilidade para o mesmo estado sem considerar tais medidas.

O processo de crítica pode ser manual ou automático, dependendo do volume da crítica a ser feita, da natureza e da complexidade das regras de crítica. Um fato observado pelo SCB (2004) é que quanto mais complicadas forem as regras, mais difícil e sujeita a erros será a crítica manual.

O grau de crítica dos dados depende, em grande parte, do seu uso. Conjuntos de dados que serão utilizados em avaliações qualitativas podem não precisar de uma crítica

rigorosa, segundo o SCB (2004). Além disso, algumas informações num conjunto de dados podem ter mais importância e podem contribuir mais significativamente nas estimativas da pesquisa.

Outro fator destacado pelo SCB (2004) é a ação corretiva nos itens que não satisfizerem as condições de crítica, denominada imputação. É colocado que a imputação pode ser feita em dois momentos, assim que a falta de atendimento à crítica é detectada ou como um passo à parte, depois de todos os dados serem submetidos à crítica. O processo de crítica identifica e registra os dados incoerentes e uma operação separada e subsequente efetua a imputação.

Os resultados da crítica podem ser: a verificação do questionário, o acompanhamento dos entrevistados, a correção de dados errados ou omissos, a exclusão de uma informação ou ainda o envio da informação para imputação.

A técnica de entrevista individual facilita o processo de crítica e imputação, já que o entrevistador pode fazer tal crítica enquanto realiza a entrevista e o especialista pode corrigir o dado imediatamente. O SCB (2004) recomenda que o entrevistador revise as respostas do questionário logo após o término da entrevista.

É importante destacar ainda que a utilização de redes bayesianas com opiniões de diferentes especialistas impõe a combinação das mesmas. Os métodos para a combinação dos pareceres dos especialistas podem ser classificados em métodos de consenso (Turoff & Linstone, 1975) e métodos matemáticos. Neste trabalho, o interesse está focado nos métodos matemáticos, que podem basear-se na atribuição de pesos diferentes para os especialistas, com a imputação dos fatores de erro, já explicitados na seção 3.4.

No Capítulo 4 encontra-se a análise feita.

3.6 – Análise de Confiabilidade Humana

3.6.1 – Aspectos gerais

A experiência demonstra que um fator importante na área de segurança nuclear é o trabalhador e os erros que ele pode cometer. De todos os fatores que causam incidentes, o erro humano foi reconhecido como um fator muito importante. Alguns acidentes envolvendo energia nuclear tiveram contribuições humanas significativas, como por exemplo, Chernobyl e Three Mile Island, (TecDoc – 538, 1989).

Na área de radioterapia também houve acidentes com importantes contribuições humanas, como é o caso dos acidentes na Espanha em 1990 (ICRP, 2000), na Costa Rica em 1996 (IAEA, 1998) e no Brasil em 1996 (Motta et al, 1997). Segundo Calandrino et al. (1997), têm acontecido sérios erros, com desvios da dose prescrita de mais de 5%.

No acidente na Espanha, 27 pacientes foram expostos a uma sobredose (de até sete vezes a dose pretendida) de radiação em tratamentos sob feixes de elétrons de um acelerador linear. O acelerador apresentou defeito de operação e este não foi detectado imediatamente (Souza et al, 2001).

No acidente na Costa Rica (1996), 109 pacientes foram expostos a sobredose (de 1,32 a 1,84 vezes a dose pretendida) de radiação em tratamentos com uma fonte de ^{60}Co . Destes 109 pacientes, 13 tiveram a morte associada à superexposição, 4 casos possíveis e 35 mortes não foram relatadas. O acidente foi devido a um erro na calibração de uma unidade de cobaltoterapia, após a troca da fonte (IAEA, 1998).

No acidente ocorrido no Brasil (1996), foram envolvidos oito pacientes sob tratamento em feixes de elétrons de 6 a 12 MeV (sobredoses de cerca de oito vezes o valor pretendido). Uma falha de operação foi ignorada devido à mudança de operação da máquina, do modo clínico para o modo de pesquisa.

Estes e outros acidentes têm identificado tipos diferentes de erro e falha humana. É estimado (TecDoc – 1048, 1998) que 50% a 70% de incidentes foram causados por erros humanos, portanto, os erros que o homem pode cometer têm se tornado cada vez mais importantes na avaliação de eventos.

Entretanto, ações humanas são difíceis de prever devido à variabilidade intrínseca do ser humano. O homem erra devido a várias razões. Não é possível prever com precisão o comportamento dos indivíduos. As pessoas respondem de maneiras diferentes a um determinado problema.

Assim, a busca por conhecimento de fatores humanos e confiabilidade humana tem aumentado. (TecDoc – 538, 1989)

Swain & Guttman (1983) definem confiabilidade humana como a probabilidade de uma pessoa, ou uma equipe, desempenhar corretamente uma atividade por um período de tempo (quando o tempo é um fator limitante) e não desenvolver atividades que degradem o sistema. Estes mesmos autores definem Análise de Confiabilidade Humana (ACH) como o método pelo qual a confiabilidade humana é estimada.

Uma técnica bastante empregada é o THERP - Técnica para Predição de Taxas de Erros Humanos (Swain & Guttman, 1983). Ela analisa as atividades humanas, podendo descobrir erros e permite o cálculo das probabilidades de ocorrência dos mesmos, já que inclui um banco de dados para este cálculo. Embora sejam apresentados alguns fatores delimitadores do desempenho humano (PSF) o THERP faz isto de uma maneira determinística, em três categorias: fatores externos (como aspectos arquitetônicos), fatores estressores (como fadiga) e fatores internos (motivação). Swain & Guttman (1983) apontam como uma limitação do THERP a quantificação dos efeitos das ações humanas. Por exemplo, a quantificação do estresse é feita atribuindo-se um valor pré-determinado, estipulado em uma tabela, que modifica a estimativa de probabilidade de falha humana e que depende exclusivamente do nível de experiência do profissional, não leva em conta, por exemplo, fatores externos que podem servir como fatores estressores.

Antes de observar como a Confiabilidade Humana é abordada neste estudo é interessante verificar alguns aspectos do erro humano. Segundo o TecDoc – 538 (1989) o erro humano pode ser classificado de uma forma geral, em quatro grupos:

❖ Erro humano causado pela habilidade intrínseca do homem

O desempenho humano pode ser melhorado por bons treinamentos e prática. Mas há um limite com o qual o bom treinamento e a prática se deparam: o desempenho individual. Cada indivíduo tem uma habilidade intrínseca ou uma incapacidade de executar uma determinada tarefa.

❖ Erro humano causado pelo contexto

Englobam fatores externos que influenciam o desempenho humano. Alguns dos fatores importantes são: organização de tarefas, procedimentos, duração da jornada de trabalho, treinamento, ambiente físico, recursos, gerenciamento. Neste caso é importante o entendimento das interações entre seres humanos e outros elementos ou sistemas.

❖ Erro de Omissão

São ações não realizadas. O técnico não realiza um procedimento que deveria ser realizado, por exemplo, não verifica a calibração do equipamento antes de realizar um procedimento de radioterapia, e por isso comete um erro.

❖ Erros de Comissão

São ações realizadas inadequadamente. Por exemplo, o técnico não verifica, de forma independente, a localização do tratamento e aplica o tratamento no local errado.

A Avaliação de Confiabilidade Humana (ACH), como ferramenta, tem três funções básicas:

- Identificar erros humanos;
- Predizer a probabilidade destes erros;
- Reduzir esta probabilidade.

Swain &Guttman (1983) e Kirwan (1994) definem a quantificação da Probabilidade de Erro Humano (HEP) como:

$$HEP = \frac{\text{Número de vezes que ocorreu um erro}}{\text{Número de oportunidades para que o erro ocorra}} \quad (3.8)$$

Uma Avaliação de Confiabilidade Humana eficaz necessita de um processo de estimação da Probabilidade de Erro Humano (HEP) razoavelmente preciso, ou conservador. Segundo Kirwan, se o processo não é preciso, ou é otimista, o risco pode ser subestimado, ou pode-se dar muita importância às falhas erradas, ou seja, às de

somenos importância. Em qualquer destes casos, o risco da instalação será maior do que deveria ser.

Em geral, as técnicas de ACH utilizam a opinião de analistas ou um banco de dados de probabilidades de erro genéricos que são tratados para a situação específica avaliada. Neste estudo é apresentada uma modelagem para o tratamento e utilização de opinião de especialistas, tendo em vista a inexistência de um banco de dados aplicável ao objeto de estudo. Será usada a definição de Kirwan (1994) de probabilidade de erro humano para a quantificação dos possíveis erros humanos encontrados no cenário estudado.

A fim de identificar os erros humanos, serão verificados os protocolos dos procedimentos de radioterapia. Para modelar as dependências entre as ações humanas no contexto estudado, é utilizada uma rede bayesiana.

3.6.2 – Fatores Delimitadores do Desempenho Humano - FDDH

Embora a THERP não seja utilizada neste trabalho, Swain & Guttmann (1983) apresentam alguns fatores delimitadores do desempenho humano aplicáveis ao cenário de procedimentos de radioterapia e que são observados na análise apresentada no capítulo 4. Eles apresentam os FDDH em três categorias: fatores externos, fatores estressores e fatores internos, que são resumidos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Fatores delimitadores do desempenho humano

Fonte: Swain & Guttman (1983).

Externos	<i>Características Situacionais</i>	- Qualidade do ambiente - Horas de trabalho/pausas
	<i>Instruções dos trabalhos e das tarefas</i>	- Procedimentos exigidos - Comunicação - Precauções e advertências
	<i>Características das tarefas e dos equipamentos</i>	- Interpretação - Complexidade - Frequência e repetitividade - Interface homem-máquina
Estressores	<i>Estresse psicológico</i>	- Carga da tarefa - Distração
	<i>Estresse fisiológico</i>	- Fadiga - Radiação
Internos	<i>Fatores Orgânicos</i>	- Experiência e treinamento prévio - Estado atual de habilidade ou de prática - Personalidade e inteligência

Especialistas da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA – fizeram um estudo, o Safety Reports Series nº 17 – Lessons Learned From Accidental Exposures In Radiotherapy, sobre acidentes e incidentes relatados em terapias com o uso de radiação ionizante. As questões usadas para a educação de conhecimento e obtenção das probabilidades condicionais usadas neste trabalho foram baseadas nesse estudo. Primeiro, foram obtidas as probabilidades *a priori*, ou seja, sem considerar parâmetros de minimização do erro. Tais parâmetros também são retirados deste estudo, a partir das lições aprendidas e das medidas para prevenção de acidente e estão apresentados no item 4.5, “Medidas para prevenção de acidentes”. As probabilidades *a posteriori* são obtidas a partir das mesmas questões, porém tendo em consideração as medidas de prevenção. Assim, é necessário um resumo dos pontos principais deste relatório.

Tal documento decompõe os acidentes de acordo com a técnica de radioterapia utilizada e no presente trabalho a divisão será: teleterapia (terapia de feixe externo) e braquiterapia.

4.1 – Teleterapia

A teleterapia (tele = distante e terapia = tratamento) é uma modalidade de radioterapia cuja fonte de radiação é externa ao paciente. A radiação ionizante afeta os tecidos doentes e os sadios que atravessa.

A Figura 4.1 ilustra este tipo de equipamento, e a Figura 4.2 ilustra uma seção de teleterapia sendo realizada. Os equipamentos utilizados em teleterapia com raios-X são os aceleradores lineares (AL), máquinas de raios-X e os equipamentos com fontes radioativas (geralmente Co^{60}).



Figura 4.1 – Equipamento de teleterapia



Figura 4.2 – Ilustração de teleterapia sendo realizada

4.1.1 – Eventos relacionados com o equipamento

De acordo com o IAEA (2000) os acidentes mais importantes relacionados a problemas com equipamentos, como por exemplo a calibração do feixe de saída, foram os que resultaram em erro na determinação da taxa de dose e nos tempos de irradiação. Na tabela 4.1 estão listados os cenários destacados no documento.

Tabela 4.1 – Eventos relacionados ao equipamento e às etapas onde ocorreram os acidentes na teleterapia

Eventos envolvendo:	Etapa em que ocorreu o evento
Sistema de medição de radiação, incluindo câmaras de ionização e eletrômetros	Calibração do sistema de referência
	Intercomparação com sistema secundário
	Rotina de uso
Equipamento	Comissionamento (aceitação)
	Calibração (anual)
	Conferência constante (diário, semanal)
	Utilização do equipamento
Sistema de planejamento	Comissionamento e entrada de dados
	Rotina de uso (etapas)

Fonte: IAEA(2000)

4.1.2 – Eventos relacionados com pacientes

Alguns dos acidentes analisados no IAEA (2000) ocorreram devido a peculiaridades dos pacientes, diferentes convenções utilizadas no planejamento do tratamento, incluindo simuladores, scanners de tomografia computadorizada, medicina nuclear, ultrassom, etc. Foram observados também acidentes causados por documentos inexatos ou incompletos e é destacado a observância de falhas em todos os aspectos do planejamento do tratamento, incluindo curvas de isodose⁶.

Constataram-se, ainda, casos de tratamentos para a pessoa errada ou local errado, dose incorreta e overdose de tecidos normais, devido a protocolo institucional ineficiente para identificação do paciente.

Na tabela 4.2 pode-se observar as etapas em que ocorreram alguns acidentes que envolveram pacientes.

⁶ “Representam um conjunto de pontos de algum plano num determinado meio (água, acrílico, músculo, etc) que têm o mesmo valor de dose absorvida para um determinado feixe de tratamento”. Um planejamento com curvas de isodoses se faz necessário em tratamentos complexos, com vários campos de radiação ou possibilidade de dose elevada em órgão de risco. (Fonte: Programa de Qualidade em Radioterapia, 2011)

Tabela 4.2 – Eventos relacionados aos pacientes e às etapas onde ocorreram os acidentes na teleterapia

Eventos envolvendo:	Etapa em que ocorreu o evento
Prescrição	Má comunicação na prescrição
	Erro no uso de imagens
Planejamento do tratamento	Documentação
	Escolha da técnica e cálculo do tempo de tratamento
	Utilização incorreta do sistema de planejamento do tratamento
Execução de tratamento	Identificação do paciente
	Documentação do paciente
	Funcionamento incorreto da máquina de tratamento
	Avaliação final, conclusão do tratamento.

Fonte: IAEA(2000)

4.2 – Braquiterapia

A braquiterapia (braqui = próximo; terapia = tratamento) consiste na radioterapia mediante uma ou mais fontes seladas emissoras de raios γ ou β utilizadas para aplicações superficiais, intracavitárias (dentro da cavidade). e inesterciais (em meio ao tecido) (CNEN 1990). A Figura 4.3 fornece um exemplo de equipamento de braquiterapia.

Isótopos radioativos são inseridos dentro do corpo do paciente, diretamente em contato com o tecido doente, onde será liberada a radiação ionizante. A radiação alcança somente a região afetada pelo câncer.

Materiais radioativos são colocados junto ao tumor liberando doses de radiação diretamente sobre ele, afetando minimamente os órgãos mais próximos e preservando os mais distantes da área do implante.

Uma das técnicas usadas é inserção de fios radioativos diretamente no tumor (IPEN, 2011). A Figura 4.4 ilustra esta técnica. São utilizadas na braquiterapia fontes de

Co^{60} , Ra^{226} , Cs^{137} , Ir^{192} , I^{125} e Sr^{90} . Esta técnica tem sido muito utilizada no Brasil em tumores ginecológicos e em pacientes com câncer de próstata.



Figura 4.3 – Exemplo de equipamento de braquiterapia



Figura 4.4 – Fios de Irídio – 192 para uso em braquiterapia

4.2.1 – Eventos relacionados ao equipamento

Nestes eventos, a IAEA (2000), destaca que ocorreram acidentes por falta de verificação de características da fonte e espessura do filtro, no momento do recebimento do fornecedor e cada vez que eles são usados.

Também foram observadas exposições acidentais relacionadas ao momento de retirada das fontes, neste caso por identificação inadequada, bem como o uso de fontes com vazamento além de casos de acidentes devidos ao mau funcionamento de equipamentos e à utilização inadequada devido ao mau treinamento. Na tabela 4.3 podemos observar as etapas onde ocorreram os acidentes na braquiterapia.

Tabela 4.3 – Etapas onde ocorreram acidentes relacionados ao equipamento na braquiterapia

Etapa em que ocorreu o evento
Verificação da atividade da fonte
Verificação da uniformidade do lote
Verificação da identificação de marcadores
Armazenamento e estoque
Desempenho do teste de vazamento
Aplicadores: comissionamento e manutenção
Treinamento de pessoal
Funcionamento de equipamentos
Uso de fontes não seladas

Fonte: IAEA(2000)

4.2.2 – Eventos relacionados com pacientes

A braquiterapia requer um plano de tratamento individual que determine a disposição geométrica da fonte de radiação. A dose prescrita está relacionada com o tempo de tratamento. A IAEA(2000), destaca a ocorrência de erros graves atrelados, por exemplo, à falha na geometria da fonte, na sua atividade, ou ainda no posicionamento delas. O relatório destaca também a ocorrência de acidentes por falta de manutenção da posição da fonte ao longo do tempo de tratamento, além da influência de falta de pessoal de enfermagem com formação especial. Na tabela 4.4 podemos observar as etapas onde ocorreram os acidentes na braquiterapia.

Tabela 4.4 – Etapas onde ocorreram acidentes relacionados aos pacientes na braquiterapia.

Etapa em que ocorreu o evento
Documentação da prescrição e de comunicação
Planejamento de aplicação, incluindo a atividade, a localização geométrica, a estimativa da taxa de dose e tempo de tratamento.
Identificação da paciente
Documentação (protocolos, procedimentos)
Fontes corretamente fixadas para a manutenção da posição
Identificação da fonte
Cálculo final da dose e do tempo de tratamento
Correta entrega de prescrição
Tempo de tratamento correto
Acompanhamento do paciente após a remoção das fontes

Fonte: IAEA(2000)

Este relatório destaca lições aprendidas e medidas de prevenção de acidentes. Estas serão observadas no próximo item e amplamente utilizadas para a obtenção das probabilidades *a posteriori*, considerando-se os mesmos casos, porém, observando tais medidas de prevenção.

O WHO(2008) realizou uma revisão de acidentes e incidentes na área de radioterapia ocorridos de 1976 a 2007. O quadro apresentado, no que refere às etapas de tratamento onde ocorrem falhas com maior frequência, é semelhante ao apresentado na IAEA(2000), bem com as medidas de prevenção de acidentes. Entretanto o WHO(2008) apresenta dois gráficos (Figura 4.5 e 4.6) que permitem a visualização de um resumo de incidentes ocorridos no período de referência.

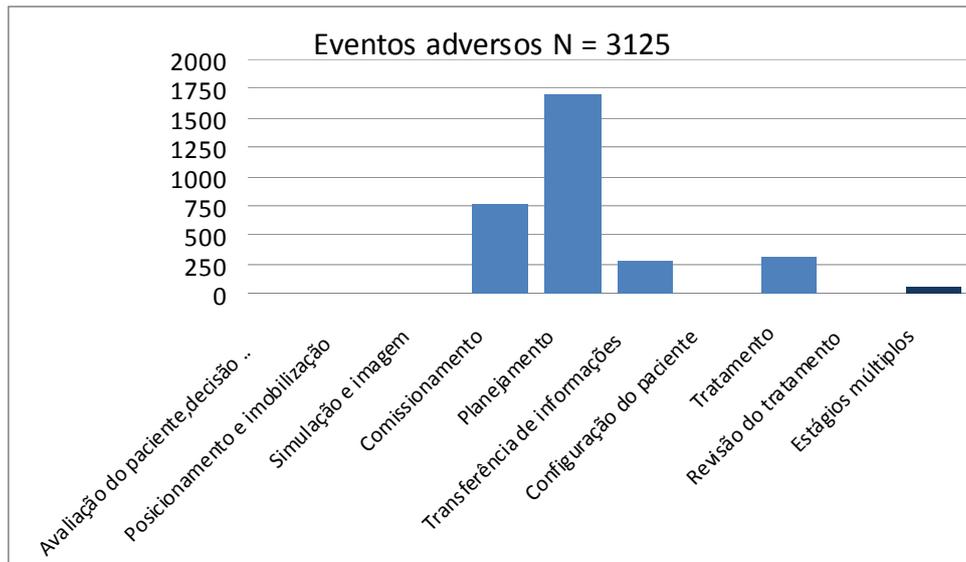


Figura 4.5 – Eventos Adversos na Radioterapia.
Fonte: WHO(2008)

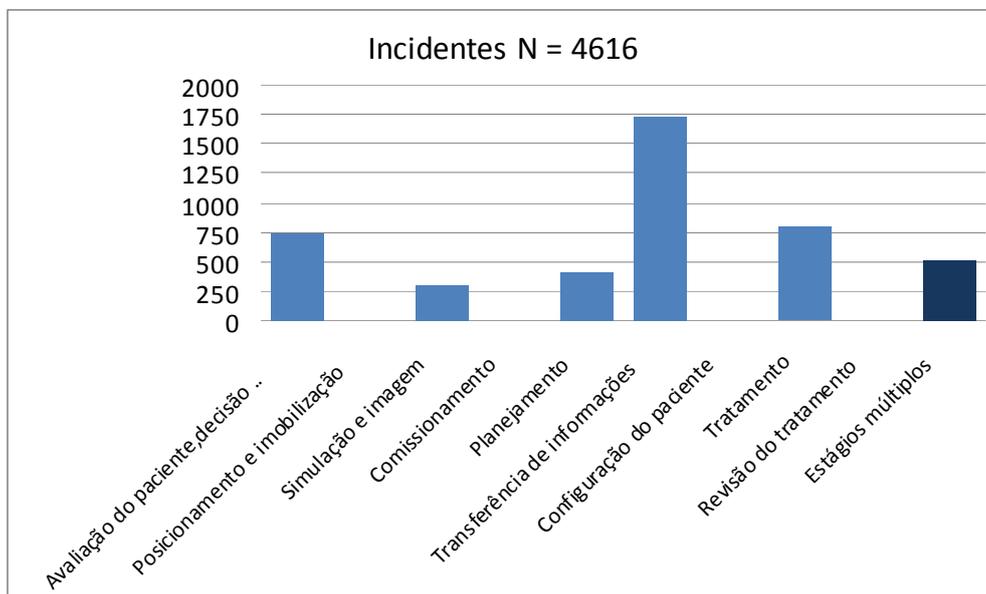


Figura 4.6 – Incidentes na Radioterapia.
Fonte: WHO(2008)

4.5 – Medidas para prevenção de acidentes

A IAEA (2000) apresenta uma série de medidas para prevenção de acidentes a partir da identificação das atividades e etapas críticas e segurança. Tais medidas são destacadas no presente trabalho pela sua relevância na obtenção das probabilidades a posteriori para a inserção nas redes bayesianas.

4.5.1 – Identificação das atividades e etapas críticas de segurança

O relatório já citado apresenta uma lista não exaustiva das atividades e etapas do processo de radioterapia que influenciam na segurança do paciente. Esta lista é usada neste trabalho para a obtenção das probabilidades *a posteriori*, e é apresentada abaixo:

- ◆ Comissionamento de máquinas de radioterapia e validação do sistema de planejamento do tratamento,
- ◆ Calibração e testes periódicos das fontes,
- ◆ Identificação do paciente,
- ◆ Identificação do alvo de tratamento (localização do alvo),
- ◆ Elaboração do plano de tratamento,
- ◆ Prescrição formal do plano de tratamento,
- ◆ Simulação do tratamento e colocação de marcas corporais,
- ◆ Posicionamento diário do paciente e tratamentos acessórios,
- ◆ Anotação de doses acumuladas no prontuário do paciente,
- ◆ Anotação das modificações no decorrer do tratamento,
- ◆ Administração de radiofármacos,
- ◆ Manutenção de equipamentos de radioterapia e dispositivos,
- ◆ Remoção de fontes do paciente após um tratamento de braquiterapia devolvendo-as ao armazenamento,
- ◆ Identificação das fontes de braquiterapia armazenadas, incluindo sua atividade.

Segundo o relatório, a hierarquia poderia servir de salvaguarda e garantir o preenchimento de lacunas ou desfazer ambigüidades. A redundância humana é outra ferramenta destacada para a minimização de falhas.

As medidas destacadas para minimizar graves consequências relacionadas às atividades listadas acima são, de acordo com o relatório:

- ↳ Instruções escritas de forma clara e concisa, inclusive para situações inesperadas e de emergência, bem como descrições claras quanto à atribuição de responsabilidades e linhas de autoridade.
- ↳ Revisões de todos os procedimentos para identificação dos que podem resultar em acidentes.

O relatório destaca a necessidade de cuidados especiais quando o tratamento for complexo, como o tratamento de mais de um sítio anatômico no mesmo dia ou ainda quando há uma mudança nos procedimentos, como por exemplo: mudança de fornecedor de material radioativo; tratamento de área-alvo incomum ou posição incomum do paciente.

4.5.2 – Treinamento

O treinamento é fundamental para o bom desempenho do trabalho, não apenas para o técnico em radiologia (especializado em radioterapia), mas também para o físico e o oncologista. A radioterapia é um campo dinâmico e os profissionais necessitam de atualização. A aquisição de novos equipamentos também exige treinamento especializado.

A IAEA(2000) destaca um grupo de profissionais importante, que também requer treinamento, os enfermeiros e auxiliares, que precisam reconhecer emergências e situações anormais, bem como medidas para prevenção de acidentes. Este documento ainda salienta a importância de uma discussão sobre casos históricos e planos de contingência, além de exercícios de treinamento juntamente com cursos de reciclagem periódicos a fim de auxiliar o reconhecimento de problemas potenciais.

4.5.3 – Comunicação

Erros podem ocorrer devido à falta de comunicação adequada, à transmissão de informações incorretas ou à compreensão inadequada de informações corretas.

Após uma análise de vários acontecimentos, os especialistas da AIEA agruparam, no relatório já mencionado, algumas fontes de erros relacionados à comunicação:

- ◆ Não transmissão de informações;
- ◆ Transmissão incorreta de informações;
- ◆ Comunicação oral, pessoalmente ou por telefone, sem confirmação por escrito;
- ◆ Erros de leitura ou na transferência de informações;
- ◆ Comunicação manuscrita confusa ou ilegível, expressões informais ou uso de jargão não entendido por todos;
- ◆ Incompreensão de comunicação em língua estrangeira, incluindo instruções dos fabricantes para a utilização de equipamentos;
- ◆ Manuais de equipamentos complexos com instrução incompleta ou mal escrita;
- ◆ Problemas pessoais entre os funcionários;
- ◆ Condições inadequadas de trabalho, como ruídos, causando distrações e perda de concentração;
- ◆ Comunicação com a pessoa errada;
- ◆ Tentativa de correção de um problema por uma pessoa desqualificada, ou sem a devida ajuda ou opinião.

O relatório da AIEA enfatiza que é de responsabilidade geralmente de um físico médico verificar as linhas de comunicação relativas à dosimetria de pacientes.

Outras medidas destacadas para minimizar graves consequências relacionadas à má comunicação são, de acordo com o relatório:

- ↪ Identificação e envio de todas as regras para a comunicação;
- ↪ Atribuição clara de responsabilidades dos funcionários, incluindo descrições escritas;

- ↪ Estrutura organizacional que identifique claramente a "cadeia de comando", ou seja, o supervisor de cada trabalhador e as pessoas que este supervisiona;
- ↪ Listas de verificação que descrevam todas as etapas dos procedimentos de rotina, bem como ações a serem tomadas quando ocorrem situações anormais ou acidentes;
- ↪ Procedimentos escritos de maneira clara e concisa para as comunicações de segurança em situações críticas;
- ↪ Assinaturas dos documentos críticos para a segurança, por exemplo, prescrições escritas e assinadas pelo médico ou ainda, planos de tratamento, registros diários de terapia para o paciente, etc assinadas ou rubricadas pela pessoa que executa ou verifica as etapas do processo.

4.5.4 – Equipamentos

Segundo a AIEA (2000), os acidentes relacionados a falhas em equipamentos têm a frequência de ocorrência baixa em relação às outras fontes de acidentes, no entanto, as consequências podem ser graves e muitos pacientes podem ser afetados. Alguns fatores que contribuem para acidentes relacionados aos equipamentos são:

- ◆ Redundância insuficiente na concepção dos equipamentos;
- ◆ Problemas de software;
- ◆ Incompatibilidades de hardware em equipamentos e acessórios;
- ◆ Possibilidade de operar o equipamento em um “modo não-clínico”.

Algumas medidas para a prevenção de acidentes e mitigação das consequências podem ser tomadas, algumas das quais estão listadas abaixo:

- ↪ Análise de falhas comuns, usada para assegurar que uma falha comum não anule a redundância. Para este efeito, a redundância é conjugada com sistemas independentes;

- ↪ Projeto dos componentes e sistemas baseados no conceito de defesa em profundidade⁷;
- ↪ Inclusão de condições anormais de operação nos testes do protótipo;
- ↪ Projeto do equipamento de modo a impedir o uso em “modo não-clínico”;
- ↪ Realização da validação do equipamento em condições normais antes do início dos tratamentos;
- ↪ Existência de um sistema formal de comunicação e divulgação de informações de fabricantes para os usuários;

4.5.5 – Interface homem-máquina

Problemas de interface homem-máquina podem ocorrer por falha no entendimento do funcionamento dos equipamentos, incluindo o significado de alarmes e sinais que indicam uma avaria. Algumas considerações quando observadas podem minimizar falhas relacionadas a este campo, por exemplo:

- ↪ Assumir como verdadeiros os sinais, a princípio inconsistentes, que indicam o caso mais grave e então investigar a consistência deles. Por exemplo, se um monitor de radiação emite um alarme indicando “feixe ligado”, mas o console mostra que o feixe está desligado, é mais prudente assumir que o feixe está ligado ao invés de admitir que o alarme esteja com defeito;
- ↪ Consideração da interface homem-máquina no ambiente clínico na concepção de equipamentos;
- ↪ Treinamento específico para reconhecimento de sinais anormais e contraditórios;
- ↪ Não tratamento de pacientes com o equipamento operando em “modo não-clínico”;
- ↪ Não utilização de “solução rápida” para continuar o tratamento de pacientes;
- ↪ Retirar de uso equipamentos que estão funcionando mal até reparação formal completa.

⁷ Utilização de mais de uma única medida de proteção.

4.5.5 – Manutenção

Problemas durante a manutenção também podem incorrer em graves falhas e afetar muitos pacientes até serem descobertos, assim é importante observar alguns fatores que promovem a prevenção e/ou mitigação de graves consequências. O relatório IAEA(2000) indica alguns:

- ↳ Planejamento e implantação de um programa de manutenção eficiente e que iniba improvisação;
- ↳ Pessoal de manutenção consciente das potenciais consequências de falhas na manutenção;
- ↳ Verificação dos parâmetros de funcionamento da máquina antes da liberação para uso clínico, após manutenção ou reparo;
- ↳ Instruções claras e documentadas por escrito para o uso de um equipamento que tenha sido alterado pelo fabricante durante a manutenção.

4.6 – Breve histórico do desenvolvimento do trabalho

Um dos propósitos do trabalho foi destacar e modelar as etapas mais relevantes no procedimento de radioterapia que envolva ações humanas. Para a verificação das etapas foi necessário, em um primeiro momento, realizar observações dos procedimentos de teleterapia e de braquiterapia. Tais observações foram realizadas no setor de Radioterapia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho – HUCFF/UFRJ. Esta fase foi muito importante para a familiarização com os procedimentos de tratamento, entretanto alguns obstáculos foram encontrados. O equipamento de teleterapia do HUCFF/UFRJ ficou um longo tempo inoperante, impossibilitando a realização de tratamentos. Embora a teleterapia não estivesse funcionando, foi possível realizar algumas observações de braquiterapia por um período

curto de tempo, até a fonte decair a uma determinada atividade que impossibilita a realização do tratamento. Tais fatores incidiram em atrasos neste trabalho.

Após a fase de acompanhamento dos procedimentos e familiarização com o procedimento, foi necessário realizar uma avaliação sistemática dos procedimentos para a detecção do contexto da falha humana. Para tal feito foi realizada uma pesquisa ampla e profunda acerca das etapas detalhadas dos procedimentos, de teleterapia e braquiterapia. Esta fase foi importante para que este trabalho fosse o mais genérico possível, ou seja, sem as especificidades intrínsecas do local observado, o que poderia influenciar na obtenção de probabilidades a partir dos especialistas. Embora o especialista, para responder às questões, busque informações de todos os anos de experiência que possui, é mais confortável para ele saber que as falhas analisadas não são referentes ao seu trabalho, o que o deixa mais livre para avaliar as questões e estimar as probabilidades associadas. Nesta fase de pesquisa sobre as etapas detalhadas dos procedimentos de tratamento alguns documentos se destacaram, tornando-se a base para o planejamento e montagem do questionário.

Após todo o processo de planejamento e montagem do questionário, já discutido no Capítulo 3, temos a etapa de aplicação do questionário. Como pode ser observado nos Apêndices I e II, a quantidade de perguntas, 68 questões para a quantificação das redes bayesianas da teleterapia e 26 questões para a quantificação das redes bayesianas da braquiterapia, tornou o preenchimento do questionário exaustivo, embora as redes bayesianas tenham sido construídas de forma simplificada. Assim, esta fase constituiu um desafio por necessitar de tempo para o preenchimento do questionário e por exigir dos profissionais uma busca de conhecimento a partir de suas experiências vividas durante o desempenho de funções específicas. Alguns profissionais sentiram mais dificuldade em responder às questões devido ao tempo de experiência na função ou ao próprio método, ou seja, à necessidade de se atribuir probabilidades a determinados cenários.

Embora tenha sido utilizada a técnica de entrevista individual, que facilita o controle de vieses não intencionais dos especialistas, alguns destes profissionais tiveram uma dificuldade maior em transformar as experiências vividas em probabilidades. Tais dificuldades se tornam claras na fase de crítica dos dados, pois nesta etapa foram avaliadas, com cuidado, todas as respostas fornecidas, com base nos critérios adotados no item 3.5.1.6.

4.7 – Redes bayesianas

As redes bayesianas foram montadas a partir das informações do IAEA(2000). O programa utilizado foi o Netica, marca registrada da Norsys Software Corporation, por ser de fácil utilização e disponível gratuitamente na internet, e as redes estão apresentadas seguir.

A rede bayesiana para o procedimento de braquiterapia foi simplificada a fim de se obter valores condicionais para a quantificação. Os fatores relacionados ao equipamento, como treinamento e configuração da fonte foram acoplados ao nó equipamento para melhor observação da interação entre eles. Na configuração da fonte os fatores preponderantes são: fixação da fonte no paciente para manutenção da posição durante todo o procedimento, a selagem da fonte e a armazenagem, incluindo o identificação da fonte. Tais fatores foram os mais relevantes nos incidentes e acidentes estudados no IAEA(2000). Por fim, para que o tratamento com braquiterapia seja bem sucedido, de uma forma simplificada, é essencial que o planejamento seja adequado e bem executado. E para que a execução seja bem feita é necessário que haja boa comunicação entre os profissionais envolvidos. Na Figura 4.7 pode-se observar a rede bayesiana criada.

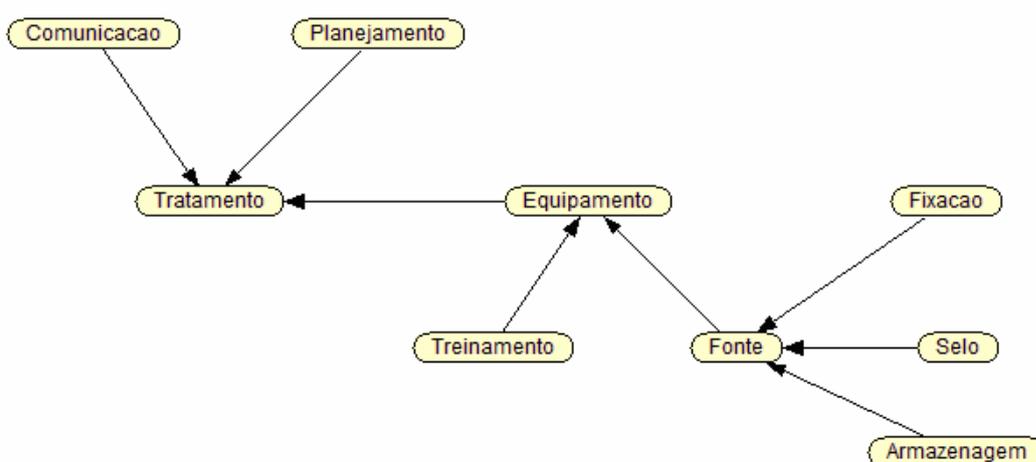


Figura 4.7 – Rede bayesiana para a braquiterapia

Na Figura 4.8 pode-se observar a rede criada para o tratamento com teleterapia. Um aspecto importante relacionado às rede bayesianas é a dificuldade de quantificação quando a rede é complexa, isso porque a quantificação é baseada em probabilidades condicionais, como já explicitado. Assim, com base na classificação feita no IAEA(2000), que destaca as etapas do procedimento de teleterapia onde ocorreram os acidentes analisados pode-se obter redes mais simples. A separação da rede bayesiana para a teleterapia em redes menores em nada dificulta a análise já que o objetivo do presente trabalho é a observação dos fatores mais importantes, que têm maior influencia no contexto estudado.

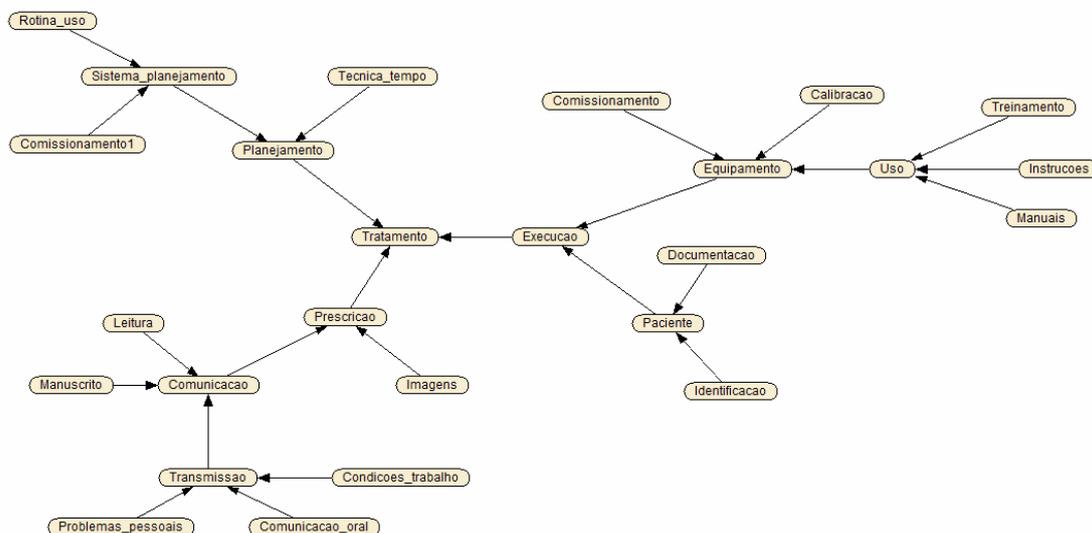


Figura 4.8 – Rede bayesiana para a teleterapia

As redes bayesianas segregadas para a teleterapia são apresentadas a seguir.

Cronologicamente as etapas da teleterapia são: prescrição, planejamento e execução. Na etapa da prescrição, ilustrada na Figura 4.9, observamos o nó comunicação, enquanto nas outras etapas este nó não aparece. Isso se dá não porque a comunicação não é importante nas outras etapas, pelo contrário, mas é nesta etapa que este item é decisivo em um cenário onde ocorra falha, de acordo com o IAEA(2000).

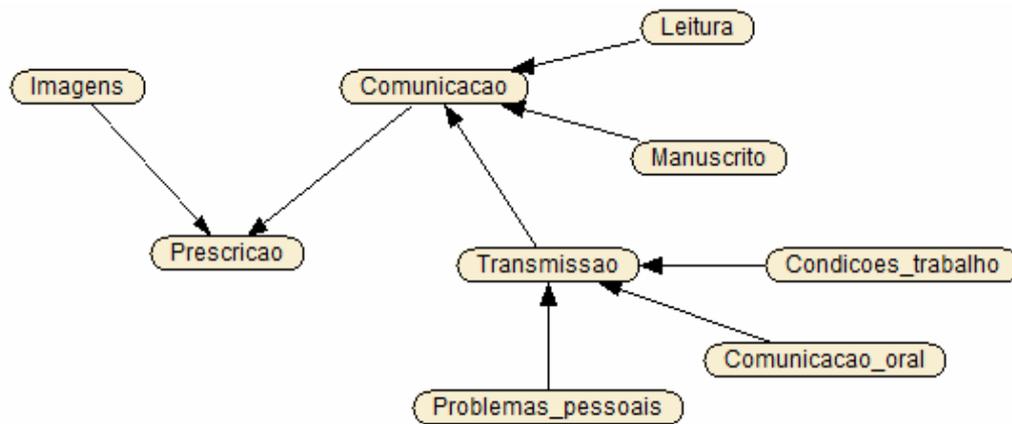


Figura 4.9 – Rede bayesiana para a etapa de prescrição da teleterapia

A etapa do planejamento é a mais simples e está ilustrada na Figura 4.10. Tem como fatores relevantes: a escolha da técnica e cálculo do tempo de tratamento, tratados juntos para facilitar o processo de elicitação, e a configuração do sistema de planejamento, incluindo o comissionamento e entrada de dados e a rotina de uso do sistema.

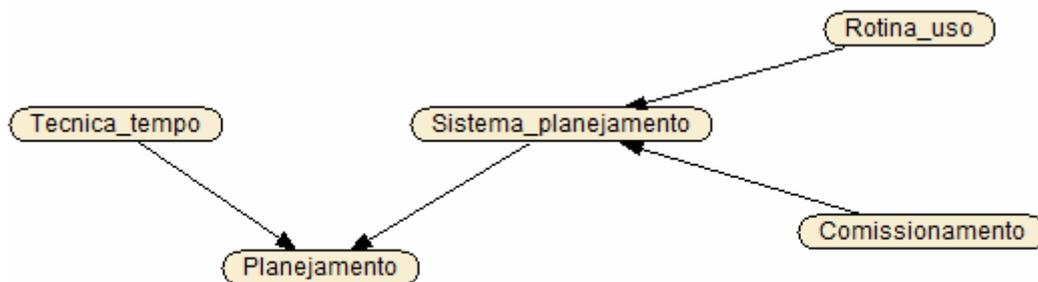


Figura 4.10 – Rede bayesiana para a etapa de planejamento da teleterapia

Quanto a etapa de execução do tratamento de teleterapia, ilustrada na Fig. 4.11, dentre os fatores que, segundo o IAEA(2000), são preponderantes está a configuração do paciente, ou seja a documentação adequada e a identificação do mesmo. Entretanto, o fator de maior relevância está associado ao manuseio do equipamento de teleterapia, neste respeito o treinamento é relativo ao técnico que está diretamente envolvido na

aplicação do tratamento. O nó “instruções” está relacionado à leitura e interpretação de instruções escritas, inclusive as que são para situações inesperadas e de emergência. O nó “manuais” está relacionado à leitura e interpretação do manual do equipamento de teleterapia tendo em vista sua complexidade.

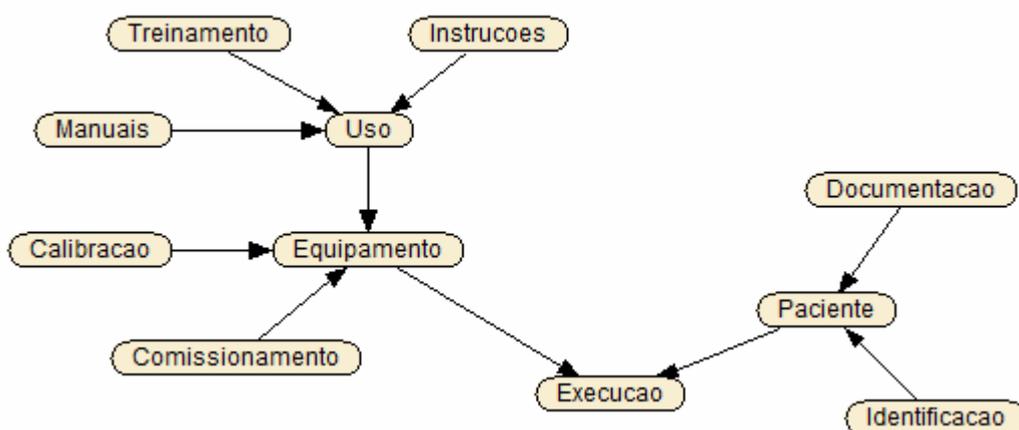


Figura 4.11 – Rede bayesiana para a etapa de execução da teleterapia

4.8 – Questionários aplicados

Os questionários foram baseados nas redes bayesianas apresentadas no item anterior e aplicados em grupos distintos de profissionais: os médicos radioterapeutas, os físicos médicos e os técnicos em radiologia especializados em radioterapia. É importante destacar que este trabalho foi baseado em técnicas de entrevistas já expostas, e que os profissionais são designados por um código, garantindo o sigilo das informações. As questões sobre teleterapia e braquiterapia estão nos Apêndices I e II, respectivamente.

Os questionários preenchidos são bastante extensos, assim foi incluído apenas um questionário de cada técnica de tratamento, teleterapia e braquiterapia, nos Apêndices III e IV respectivamente.

4.9 – Apresentação dos resultados

Os valores fornecidos pelos especialistas foram agrupados para cada questão de teleterapia e braquiterapia e estão apresentados nos Apêndices V e VI, respectivamente.

É de extrema importância destacar que os resultados aqui apresentados não se referem ao risco do procedimento analisado. Isto porque para tal análise deve-se considerar as taxas de falhas dos equipamentos utilizados, o que não é feito. A análise realizada diz respeito somente à questão humana. Além disto, como já comentado, a abordagem de elicitación de especialistas usada é extremamente subjetiva. Foi escolhida por não haver outro meio de obter dados para a quantificação das RBs.

As redes bayesianas quantificadas para a etapa de prescrição do tratamento de teleterapia antes e depois de consideradas as medidas de prevenção de acidentes consideradas estão apresentadas nas Figuras 4.12 e 4.13.

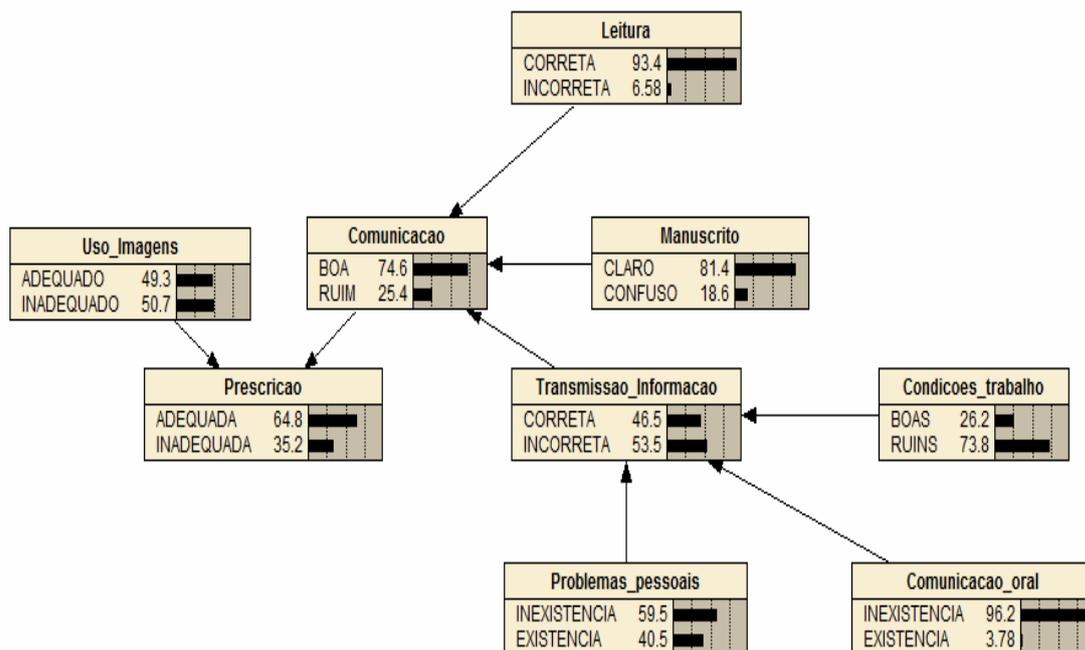


Figura 4.12 – RB com os valores *a priori* da fase de prescrição do tratamento de teleterapia

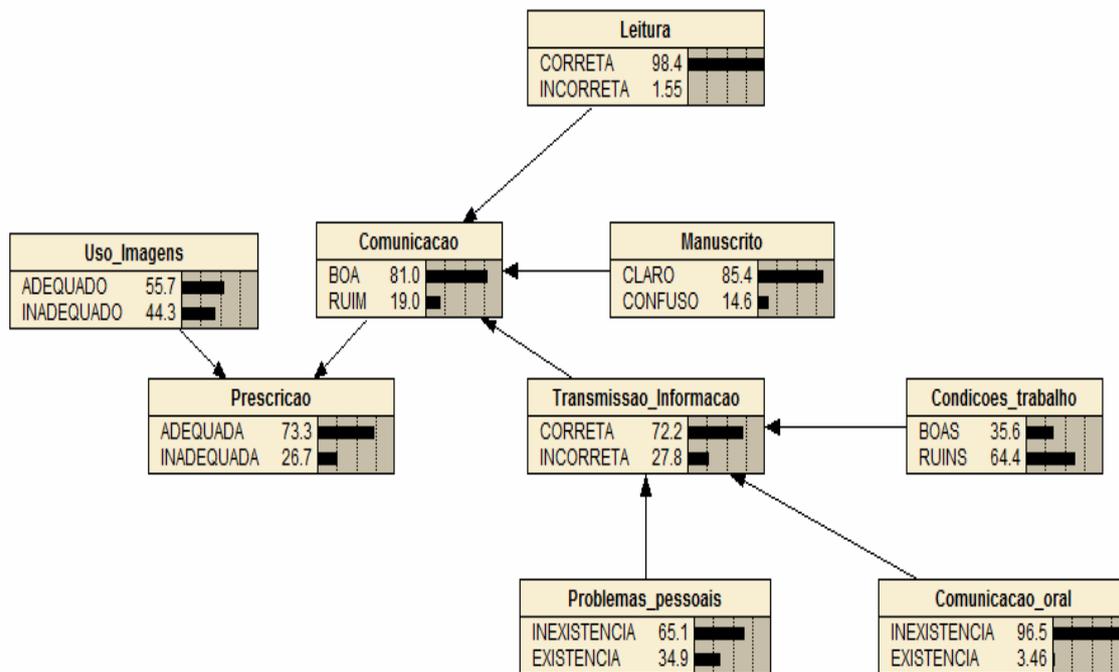


Figura 4.13 – RB com os valores *a posteriori* da fase de prescrição do tratamento de teleterapia

No caso da fase de prescrição do tratamento (Figuras 4.12 e 4.13), o nó que mais sofreu variação em virtude da consideração de medidas para prevenção de acidentes foi “transmissão de informações”, sendo o maior contribuinte as condições de trabalho inadequadas que causam distrações e perda de concentração, o que está de acordo com o IAEA(2000). A consideração de medidas de segurança extras resultaram em um aumento de 55,27% no estado transmissão de informação correta, influenciando juntamente com outros fatores, em um aumento de 13,12% no estado adequado do nó prescrição do tratamento.

As redes bayesianas quantificadas para a etapa de planejamento do tratamento de teleterapia antes e depois de consideradas as medidas de prevenção de acidentes consideradas estão apresentadas nas Figuras 4.14 e 4.15.

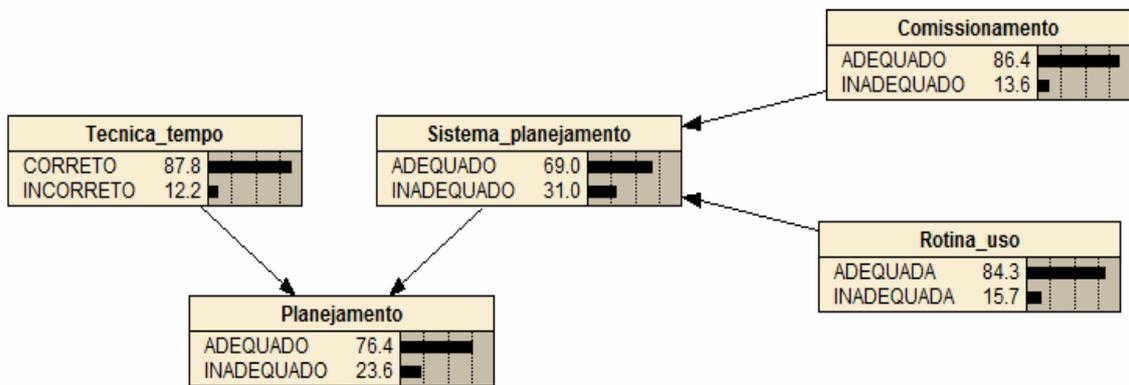


Figura 4.14 – RB com os valores a priori do planejamento do tratamento de teleterapia

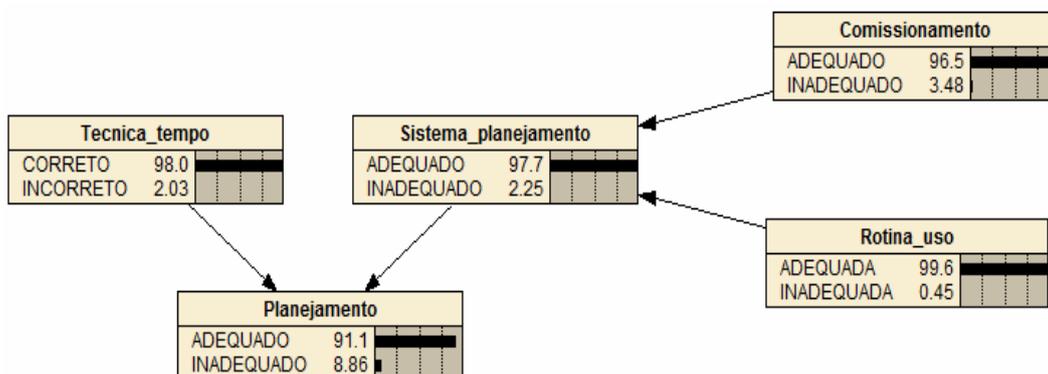


Figura 4.15 – RB com os valores a posteriori do planejamento do tratamento de teleterapia

Na etapa do planejamento verifica-se a relação de dependência entre o sistema de planejamento (que envolve o comissionamento e a entrada de dados) e o planejamento do tratamento. O sistema de planejamento é uma fonte de falha mais significativa do que a escolha da técnica e o cálculo do tempo de tratamento, além de ser bastante sensível às medidas de prevenção de acidentes. Quando estas foram consideradas o estado adequado do sistema de planejamento aumentou em 41,59%, influenciando fortemente o aumento de 19,24% do estado adequado do nó planejamento do tratamento.

As redes bayesianas quantificadas para a etapa de execução do tratamento de teleterapia antes e depois de consideradas as medidas de prevenção de acidentes consideradas estão apresentadas nas Figuras 4.16 e 4.17.

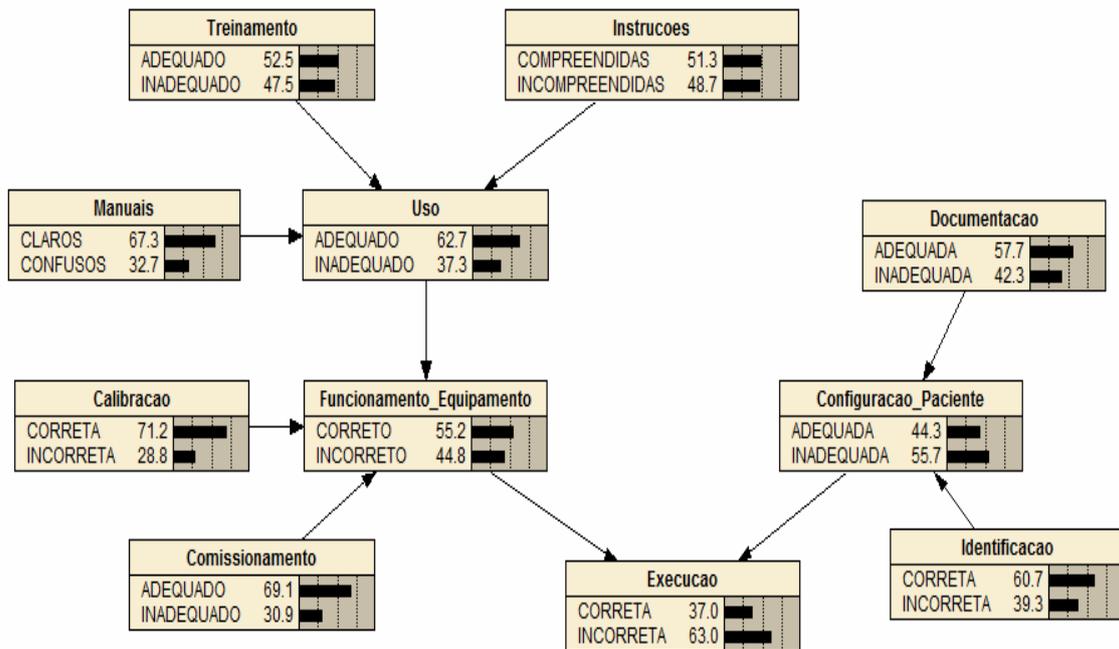


Figura 4.16 – RB com os valores *a priori* da fase de execução do tratamento de teleterapia

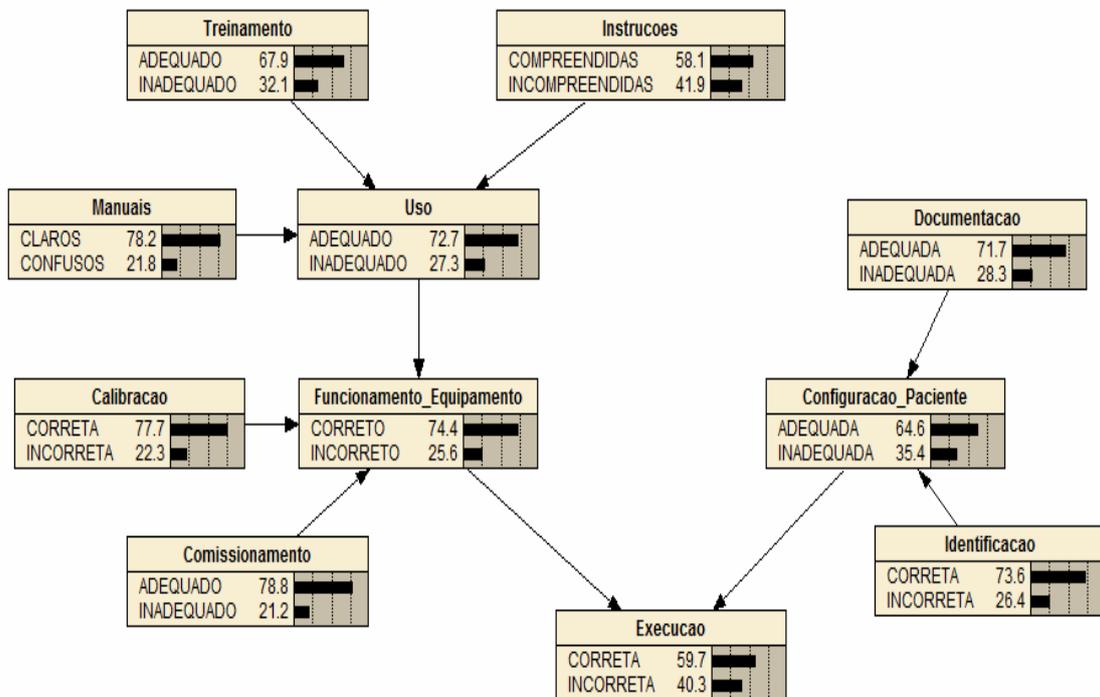


Figura 4.17 – RB com os valores *a posteriori* da fase de execução do tratamento de teleterapia

Na fase de execução do tratamento de teleterapia os nós que se mostraram mais relevantes foram:

- ❖ A configuração do paciente que sofreu um aumento de 45,82% com medidas específicas de prevenção de acidentes, como por exemplo, a verificação da documentação por mais de um funcionário;
- ❖ O funcionamento adequado do equipamento em virtude do uso correto do mesmo, refletindo em um aumento de 34,78% no estado funcionamento correto;
- ❖ O treinamento, cujo aumento do estado adequado foi de 29,33%. O treinamento continuado, bem como atualizações periódicas dos profissionais envolvidos principalmente na fase de execução do tratamento é uma medida eficaz de prevenção de falhas.

A fim de verificar a fase do tratamento de teleterapia mais sensível às medidas de prevenção de falhas pode-se observar a Figura 4.18

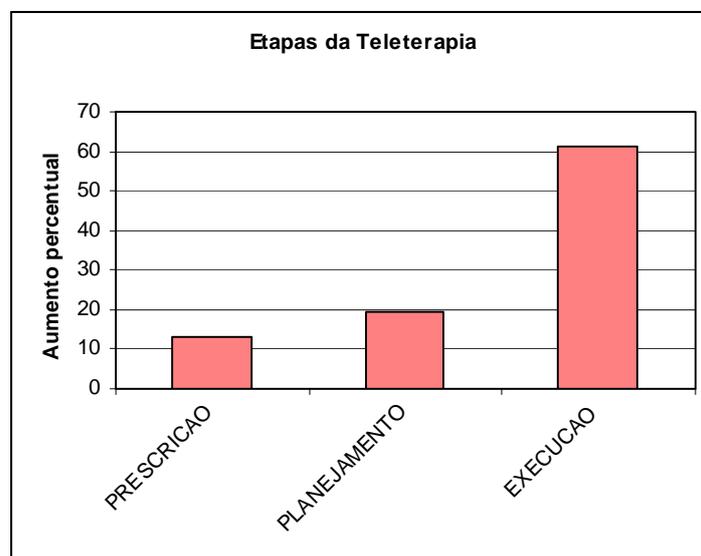


Figura 4.18 – Gráfico comparativo das etapas de teleterapia, por ordem cronológica.

A etapa de execução teve um aumento de 61,53% com medidas de segurança extras, apresentadas no IAEA (2000), enquanto a etapa de prescrição teve um aumento de 13,12%, o que reflete a importância de medidas preventivas na fase de execução, o que está de total acordo com os casos de falhas e acidentes relatados no IAEA (2000)

pois, 54,35% dos casos de acidentes estudados estão relacionados com a fase de execução.

As redes bayesianas quantificadas para o tratamento de braquiterapia antes e depois de consideradas as medidas de prevenção de acidentes consideradas estão apresentadas nas Figuras 4.19 e 4.20.

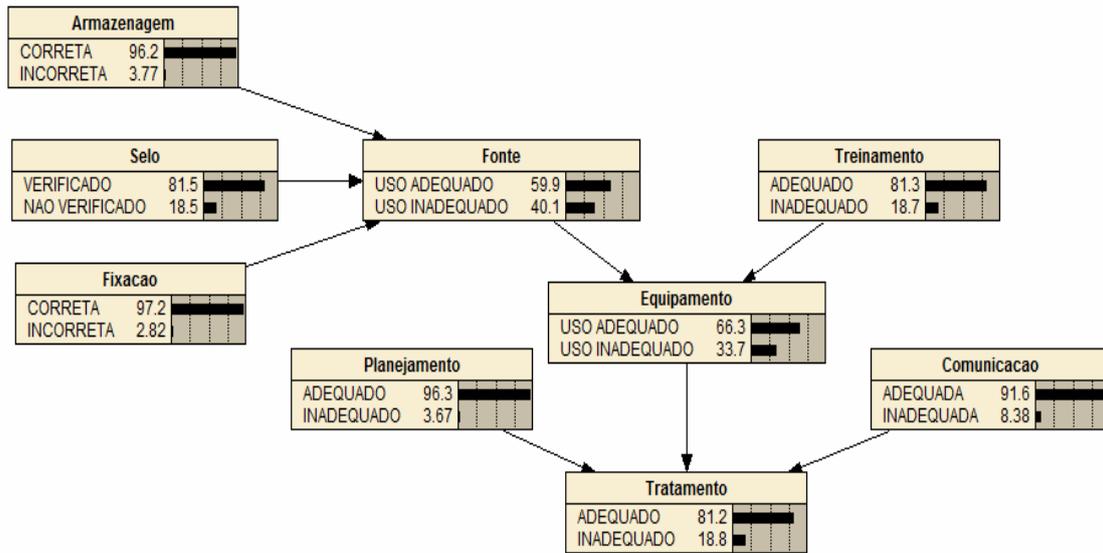


Figura 4.19 – RB com os valores *a priori* do tratamento de braquiterapia

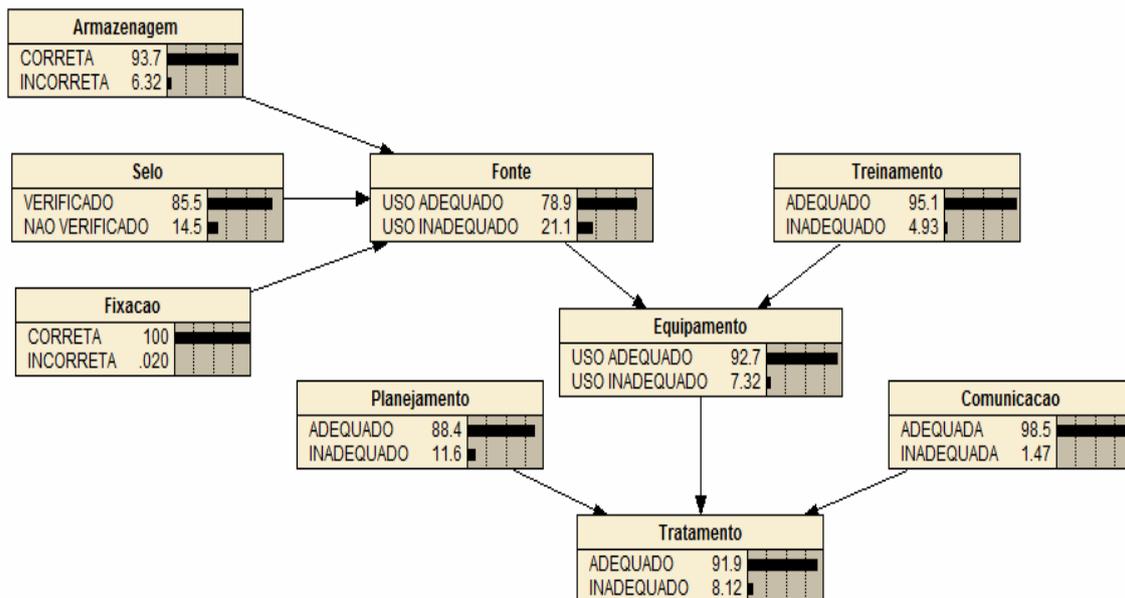


Figura 4.20 – RB com os valores *a posteriori* do tratamento de braquiterapia

Em relação à braquiterapia, o fator que apresentou maior relevância na análise feita foi o uso do equipamento, cujo aumento do estado “uso adequado”, depois de consideradas medidas de prevenção, foi de 39,8%. Este valor demonstra a importância da correta utilização do equipamento, o que é sabido, mas o destaque é para o treinamento específico e continuado.

Outro nó relevante é o relacionado à configuração da fonte, cujo aumento do estado “uso adequado” foi de 31,72%. Cabe a observação que o relevante neste caso é a consequência de um acidente relacionado à fonte, por exemplo, fonte não selada, e não a frequência de ocorrência ou a quantidade de casos, pois são pouco representativos.

5.1 – Conclusões

Um dos propósitos do trabalho foi destacar e modelar as etapas mais relevantes no procedimento de radioterapia que envolva ações humanas. Este objetivo foi alcançado a partir da modelagem via redes bayesianas, nas quais pode-se observar claramente a relação de causalidade entre as diversas etapas dos procedimentos analisados.

As redes bayesianas foram construídas de forma simplificada devido à limitação encontrada nesta abordagem. Como já explanado, a quantificação dependente das probabilidades condicionais torna-se um limitador. Entretanto, de forma simples, porém realista foram observados os fatores mais sensíveis às ações humanas e como as medidas de prevenção de acidentes tornam-se preponderantes para a minimização de falhas humanas.

A análise via redes bayesianas se mostrou adequada e proveitosa para a observação da relação de causalidade entre as diversas fases dos procedimentos de tratamento com as técnicas de teleterapia e de braquiterapia. Pôde-se representar a conexão entre as etapas dos procedimentos analisados e verificar como alguns fatores, por exemplo o treinamento continuado é fundamental na etapa de utilização do equipamento usado no tratamento.

Este trabalho se deparou com outras limitações relativas ao próprio método usado. A elicitación de especialistas, além de ser um processo totalmente subjetivo é uma técnica nova para os profissionais envolvidos, e até certo ponto exaustiva. Demonstrou-se assim a importância do treinamento no método de elicitación.

O objetivo principal do trabalho, destacar e modelar as etapas mais relevantes no procedimento de radioterapia que envolva ações humanas foi alcançado, tendo em vista que foram verificados os aspectos que mais influenciam nos procedimentos. É fato que se mais especialistas com diferentes experiências fossem consultados os valores seriam diferentes, mas o resultado obtido está de acordo com a literatura internacional (IAEA,

2000 e WHO, 2008) no que diz respeito às etapas mais sensíveis às falhas humanas nos procedimentos avaliados.

Vale ressaltar, ainda que os resultados apresentados não se referem ao risco do procedimento analisado, como já explicitado no item 4.9. A análise feita considera apenas os fatores humanos, excluindo-se as questões referentes às taxas de falhas dos equipamentos utilizados. Além disto, como já comentado, a abordagem de elicitación de especialistas usada é extremamente subjetiva. Foi escolhida por não haver outro meio de obter dados para a quantificação das RBs.

Assim sendo, os resultados encontrados não refletem os riscos totais envolvidos nos procedimentos de teleterapia e de braquiterapia. São reflexos, somente, da sensibilidade dos procedimentos às ações humanas, ou seja, demonstram quais os fatores são os mais relevantes para a minimização de falhas humanas. Esta análise é de extremo valor quando se faz necessária a realização de melhorias para a minimização de incidentes e acidentes ou em uma análise de custo-benefício em um setor de radioterapia.

5.2 – Recomendações

Procedimentos interdisciplinares, multifuncionais e dinâmicos, como a radioterapia, necessitam de uma atitude integradora e de aprendizagem por parte dos profissionais envolvidos, no caso, médicos, físicos médicos e técnicos em radiologia com especialização em radioterapia.

Neste trabalho recomenda-se a implantação de uma cultura de segurança que envolva uma avaliação sistemática dos procedimentos e de equipamentos, bem como um sistema de controle independente contínuo, porém interno. A verificação das etapas dos procedimentos por membros da própria equipe de trabalho é importante, já que um controle independente, contínuo e externo seria inviável para todos os setores de radioterapia. Uma visão crítica do próprio trabalho, por parte dos profissionais envolvidos, pode ajudar neste aspecto.

É importante destacar que uma cultura de segurança adaptada à realidade encontrada pode ser uma importante ferramenta para se evitar erros ou detectá-los rapidamente. Como exemplo de cultura adaptada pode-se considerar um setor de radioterapia que está funcionando com apenas um físico médico na equipe. Este cenário definitivamente não é o ideal. Pelo contrário, o ideal é que a equipe tenha mais de um físico médico por turno de trabalho. No caso hipotético, porém não longe da realidade, fica extremamente difícil a realização de um controle independente interno. Neste caso, uma forma de observar uma cultura de segurança adaptada seria o físico médico realizar a verificação do próprio trabalho, todavia num momento diferente, num dia diferente do dia de realização da tarefa. Isso permitiria que sua atenção e concentração fossem renovadas e suas experiências atualizadas a partir de conhecimentos adquiridos com a experiência.

A IAEA (2000) e o WHO (2008) destacam a importância da segunda verificação de dados, de cálculos, de medições, porém além dos fatores já expostos relacionados às verificações independentes, a atitude dos profissionais envolvidos é de extrema importância. Se a atitude não for de integração e de liberdade para se discutir problemas, o ambiente interno fica prejudicado. Assim é recomendada uma avaliação do sistema de gestão do setor para que este sistema promova um clima organizacional favorável à minimização de falhas ligadas a questões aparentemente simples, como conferência da documentação do paciente.

No setor de Radioterapia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho – HUCFF/UFRJ, objeto de observação, o ambiente encontrado foi de integração entre as partes. Reuniões periódicas, como uma mesa redonda, com membros de todos os grupos de especialistas envolvidos, são realizadas para a discussão de cada caso. Embora a literatura consultada não faça referência a este método, tais reuniões são consideradas como parte da cultura de implantação de boas práticas, destacadas no IAEA (2000) e agem positivamente na melhoria da comunicação entre os profissionais, assim recomenda-se que as instituições que possuem setores de radioterapia utilizem amplamente este método.

Os profissionais em radioterapia possuem características intrínsecas, associadas à eficiência individual. Entretanto a boa comunicação e cooperação são fundamentais e contribuem para a eficácia dos procedimentos, ou seja, para o alcance do resultado

desejado sob condições peculiares, que no caso da radioterapia é comum, pois cada paciente é tratado de acordo com condições específicas.

Entretanto o uso de comunicação não verbal durante a fase de planejamento e de execução do tratamento não é recomendado, tendo em vista os incidentes e acidentes ocorridos, cuja causa raiz foi a comunicação verbal sem confirmação escrita. Assim é recomendado que, além da boa prática de uma estrutura que promova a boa comunicação, seja implantada nos setores de radioterapia uma estrutura gerencial com protocolos bem definidos de transmissão de informações.

Outra questão importante é a utilização do equipamento usado na execução do tratamento. Como demonstrado na discussão dos resultados, o treinamento é um aspecto importante na execução do procedimento de radioterapia. Assim é recomendado que os profissionais envolvidos diretamente na fase de execução dos procedimentos de teleterapia e de braquiterapia, ou seja, que agem juntamente ao equipamento, passem por treinamentos continuados, com atualizações periódicas, avaliações e simulações de situações de emergência.

A avaliação sistemática dos procedimentos realizados foi feita com base em documentos da AIEA. É fato que cada setor de radioterapia tem suas peculiaridades. Esta metodologia, embora tenha limitações, é bastante útil e pode ser usada para a realização de avaliações sistemáticas de procedimentos de tratamento peculiares a fim de observar as relações de causalidades e os modos de falhas em setores de radioterapia particulares. Assim, a fim de realizar uma análise dos aspectos preponderantes nos procedimentos de tratamento é recomendada a utilização da metodologia apresentada ao menos até a etapa de construção das redes bayesianas, sem suas quantificações. Esta análise promoverá uma visão clara das relações de causalidade entre os procedimentos realizados e os fatores que delimitam o desempenho humano e que são peculiares de cada instalação.

Referências Bibliográficas

Apostolakis, G. “Expert Judgment in Probabilistic Safety Assessment”. *Accelerated Life Testing and Experts’ Opinions in Reliability*, pp 116 – 131, 1988.

Apostolakis, G. “On the use of judgment in probabilistic risk analysis”. *Nuclear Engineering and Design* 93, pp161 – 166, 1986.

Apostolakis, G., Chhibber, S., Okrent, D. “A taxonomy of issues related to the use of expert judgment in probabilistic safety studies”. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 38, pp 27 – 45, 1992.

Apostolakis, G., Kaplan S., Garrick, B.J. *et al*, “Data Specialization For Plant Specific Risk Studies”, *Nuclear Engineering and Design*, v. 56, pp. 321-329, 1980.

Aquino, A. C. B., Pagliarussi, M. S., Bitti, E.J. S., “Heuristic method for composing a literature review”. *R. Cont. Fin.* USP, São Paulo, v. 19, n. 47, pp. 73 – 88. Agosto, 2008.

Ayyub, B. M. *Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks*. CRC Press LLC.2001.

Bussab, W, O e Morettin, P. A. *Estatística básica*. Saraiva. São Paulo. 2003.

Calandrino, R., Cattaneo, G. M., Fiorino, *et al.*, “Detection of systematic errors in external radiotherapy before treatment delivery”. *Radiotherapy and Oncology*, v 45, pp 271-274, 1997.

CNEN. Disponível em www.cnen.gov.br/seguranca/cons-ent-prof/lst-entidades-aut-cert.asp?p_ent=rt. Acesso em 26 abril 2011, 15:31:57.

CNEN-NE-3.06, *Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia*, Comissão Nacional de Energia Nuclear Brasil, Março, 1990.

Cooke, R. (1991)- *Experts in Uncertainty: Opinion and subjective probability in science*. Oxford University Press. New York.

Cornell, M. E. P. “Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment”. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 54, 1996.

Diestel, R. *Graph Theory*. Springer-Verlag, 3^o ed. New York, 2005.

Forester, J.; Bley, D.; Cooper, S., *et al.* “Expert elicitation approach for performing ATHEANA quantification”. *Reliability Engineering & System Safety*. vol. 83, pp. 207-220, 2004.

Fullwood, R. R. *Probabilistic Safety Assessment in the Chemical and Nuclear Industries*, Boston, Butterworth Heinemann, 2000.

Hiroshi Y. and Keiji K., “Bayesian analysis of public views on the safety of nuclear developments”. *Nuclear Energy*, v. 25, n 10, pp. 709-720, 1998.

Hogarth RM. Cognitive process and the assessment of subjective probability distributions. *Journal of the American Statistical Association* 1975 ;70(350):271–94.

Hulsmans, M. and Gelder P. de, “Probabilistic analysis of accident precursors in the nuclear industry”, *Journal of Hazardous Materials*, v. 111, pp. 81-87, July, 2004.

IAEA: *Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in San Jose, Costa Rica*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1998.

IAEA: *Safety Reports Series n^o 17, Lessons Learned From Accidental Exposures In Radiotherapy*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, February, 2000.

ICRP Publication 86: *Prevention of Accidents to Patients Undergoing Radiation Therapy*. International Commission on Radiological Protection, v 30, n^o 3, December, 2000.

INCA, *Ações de enfermagem para o controle do câncer: uma proposta de integração ensino-serviço*, 3. ed. INCA, Instituto Nacional de Câncer. Rio de Janeiro, 2008.

Inoue, K. e Koizumi, A. “Application of human reliability analysis to nursing errors in hospitals”. *Risk Analysis*, v 24, n° 6, pp 1459 – 1473, 2004.

INSAG-10, *Defence in Depth in Nuclear Safety*, International Atomic Energy Agency: Wagramerstrasse, Vienna, Austria, June, 1996.

IPEN, Disponível em www.ipen.br/sitio/?idc=239. Acesso em: 26 abril 2011, 11:45:21.

Jensen, F. V. *An Introduction to Bayesian Networks*. London, University College London, UCL Press, 1996.

Jensen, F. V. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. New York, Springer, 2001.

Kahneman, D.; Slovic, P.; Tversky, A. *Judgment under uncertainty: heuristics and biases*. London: Cambridge University Press, 1982.

Kaplan, S., Garrick, B.J. and Bieniarz, P. “On the use of Baye’s theorem in assessing the frequency of anticipated transients”, *Nuclear Engineering and Design*, v. 65, pp. 23-31, 1981.

Kirwan, B. A. *Guide to Practical Human Reliability Assessment*, London, Taylor & Francis, 1994.

Leunes, G., Verstraete, J., Bogaert, W. V., Dam, J. V., Dutreix, A. and Schueren, E. V. “Human error in data transfer during the preparation and delivery of radiation treatment affecting the final result: ‘garbage in, garbage out’”. *Radiotherapy and Oncology*, v 23, 1992.

Lewis, E. E. *Introduction to Reliability Engineering*, 2 ed. London, John Wiley & Sons, Inc, 1996.

Martino, J. P. “Bayesian updates using precursor events”. *Technological Forecasting and Social Change* v.43. 1993.

Migon, H. S., Gamerman, D., *Statistical Inference: an Integrated Approach*, Arnold Publishers, Londres, 1999.

Mosleh, A. “Bayesian modeling of expert-to-expert variability and dependence in estimating rare event frequencies”. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 38, 1992.

Mosleh, A. and Apostolakis G. “The Assessment of Probability Distributions from Expert Opinions with an Application to Seismic Fragility Curves”. *Risk Analysis*. v. 6, n°4, 1986.

Mosleh, A., Apostolakis G., Bier V. M. “A critique of current practice for the use of expert opinions in probabilistic risk assessment”. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 20, 1988.

Mota, H.C., Almeida, C.E., Di Prinzio, R. Report of an accidental exposure of patients in radiation therapy. Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Nice, France, 1997.

Netto, P. O. B. *Teoria e Modelos de Grafos*. E. Blüncher. São Paulo. 1979.

NUREG – 1150, *Reactor Risk Reference Document*. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D. C, 1989.

NUREG/CR-6372, *Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts: Main Report*. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D. C, 1997.

Pearl, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. California, Morgan Kaufmann, 1988.

Programa de Qualidade em Radioterapia. Disponível em www.inca.gov.br/pqrt/.../tec.../PQRT_curso_atual_tec_rdtrp_p4.pdf. Acesso em: 08 fev. 2011, 20:34:32.

Ramírez, G., Botero, M., Jiménez, L. H., González, C. A., González, L. M. “Pasos a seguir para evitar accidentes con pacientes en las areas de radiologia como los recientemente reportados en países desarrollados en especial Estados Unidos”. *VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*, Octubre 2010.

Saheki, A. H. *Construção de uma rede Bayesiana aplicada ao diagnóstico de doenças cardíacas*. (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SCB, *Design your questions right – How to develop, test, evaluate and improve questionnaires*. Statistiska centralbyrån, Sweden, September, 2004.

Souza, C. N., Monti, C. R., Sibata C. H. “Recomendações para se evitar grandes erros de dose em tratamentos radioterapêuticos”. *Radiol Brás* v.34, n.1. São Paulo, 2001

Stamatis, D. H. *Failure Mode and Effect Analysis – FMEA from theory to execution*, ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin, 1995.

Swain & Guttman NUREG/CR-1278, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications Final Report*. U. S. Nuclear Regulatory Commission: Washington DC, August 1983.

Tauhata, L., Salati, I. P. A., Prinzio, R. D., Prinzio, A. R. D. *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*. 5 ed. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro Agosto, 2003.

TECDOC – 1048, *Collection And Classification Of Human Reliability Data For Use In Probabilistic Safety Assessments*, IAEA, International Atomic Energy Agency: Wagramerstrasse, Vienna, Austria, October, 1998.

TECDOC – 1267, *Procedures for conducting probabilistic safety assessment for non-reactor nuclear facilities*. IAEA, International Atomic Energy Agency: Wagramerstrasse, Vienna, Austria, January, 2002.

TECDOC – 538, *Human Error Classification And Data Collection*, IAEA, International Atomic Energy Agency: Wagramerstrasse, Vienna, Austria, February, 1989.

TECDOC-1048 – *Collection and classification of human reliability data for use in probabilistic safety assessments*. Final report of a co-ordinated research programme. 1995-1998 – IAEA. International Atomic Energy Agency. April 1998. Viena, Áustria.

TECDOC-1494 – *Case studies in the application of probabilistic safety assessment techniques to radiation sources*. Final report of a coordinated research project. 2001-2003 – IAEA. International Atomic Energy Agency. April 2006. Viena, Áustria.

Thomadsen, B. and Lin, S.-W. “Taxonometric guidance for developing quality assurance”. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, v 71, n 1, 2008.

Thomadsen, B., Lin, S.W., Laemmrich, P., Waller, T., Cheng, A., Caldwell, B., Rankin, R., and Stitt, J. “Analysis of treatment delivery error in brachytherapy using formal risk analysis techniques”. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, v 57, n 5, 2003.

Turoff, H., Linstone, H. A. *The Delphi Method*, Addison-Wesley Publishing, New York, 1975.

West, D. B., *Introduction to graph theory*. Indiana, U.S.A, Prentice Hall. NJ. 2001.

WHO, *Radiotherapy Risk Profile - Technical Manual*, World Health Organization: Switzerland, 2008.

Yeung, T. K., Bortolotto, K., Cosby, S., Hoar, M., Lederer, E. "Quality assurance in radiotherapy: evaluation of errors and incidents recorded over a 10 year period". *Radiotherapy and Oncology*, v 74, 2005.

APÊNDICE I

Questões sobre Teleterapia

Questões de Teleterapia		
Planejamento do tratamento		
Sistema de planejamento	1	Qual a probabilidade do comissionamento do sistema de planejamento ser feito de modo adequado?
	2	Qual a probabilidade das etapas do sistema de planejamento, incluindo a entrada de dados estarem corretas e adequadas?
	3	Qual a probabilidade do sistema de planejamento de tratamento estar adequado e correto tendo em vista os fatores abaixo: *Comissionamento adequado; *Etapas do sistema de planejamento corretas.
	4	Qual a probabilidade do sistema de planejamento de tratamento estar adequado e correto tendo em vista os fatores abaixo: *Comissionamento adequado; *ERRO nas etapas do sistema de planejamento.
	5	Qual a probabilidade do sistema de planejamento de tratamento estar adequado e correto tendo em vista os fatores abaixo: *Comissionamento NÃO adequado; *Etapas do sistema de planejamento corretas.
	6	Qual a probabilidade do sistema de planejamento de tratamento estar adequado e correto tendo em vista os fatores abaixo: *Comissionamento NÃO adequado; *ERRO nas etapas do sistema de planejamento.
Planejamento	7	Qual a probabilidade de serem corretos a escolha da técnica e o cálculo do tempo de tratamento?
	8	Qual a probabilidade do planejamento do tratamento ser adequado tendo em vista os fatores: *Escolha da técnica e cálculo do tempo corretos; *Sistema de planejamento adequado.
	9	Qual a probabilidade do planejamento do tratamento ser adequado tendo em vista os fatores: *Escolha da técnica e cálculo do tempo corretos; *Sistema de planejamento NÃO ser adequado.

Planejamento	10	Qual a probabilidade do planejamento do tratamento ser adequado tendo em vista os fatores: *Escolha da técnica e cálculo do tempo ERRADOS; *Sistema de planejamento adequado.
	11	Qual a probabilidade do planejamento do tratamento ser adequado tendo em vista os fatores: *Escolha da técnica e cálculo do tempo ERRADOS; *Sistema de planejamento NÃO ser adequado.
Prescrição do tratamento		
Transmissão de informações	12	Qual a probabilidade de existirem problemas pessoais na equipe de modo a afetar o trabalho?
	13	Qual a probabilidade de existir comunicação oral, pessoal ou por telefone, sem confirmação por escrito?
	14	Qual a probabilidade de as condições de trabalho serem boas, sem ruídos que causem distrações e perda de concentração?
	15	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *NÃO existência de problemas pessoais; *NÃO existência de comunicação oral ; *Existência de BOAS condições de trabalho.
	16	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *NÃO existência de problemas pessoais; *NÃO existência de comunicação oral ; *Existência de condições de trabalho RUINS.
	17	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *NÃO existência de problemas pessoais; *Existência de comunicação oral ; *Existência de BOAS condições de trabalho.

Transmissão de informações	18	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *NÃO existência de problemas pessoais; *Existência de comunicação oral ; *Existência de condições de trabalho RUINS.
	19	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *Existência de problemas pessoais; *NÃO existência de comunicação oral ; *Existência de BOAS condições de trabalho.
	20	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *Existência de problemas pessoais; *NÃO existência de comunicação oral; *Existência de condições de trabalho RUINS.
	21	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *Existência de problemas pessoais; *Existência de comunicação oral ; *Existência de BOAS condições de trabalho.
	22	Qual a probabilidade da transmissão de informações ser correta tendo em vista: *Existência de problemas pessoais; *Existência de comunicação oral ; *Existência de condições de trabalho RUINS.

Comunicação e transmissão das informações	23	Qual a probabilidade de a comunicação manuscrita ser clara e formal, não sendo confusa, ilegível ou contendo expressões informais ou jargão não entendido por todos?
	24	Qual a probabilidade de ocorrência de leitura correta das informações escritas, não havendo erros de leitura ou na transferência de informações?
	25	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura correta das informações; *Informações manuscritas de modo claro; *Transmissão correta das informações.
	26	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura correta das informações; *Informações manuscritas de modo claro; *Transmissão ERRADA das informações.
	27	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura correta das informações; *Informações manuscritas de modo CONFUSO; *Transmissão correta das informações.

Comunicação e transmissão das informações	28	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura correta das informações; *Informações manuscritas de modo CONFUSO; *Transmissão ERRADA das informações.
	29	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura ERRADA das informações; *Informações manuscritas de modo claro; *Transmissão correta das informações.
	30	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura ERRADA das informações; *Informações manuscritas de modo claro; *Transmissão ERRADA das informações.
	31	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura ERRADA das informações; *Informações manuscritas de modo CONFUSO; *Transmissão correta das informações.
	32	Qual a probabilidade de haver boa comunicação entre os profissionais envolvidos na fase de prescrição e execução do tratamento tendo em vista os seguintes fatores: *Leitura ERRADA das informações; *Informações manuscritas de modo CONFUSO; *Transmissão ERRADA das informações.

Prescrição	33	Qual a probabilidade de uso de imagens adequado, ou seja, não existência de erro no uso de imagens?
	34	Qual a probabilidade de a prescrição ser adequada tendo em vista os fatores: *Boa comunicação; *Uso correto de imagens.
	35	Qual a probabilidade de a prescrição ser adequada tendo em vista os fatores: *Boa comunicação; *Uso ERRADO de imagens.
	36	Qual a probabilidade de a prescrição ser adequada tendo em vista os fatores: *MÁ comunicação; *Uso correto de imagens.
	37	Qual a probabilidade de a prescrição ser adequada tendo em vista os fatores: *MÁ comunicação; *Uso ERRADO de imagens.
Execução do tratamento		
Uso adequado do equipamento	38	Qual a probabilidade de o treinamento para utilização do equipamento de teleterapia ser adequado à tarefa desempenhada?
	39	Qual a probabilidade de as instruções do fabricante do equipamento serem bem compreendidas, inclusive em língua estrangeira?
	40	Qual a probabilidade dos manuais do equipamento estarem em linguagem clara, simples e suas instruções serem completas?
	41	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento adequado; *Instruções compreendidas; *Manuais adequados.

Uso adequado do equipamento	42	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento adequado; *Instruções compreendidas; *Manuais NÃO adequados.
	43	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento adequado; *Instruções NÃO compreendidas; *Manuais adequados.
	44	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento adequado; *Instruções NÃO compreendidas; *Manuais NÃO adequados.
	45	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento NÃO adequado; *Instruções compreendidas; *Manuais adequados.
	46	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento NÃO adequado; *Instruções compreendidas; *Manuais NÃO adequados.

Uso adequado do equipamento	47	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento NÃO adequado; *Instruções NÃO compreendidas; *Manuais adequados.
	48	Qual a probabilidade do equipamento de Teleterapia ser usado de maneira adequada tendo em vista os seguintes fatores: *Treinamento NÃO adequado; *Instruções NÃO compreendidas; *Manuais NÃO adequados.
Funcionamento do equipamento	49	Qual a probabilidade de o comissionamento, ou aceitação, do equipamento de Teleterapia ser adequado?
	50	Qual a probabilidade de a calibração do equipamento de Teleterapia estar adequada?
	51	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento adequado; *Calibração correta; *Uso adequado.
	52	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento adequado; *Calibração correta; *Uso NÃO adequado.
	53	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento adequado; *Calibração NÃO correta; *Uso adequado.

Funcionamento do equipamento	54	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento adequado; *Calibração NÃO correta; *Uso NÃO adequado.
	55	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento NÃO adequado; *Calibração correta; *Uso adequado.
	56	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento NÃO adequado; *Calibração correta; *Uso NÃO adequado.
	57	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento NÃO adequado; *Calibração NÃO correta; *Uso adequado.
	58	Qual a probabilidade de o equipamento de Teleterapia funcionar corretamente tendo em vista os seguintes fatores: *Comissionamento NÃO adequado; *Calibração NÃO correta; *Uso NÃO adequado.
Paciente	59	Qual a probabilidade de a documentação do paciente estar adequada?
	60	Qual a probabilidade de a identificação do paciente ser adequada?
	61	Qual a probabilidade de todas as condições associadas ao paciente estarem adequadas tendo em vista os fatores: *Documentação adequada; *Identificação adequada.

Paciente	62	Qual a probabilidade de todas as condições associadas ao paciente estarem adequadas tendo em vista os fatores: *Documentação adequada; *Identificação NÃO adequada.
	63	Qual a probabilidade de todas as condições associadas ao paciente estarem adequadas tendo em vista os fatores: *Documentação NÃO adequada; *Identificação adequada.
	64	Qual a probabilidade de todas as condições associadas ao paciente estarem adequadas tendo em vista os fatores: *Documentação NÃO adequada; *Identificação NÃO adequada.
Execução do tratamento	65	Qual a probabilidade de a execução do tratamento ser correta observando-se os seguintes fatores: *Equipamento funcionando de modo adequado; *Paciente estar com documentação e identificação adequadas.
	66	Qual a probabilidade de a execução do tratamento ser correta observando-se os seguintes fatores: *Equipamento funcionando de modo adequado; *Paciente NÃO estar com documentação e identificação adequadas.
	67	Qual a probabilidade de a execução do tratamento ser correta observando-se os seguintes fatores: *Equipamento NÃO funcionar de modo adequado; *Paciente estar com documentação e identificação adequadas.
	68	Qual a probabilidade de a execução do tratamento ser correta observando-se os seguintes fatores: *Equipamento NÃO funcionar de modo adequado; *Paciente NÃO estar com documentação e identificação adequadas.

APÊNDICE II

Questões sobre Braquiterapia

Questões de Braquiterapia	
1	Qual a probabilidade da armazenagem estar correta, isto é, não haver falha na estocagem incluindo a verificação correta da identificação da fonte?
2	Qual a probabilidade de ser usada uma fonte corretamente selada?
3	Qual a probabilidade das fontes serem fixadas corretamente para a manutenção da posição no paciente (para não haver falhas por deslocamento da fonte do alvo)?
4	Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações: *Armazenagem adequada; *Fonte selada; *Fixação adequada.
5	Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações: *Armazenagem adequada; *Fonte selada; *Fixação NÃO adequada.
6	Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações: *Armazenagem adequada; *Fonte NÃO selada; *Fixação adequada.
7	Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações: *Armazenagem adequada; *Fonte NÃO selada; *Fixação NÃO adequada.
8	Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações: *Armazenagem NÃO adequada; *Fonte selada; *Fixação adequada.

9	<p>Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Armazenagem NÃO adequada; *Fonte selada; *Fixação NÃO adequada.
10	<p>Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Armazenagem NÃO adequada; *Fonte NÃO selada; *Fixação adequada.
11	<p>Qual a probabilidade do uso da fonte ser adequado considerando as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Armazenagem NÃO adequada; *Fonte NÃO selada; *Fixação NÃO adequada.
12	Qual a probabilidade do treinamento dos profissionais ser adequado?
13	<p>Qual a probabilidade do equipamento ser utilizado adequadamente tendo em vista que:</p> <ul style="list-style-type: none"> *O treinamento é adequado; *O uso da fonte é adequado.
14	<p>Qual a probabilidade do equipamento ser utilizado adequadamente tendo em vista que:</p> <ul style="list-style-type: none"> *O treinamento é adequado; *O uso da fonte NÃO é adequado.
15	<p>Qual a probabilidade do equipamento ser utilizado adequadamente tendo em vista que:</p> <ul style="list-style-type: none"> *O treinamento NÃO é adequado; *O uso da fonte é adequado.
16	<p>Qual a probabilidade do equipamento ser utilizado adequadamente tendo em vista que:</p> <ul style="list-style-type: none"> *O treinamento NÃO é adequado; *O uso da fonte NÃO é adequado.

17	Qual a probabilidade do planejamento da aplicação ser adequado, incluindo a atividade, a localização geométrica, a estimativa da taxa de dose e o tempo de tratamento?
18	Qual a probabilidade da comunicação entre os profissionais ser adequada?
19	Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros: *Bom planejamento; *Boa comunicação; *Uso adequado do equipamento.
20	Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros: *Bom planejamento; *Boa comunicação; *Uso NÃO adequado do equipamento.
21	Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros: *Bom planejamento; *MÁ comunicação; *Uso adequado do equipamento.
22	Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros: *Bom planejamento; *MÁ comunicação; *Uso NÃO adequado do equipamento.
23	Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros: *Planejamento RUIM; *Boa comunicação; *Uso adequado do equipamento.

24	<p>Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Planejamento RUIM; *Boa comunicação; <p>*Uso NÃO adequado do equipamento.</p>
25	<p>Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Planejamento RUIM; *MÁ comunicação; <p>*Uso adequado do equipamento.</p>
26	<p>Qual a probabilidade do tratamento ser adequado tendo em vista os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Planejamento RUIM; *MÁ comunicação; <p>*Uso NÃO adequado do equipamento.</p>

APÊNDICE III

Questionário preenchido sobre teleterapia

Questões de Teleterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
1	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,956643438	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
2	0,6	0,7	0,8	1,154700538	0,808290377	0,7	0,8	0,9	1,133893419	0,90711474
3	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,956643438	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
4	0,55	0,6	0,8	1,206045378	0,723627227	0,7	0,8	0,9	1,133893419	0,90711474
5	0,8	0,9	0,95	1,089724736	0,980752262	0,85	0,95	0,98	1,073750984	1,02006344
6	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,5	0,65	0,85	1,303840481	0,84749631
7	0,7	0,85	0,95	1,164964745	0,990220033	0,85	0,9	0,98	1,073750984	0,96637589
8	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,995353415	0,98	0,98	0,98	1	0,98
9	0,2	0,4	0,5	1,58113883	0,632455532	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
10	0,3	0,55	0,6	1,414213562	0,777817459	0,6	0,7	0,85	1,190238071	0,83316665
11	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,4	0,5	0,7	1,322875656	0,66143783
12	0,9	0,7	0,6	0,816496581	0,571547607	0,6	0,4	0,2	0,577350269	0,23094011
13	0,4	0,65	0,8	1,414213562	0,919238816	0,6	0,5	0,2	0,577350269	0,28867513
14	0,2	0,65	0,7	1,870828693	1,216038651	0,68	0,7	0,8	1,084652289	0,7592566

Questões de Teleterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3										
	Probabilidades										
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>					
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	
15	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,022628422	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342	
16	0,4	0,5	0,7	1,322875656	0,661437828	0,5	0,7	0,8	1,264911064	0,88543774	
17	0,5	0,7	0,85	1,303840481	0,912688337	0,85	0,9	0,95	1,05718828	0,95146945	
18	0,3	0,4	0,6	1,414213562	0,565685425	0,5	0,6	0,8	1,264911064	0,75894664	
19	0,6	0,7	0,85	1,190238071	0,83316665	0,75	0,85	0,9	1,095445115	0,93112835	
20	0,2	0,35	0,45	1,5	0,525	0,5	0,6	0,75	1,224744871	0,73484692	
21	0,45	0,55	0,7	1,247219129	0,685970521	0,7	0,75	0,85	1,10194633	0,82645975	
22	1E-07	0,05	0,1	1000	50	0,2	0,5	0,6	1,732050808	0,8660254	
23	0,7	0,8	0,95	1,164964745	0,931971796	0,8	0,9	0,98	1,106797181	0,99611746	
24	0,75	0,82	0,95	1,125462868	0,922879552	0,8	0,9	0,98	1,106797181	0,99611746	
25	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,995353415	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342	
26	0,4	0,55	0,65	1,274754878	0,701115183	0,7	0,8	0,9	1,133893419	0,90711474	
27	0,65	0,7	0,85	1,14354375	0,800480625	0,85	0,9	0,95	1,05718828	0,95146945	

Questões de Teleterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
28	0,3	0,4	0,55	1,354006401	0,54160256	0,7	0,8	0,9	1,133893419	0,90711474
29	0,35	0,45	0,55	1,253566341	0,564104853	0,7	0,75	0,85	1,10194633	0,82645975
30	0,05	0,15	0,25	2,236067977	0,335410197	0,6	0,7	0,85	1,190238071	0,83316665
31	0,05	0,15	0,25	2,236067977	0,335410197	0,6	0,7	0,85	1,190238071	0,83316665
32	1E-07	1E-07	0,05	707,1067812	7,07107E-05	0,3	0,5	0,6	1,414213562	0,70710678
33	0,8	0,85	0,95	1,089724736	0,926266026	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
34	0,85	0,95	0,98	1,073750984	1,020063435	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,02262842
35	1E-07	0,05	0,1	1000	50	0,7	0,8	0,9	1,133893419	0,90711474
36	0,65	0,7	0,85	1,14354375	0,800480625	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
37	1E-07	0,03	0,06	774,5966692	23,23790008	0,8	0,9	0,95	1,089724736	0,98075226
38	0,5	0,65	0,85	1,303840481	0,847496313	0,75	0,85	0,98	1,143095213	0,97163093
39	0,2	0,5	0,6	1,732050808	0,866025404	0,6	0,7	0,8	1,154700538	0,80829038
40	0,5	0,7	0,9	1,341640786	0,939148551	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,95664344

Questões de Teleterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
41	0,85	0,9	0,95	1,05718828	0,951469452	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
42	0,75	0,85	0,9	1,095445115	0,931128348	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
43	0,3	0,45	0,55	1,354006401	0,60930288	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,95664344
44	0,25	0,35	0,45	1,341640786	0,469574275	0,75	0,8	0,9	1,095445115	0,87635609
45	1E-07	0,15	0,25	1581,13883	237,1708245	0,5	0,6	0,85	1,303840481	0,78230429
46	1E-07	0,05	0,2	1414,213562	70,71067812	0,4	0,5	0,75	1,369306394	0,6846532
47	1E-07	0,02	0,05	707,1067812	14,14213562	0,35	0,45	0,7	1,414213562	0,6363961
48	1E-07	1E-07	0,02	447,2135955	4,47214E-05	0,35	0,5	0,6	1,309307341	0,65465367
49	0,8	0,85	0,98	1,106797181	0,940777604	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
50	0,8	0,85	0,98	1,106797181	0,940777604	0,98	0,98	0,98	1	0,98
51	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,995353415	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
52	0,2	0,15	0,25	1,118033989	0,167705098	0,5	0,65	0,85	1,303840481	0,84749631
53	0,15	0,5	0,6	2	1	0,7	0,8	0,95	1,164964745	0,9319718

Questões de Teleterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
54	1E-07	0,02	0,1	1000	20	0,65	0,7	0,9	1,176696811	0,82368777
55	1E-07	1E-07	0,05	707,1067812	7,07107E-05	0,55	0,6	0,9	1,279204298	0,76752258
56	1E-07	1E-07	0,05	707,1067812	7,07107E-05	0,55	0,6	0,9	1,279204298	0,76752258
57	1E-07	1E-07	0,05	707,1067812	7,07107E-05	0,55	0,6	0,9	1,279204298	0,76752258
58	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,5	0,55	0,85	1,303840481	0,71711226
59	0,7	0,8	0,98	1,183215957	0,946572765	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,02262842
60	0,75	0,85	0,98	1,143095213	0,971630931	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
61	0,75	0,85	0,98	1,143095213	0,971630931	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
62	0,3	0,6	0,7	1,527525232	0,916515139	0,8	0,85	0,95	1,089724736	0,92626603
63	0,6	0,7	0,8	1,154700538	0,808290377	0,85	0,9	0,98	1,073750984	0,96637589
64	1E-07	0,15	0,25	1581,13883	237,1708245	0,85	0,9	0,95	1,05718828	0,95146945

Questões de Teleterapia										
NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
65	0,85	0,95	0,98	1,073750984	1,020063435	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,02262842
66	0,55	0,65	0,85	1,243163121	0,808056029	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
67	1E-07	0,1	0,15	1224,744871	122,4744871	0,2	0,5	0,9	2,121320344	1,06066017
68	1E-07	1E-07	0,02	447,2135955	4,47214E-05	0,35	0,4	0,75	1,463850109	0,58554004

APÊNDICE IV

Questionário preenchido sobre braquiterapia

Questões de Braquiterapia										
NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
1	0,8	0,9	0,98	1,106797181	0,996117463	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,02262842
2	0,8	0,9	0,98	1,106797181	0,996117463	0,9	0,98	0,98	1,043498389	1,02262842
3	0,8	0,85	0,95	1,089724736	0,926266026	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
4	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347	0,85	0,98	0,98	1,073750984	1,05227596
5	0,2	0,5	0,7	1,870828693	0,935414347	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,95664344
6	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
7	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,7	0,8	0,85	1,10194633	0,88155706
8	0,5	0,7	0,85	1,303840481	0,912688337	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
9	0,35	0,45	0,65	1,362770288	0,613246629	0,8	0,85	0,95	1,089724736	0,92626603
10	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,8	0,85	0,95	1,089724736	0,92626603
11	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,55	0,7	0,8	1,206045378	0,84423176
12	0,5	0,7	0,9	1,341640786	0,939148551	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,95664344
13	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342

Questões de Braquiterapia

NÚMERO DA QUESTÃO	M3									
	Probabilidades									
	<i>A Priori</i>					<i>A Posteriori</i>				
	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*	Percentil 5%	Mediana (50%)	Percentil 95%	FATOR DE ERRO	X*
14	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,8	0,95	0,98	1,106797181	1,05145732
15	0,2	0,4	0,6	1,732050808	0,692820323	0,75	0,85	0,95	1,125462868	0,95664344
16	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,65	0,75	0,85	1,14354375	0,85765781
17	0,5	0,85	0,9	1,341640786	1,140394669	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
18	0,8	0,85	0,98	1,106797181	0,940777604	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
19	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347	0,95	0,98	0,98	1,01566675	0,99535342
20	1E-07	0,15	0,35	1870,828693	280,624304	0,7	0,8	0,95	1,164964745	0,9319718
21	0,6	0,7	0,85	1,190238071	0,83316665	0,9	0,95	0,98	1,043498389	0,99132347
22	1E-07	0,1	0,2	1414,213562	141,4213562	0,5	0,6	0,85	1,303840481	0,78230429
23	1E-07	0,15	0,25	1581,13883	237,1708245	0,4	0,5	0,8	1,414213562	0,70710678
24	1E-07	1E-07	0,05	707,1067812	7,07107E-05	0,3	0,4	0,5	1,290994449	0,51639778
25	1E-07	0,1	0,15	1224,744871	122,4744871	0,35	0,45	0,75	1,463850109	0,65873255
26	1E-07	1E-07	1E-07	1	0,0000001	0,2	0,3	0,4	1,414213562	0,42426407

APÊNDICE V

Valores agrupados das estimativas fornecidas pelos especialistas referentes
à teleterapia

Número da questão	Valores agrupados	
	X_{AC}^{priori}	$X_{AC}^{posteriori}$
1	0,86374431	0,965206325
2	0,843407551	0,995540777
3	0,794164028	0,985724
4	0,679555174	0,789476676
5	0,167073424	0,774129065
6	0,009949776	0,381987466
7	0,877788778	0,979662
8	0,934399125	0,918041
9	0,70044585	0,821206542
10	0,080350217	0,703441507
11	0,015069177	0,315353952
12	0,404828528	0,3494691
13	0,037848158	0,034625628
14	0,262276631	0,356313134
15	0,768830496	0,80995836
16	0,497540907	0,646038976
17	0,634679687	0,688916946
18	0,567517658	0,657026599
19	0,53443717	0,608262882
20	0,214381106	0,847470692
21	0,577517878	0,676239887
22	0,656119394	0,613348438
23	0,814117307	0,85366836
24	0,934229587	0,984453198
25	0,687116378	0,757684391
26	0,792348	0,898081388
27	0,78098079	0,934242453
28	0,954514	0,792490969
29	0,760667073	0,829769807

Número da questão	Valores agrupados	
	X_{AC}^{priori}	$X_{AC}^{posteriori}$
30	0,276039397	0,647503707
31	0,157319239	0,752867417
32	0,146474654	0,533694008
33	0,492550567	0,557083485
34	0,5469169	0,596540729
35	0,730184	0,837200837
36	0,733836026	0,891622242
37	0,610145471	0,819302
38	0,525487972	0,679163472
39	0,513240266	0,581398002
40	0,673270572	0,782177804
41	0,822467331	0,884566646
42	0,620214837	0,653211212
43	0,575531615	0,631212295
44	0,47849206	0,548567836
45	0,801379293	0,586677864
46	0,664427457	0,556038191
47	0,413299384	0,825682341
48	0,465166681	0,972218
49	0,69134223	0,787979292
50	0,712010754	0,77712068
51	0,791028847	0,909878609
52	0,970236	0,898579687
53	0,739251	0,629965
54	0,065785153	0,682471082
55	0,217022114	0,378769149
56	0,011878719	0,377307618
57	0,021744249	0,364218467
58	0,004161443	0,06274786

Número da questão	Valores agrupados	
	X_{AC}^{priori}	$X_{AC}^{posteriori}$
59	0,576608903	0,716976076
60	0,607498548	0,736255188
61	0,489340718	0,766668866
62	0,364235837	0,311528728
63	0,622986261	0,606979437
64	0,175769995	0,062243889
65	0,699943051	0,748573517
66	0,41126322	0,51510493
67	0,35252629	0,559840207
68	0,010562574	0,101793684

APÊNDICE VI

Valores agrupados das estimativas fornecidas pelos especialistas referentes
à braquiterapia

Número da questão	Valores agrupados	
	X_{AC}^{priori}	$X_{AC}^{posteriori}$
1	0,962328548	0,936795
2	0,81543	0,854752
3	0,971791449	0,999801
4	0,717816	0,903664
5	0,754629104	0,808902289
6	0,023860674	0,161527384
7	0,018527385	0,154120653
8	0,998591978	0,743039
9	0,990379	0,819549
10	0,050185796	0,309884634
11	0,013098323	0,040826366
12	0,812604623	0,950663388
13	0,883306	0,965463
14	0,470601731	0,833513
15	0,689361	0,901845929
16	0,03402091	0,037843999
17	0,963324	0,884215
18	0,916175796	0,985348988
19	0,920994107	0,916674
20	2,294237204	0,997318
21	0,861502207	0,986447
22	0,75481	0,794553689
23	0,538678269	0,901114648
24	0,192583865	0,715572155
25	0,931304	0,732184574
26	0,007943433	0,198060758