



**UNIVERSIDADE ESTADUAL “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS BOTUCATU**

***RADIOTERAPIA EM CÂNCER DE MAMA – IMPORTÂNCIA DA
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ISODOSE***

BRUNA TEIGA RODRIGUES

Monografia apresentada ao Instituto de
Biotecnologia, Universidade Estadual “Júlio de
Mesquita Filho” – UNESP, Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Bacharel
em Física Médica

BOTUCATU - 2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS BOTUCATU**

***RADIOTERAPIA EM CÂNCER DE MAMA – IMPORTÂNCIA DA
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ISODOSE***

BRUNA TEIGA RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Dermatologia e Radioterapia

BOTUCATU – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

TERMO DE APROVAÇÃO

BRUNA TEIGA RODRIGUES

RADIOTERAPIA EM CÂNCER DE MAMA – IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ISODOSE

Relatório final aprovado como requisito para obtenção de créditos na disciplina Estágio Curricular do curso de graduação em Física Médica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, pelos seguintes examinadores:

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Dermatologia e Radioterapia.

Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa
Departamento de Física e Biofísica.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Cristina e Adércio, que me deram a oportunidade de cursar a faculdade, sempre estiveram ao meu lado nas minhas escolhas e pelo carinho e apoio que me deram durante este período.

A minha irmã, Bianca e ao meu primo Victor, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Ao meu avô, *in memoriam*, e a minha avó, que sempre acreditaram em mim, sempre me apoiaram e me ajudaram a crescer e me tornar o que sou hoje.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes, pela grande oportunidade de estágio, paciência, dedicação, incentivo e conselhos que me ofereceu.

Ao professor Dr. Vladimir Eliodoro Costa, pelos conselhos, amizade e ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo fim de mais esta etapa e começo de uma nova caminhada e por sempre iluminar o meu caminho.

A todos os alunos da VI Turma de Física Médica da UNESP de Botucatu.

Aos meus amigos de sala pela convivência diária Maysa Costa, Lucas Recco, Anderson Sorgati, Renato Medeiros, Murilo Gaio, Guilherme Bulgraen, Tamara Adib e Micaela Gisoldi, pela amizade, paciência, grupos de estudo, companheirismo e auxílio dedicados a minha pessoa durante este tempo.

As amigas-irmãs da República TPM que sempre estiveram ao meu lado sempre me incentivando e me mostrando que eu era capaz de ir muito além, e por todos os momentos felizes que passamos juntas com muitas conversas acompanhadas de muitas risadas.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão deste trabalho.

“A vida é um grande espetáculo. Só não consegue homenageá-la quem nunca penetrou dentro de seu próprio ser e percebeu como é fantástica a construção da sua inteligência.” *(Augusto Cury)*

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: *ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE*

Teiga, Bruna Rodrigues.

Radioterapia em câncer de mama : importância da determinação da curva de isodose / Bruna Teiga Rodrigues. – Botucatu : [s.n.], 2012

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Marco Antônio Rodrigues Fernandes

Capes: 10504001

1. Câncer - Radioterapia. 2. Mamas - Câncer. 3. Câncer – Tratamento. 4.
Mamas – Efeito da radiação. 5. Radiação – Dosimetria.

Palavras-chave: Câncer; Câncer de mama; Técnicas de tratamento; Curva de Isodose.

RESUMO

O trabalho analisou contornos da região torácica de pacientes submetidas à radioterapia de tumores de mama no Hospital Manoel de Abreu de Bauru (instituição 1) e no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (instituição 2). Foram elaboradas as curvas de isodose correspondentes aos contornos do paciente, as quais foram apresentadas para médicos radioterapeutas de ambos os serviços hospitalares que viabilizaram a escolha da curva isodósica que proporciona a melhor distribuição da dose de radiação no volume irradiado. Alguns contornos foram digitalizados na instituição 1 e enviados para elaboração das linhas de isodose na instituição 2, ambas as curvas plotadas, em cada uma das instituições e para um mesmo contorno, foram comparadas, mostrando que a metodologia de elaboração das curvas a distância é exequível e confiável, além de otimizar a rotina dos procedimentos quanto o manuseio de planos de isodose fornecidos por diferentes equipamentos de radiação. A pesquisa compara o cálculo do tempo de exposição determinado com o uso da curva de isodose escolhida com o cálculo obtidos considerando o valor da PDP no ponto da linha média da separação entre os campos internos e externos, a diferença entre ambos os métodos de determinação do tempo de exposição ficou em torno de 2,4%. Um estudo referente à angulação do feixe de radiação na entrada do campo (região mama-ar) foi realizado mostrando que, uma vez conhecido um ângulo de tangencia do feixe de entrada, pode-se estimar a angulação do filtro em cunha utilizado em alguns procedimentos para uniformização da dose no interior do volume irradiado e compensação da falta de tecido no volume de tratamento. Um estudo comparativo entre as curvas de isodose elaboradas manualmente com as curvas obtidas em um sistema computacional bi dimensional, mostrou que o sistema computacional fornece maiores informações quanto a gradiente de dose no interior do volume irradiado, além em reduzir o tempo gasto na elaboração das curvas de isodose.

Palavras Chaves: Câncer, Câncer de Mama, Técnicas de Tratamento, Curva de Isodose.

ABSTRACT

The study analyzed contours of the thoracic region of patients undergoing radiotherapy of breast tumors in Hospital Manuel de Abreu of Bauru (institution 1) and the Hospital da Faculdade de Medicina of Botucatu (Institution 2). Were prepared isodose curves corresponding to the contours of the patient, which were presented for radiotherapists doctors both hospital services that enabled the choice of the curve isodose that provides the best distribution of radiation dose in the irradiated volume. Some boundaries were digitized in one institution and sent for preparation of isodose lines in the institution 2, both curves plotted in each of the institutions and for the same contour, were compared, showing that the methodology of Curves of distance is feasible and reliable, while optimizing the routine procedures regarding the handling of isodose plans provided by different radiation equipment. It compares the calculation of the exposure time determined using the isodose curve selected by calculating the value obtained considering the PDP at the point of the middle line of separation between the internal and external fields, the difference between the two methods for determining exposure time was around 2.4%. A study on the angle of the radiation beam at the input field (region breast-air) was conducted showing that, once known a tangent angle of the input beam, one can estimate the angle of the wedge filter used in some procedures for uniformity of dose within the irradiated volume compensation and the lack of tissue in the treatment volume. A comparative study between the isodose curves produced manually with the curves obtained in a two-dimensional computer system, the computer system showed that provides further information regarding the dose gradient within the irradiated volume, in addition to reducing the time spent in preparing the curves isodose.

Key Words: Cancer, Breast Cancer, Treatment Techniques, Curves Isodose.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12.
2. RADIOTERAPIA.....	14
3. RADIOTERAPIA E O CÂNCER DE MAMA.....	16
4. CURVAS DE ISODOSE.....	18
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
7. CONCLUSÃO.....	27
8. BIBLIOGRAFIA.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Paciente posicionado no Acelerador Linear

Figura 2. Cartas de isodose para feixes de raios-X produzidos em acelerador linear de 6 MeV para diferentes tamanhos de campo e a mesma distancia foco-superfície.

Figura 3. Cartas de isodoses, com correção, em (a), com a presença de um pulmão, menos denso que a água;

Figura 4. Carta de Isodose

1 INTRODUÇÃO

Os experimentos de Wilhem Conrad Roentgen, professor de uma universidade alemã, com os raios catódicos, levaram-no à descoberta dos raios-X em 1885. A idéia de aplicar radiações ionizantes, tanto na medicina diagnóstica quanto no tratamento do câncer, foi quase imediata.

No mesmo ano, o próprio Roëntgen tirou a primeira radiografia de seres humanos e, no ano seguinte, uma paciente portadora de um carcinoma de mama foi tratada com radiação ionizante. O uso de radiações ionizantes mostrou-se um bom aliado tanto no tratamento quanto na cura do câncer.

Publicações do Instituto Nacional de Câncer - INCA indicam o câncer é responsável por mais de seis milhões de óbitos a cada ano, representando cerca de 12% de todas as causas de morte no mundo. Nas últimas décadas têm ocorrido em todo o mundo, significativo aumento da incidência do câncer de mama e conseqüentemente da mortalidade associada à neoplasia. Ao que tudo indica, o câncer de mama é o resultado da interação de fatores genéticos com estilo de vida, hábitos reprodutivos e meio ambiente. (JOHNSON-THOMPSON, 2000)

Fato que mostra a necessidade premente de recursos cada vez mais eficazes para o tratamento desse tipo de doença. A radioterapia isolada ou em conjunto com a cirurgia, ou ainda a quimioterapia, tem se mostrado um tratamento bastante eficaz, tanto no controle quanto na cura de grande parte dos diferentes tipos de câncer. A radioterapia tem como objetivo principal irradiar o volume tumoral com uma dose suficiente para eliminar o tumor, ou seja, a cura do paciente, ou ainda, diminuir o volume do tumor no denominado tratamento paliativo. Como a radiação é potencialmente danosa a todos os tecidos, todo o tratamento deve ser efetuado procurando-se evitar o máximo de danos ocasionados aos tecidos sadios que, possam ser atingidos.

As células no organismo se reproduzem por divisão em um processo ordenada e controladamente. Quando essa capacidade de limitar e comandar seu próprio crescimento são perdidos a célula passa a se dividir e se multiplicar aleatoriamente. Esse crescimento desordenado é o chamado Câncer. Essas células invadem os tecidos e órgãos (metástase), podendo espalhar-se, por metástase para outras regiões. Tendendo então a ser muito agressivas e incontroláveis, determinando a formação de tumores ou neoplasias malignas. No entanto, há os tumores benignos que significa simplesmente uma massa localizada de células

que se multiplicam vagarosamente e se assemelham ao seu tecido original, raramente gerando riscos. (JOHNSON-THOMPSON, 2000)

A célula tumoral como qualquer célula requer nitrogênio e outros nutrientes para mitose celular. No estágio inicial da doença, os pacientes perdem peso sem qualquer redução intencional no consumo energético diário. A medida que a doença progride, muitos pacientes demonstram anorexia, que combinada com os processos hipermetabólicos das células tumorais, leva a uma grave perda de peso, desnutrição e finalmente a coquexia cancerosa e a morte (TURKKI, 1988).

Existem diversos tipos de câncer, o que os diferem são os tipos de células do corpo que atingem como: Câncer de pulmão, boca e de faringe, esôfago, colo de útero, estômago, mama, cólon e reto, próstata, leucemia, anal, bexiga, fígado, laringe, linfoma de Hodgkin, linfoma de não – Hodgkin, ovário, pâncreas, pele, pênis, testículo e tumores de Ewing. Outras características que diferenciam os diversos tipos de câncer entre si são a velocidade de multiplicação das células e a capacidade de invadir tecidos e órgãos vizinhos ou distantes.

Qualquer um dos métodos de tratamento pode ser aplicado; cirurgia, radiação e quimioterapia. Por exemplo, em certo momento a massa tumoral pode ser removida cirurgicamente, a radiação e a quimioterapia podem fazer parte do tratamento. Mesmo nos períodos de pré e pós-operatório, a fim de atender a desnutrição de células cancerosas. Quando a cirurgia não for possível, somente a radiação ou quimioterapia serão usadas. Dependendo da localização da massa de células tumorais, cada tipo de modalidade de terapia pode apresentar inúmeros problemas nutricionais.

O câncer de mama é o mais frequente no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), é uma das principais causas de morte em mulheres, em cada 8 a 10 mulheres, uma desenvolverá a doença no decorrer da vida. No Brasil é o que mais causa mortes entre as mulheres, muito provavelmente porque a doença ainda é diagnosticada em estágios avançados. Na população mundial, a sobrevida média após cinco anos é de 61%.

Todos os cânceres de mama têm origem genética. Acredita-se que 90%-95% deles sejam esporádicos (não-familiares) e decorram de mutações somáticas que se verificam durante a vida, e que 5%-10% sejam hereditários (familiares) devido à herança de uma mutação germinativa ao nascimento, que confere a estas mulheres suscetibilidade ao câncer de mama. (BILMORIA, 1995)

Seus sintomas muitas vezes são silenciosos, pois o câncer de mama não dói, porém é possível identificá-lo através de nódulos ou alterações na mama, apesar de toda informação

veiculada, algumas mulheres acreditam em muitas crenças populares, comprometendo dessa forma um diagnóstico precoce, dificultando e retardando o tratamento.

Esse tipo de câncer é relativamente raro antes dos 35 anos, no entanto, acima desta faixa etária sua incidência cresce rápida e progressivamente. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), nas décadas de 60 e 70 registrou-se um aumento de 10 vezes nas taxas de incidência ajustadas por idade nos Registros de Câncer de Base Populacional de diversos continentes.

A prevenção do câncer de mama tem aumentado muito com as consultas preventivas e também com aparelhos cada vez mais sofisticados que possibilita um diagnóstico precoce, pois quanto antes se diagnosticar, maior são as chances de cura. O especialista em câncer de mama é a pessoa mais indicada para realizar os tratamentos que serão escolhidos dependendo do tipo de tumor e do estágio do desenvolvimento.

O trabalho teve como objetivo apresentar a relação entre a técnica manual e a bidimensional no desenvolver das curvas de isodose ideal para o tratamento no câncer de mama.

Diferenças no volume coberto pela curva de isodose ocorrem na irradiação da mama utilizando técnica bidimensional (2D) e conformacional-tridimensional (3D) no tratamento do câncer da mama.

2. RADIOTERAPIA

A radioterapia é uma prática bastante empregada em vários tipos de câncer, inclusive no câncer de mama. Seu objetivo é destruir células tumorais com feixe de radiação ionizante. Uma dose pré-calculada de radiação é aplicada, em um determinado tempo, a um volume de tecido que engloba todo o tumor, buscando erradicar as células tumorais, evitando danos maiores às células normais contíguas. Ela pode ter fim curativo, remissivo, profilático, paliativo e ablativo. Proporcionando uma melhora na qualidade de vida e um aumento da sobrevida, a um custo razoável.

Estas técnicas constituem a radioterapia clínica e se prestam para tratamento de lesões superficiais, semiprofundas ou profundas, dependendo da qualidade da radiação gerada pelo equipamento.

A braquiterapia é o tratamento feito através de isótopos radioativos (cobalto, céσιο, irídio etc.) ou sais de rádio são utilizados sob a forma de tubos, agulhas, fios, sementes ou

placas e geram radiações, habitualmente radiação gama, de diferentes energias, dependendo do elemento radioativo empregado. São aplicados, na maior parte das vezes, de forma intersticial ou intracavitária, constituindo-se na radioterapia cirúrgica. O uso de fontes de radiação com distâncias grandes com relação ao paciente, quando comparadas com a braquiterapia, é conhecido como teleterapia. Os equipamentos utilizados em teleterapia operam com energias maiores que 1 MV, sendo classificados na literatura como equipamentos de megavoltagem, que a partir de fontes de isótopo radioativo, como pastilhas de cobalto geram raios gama. Esses aparelhos são usados como fontes externas, mantendo distâncias da pele que variam de 1 centímetro a 1 metro.

No Brasil, existem vários serviços de radioterapia e segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) foram catalogados, em 2011, 227 serviços de radioterapia que totalizam 215 equipamentos para teleterapia, sendo que 113 são equipamentos de telecobaltoterapia e 102 são aceleradores lineares. Recentemente, a aquisição de novos aceleradores lineares pelos serviços de radioterapia brasileiros tem aumentado, visando a re-equipamentação desta atividade no Brasil.

As radiações ionizantes são corpusculares ou eletromagnéticas e carregam energia. Interagirem com os tecidos e dão origem a elétrons rápidos que ionizam o meio e criam efeitos químicos como a hidrólise da água. A morte celular pode ocorrer então por variados mecanismos, desde a inativação de sistemas vitais para a célula até sua incapacidade de reprodução. Sua velocidade de regressão tumoral é variável com a sensibilidade do tumor à radiação, sua localização, origem celular e oxigenação, a qualidade, a quantidade da radiação e o tempo total em que ela é administrada.

Para que o efeito biológico atinja maior número de células neoplásicas e a tolerância dos tecidos normais seja respeitada, a dose total de radiação a ser administrada é habitualmente fracionada em doses diárias iguais, quando se usa a terapia externa.

A maioria dos tumores radiosensíveis são radiocuráveis. Entretanto, alguns se disseminam independentemente do controle local; outros apresentam sensibilidade tão próxima à dos tecidos normais, que esta impede a aplicação da dose de erradicação. A curabilidade local só é atingida quando a dose de radiação aplicada é letal para todas as células tumorais, mas não ultrapassa a tolerância dos tecidos normais.

Os efeitos das radiações são bem tolerados, desde que sejam respeitados os princípios de dose total de tratamento e a aplicação fracionada. No entanto, existem efeitos; os imediatos e os tardios.

Os efeitos imediatos são observados nos tecidos que apresentam maior capacidade

proliferativa, como as gônadas, a epiderme, as mucosas dos tratos digestivo, urinário e genital, e a medula óssea. Eles ocorrem somente se estes tecidos estiverem incluídos no campo de irradiação e podem ser potencializados pela administração simultânea de quimioterápicos. Manifestam-se clinicamente por anovulação ou azoospermia, epitelites, mucosites e mielodepressão (leucopenia e plaquetopenia) e devem ser tratados sintomaticamente, pois geralmente são bem tolerados e reversíveis. Já os tardios são raros e ocorrem quando as doses de tolerância dos tecidos normais são ultrapassadas, manifestam-se por atrofias e fibroses. Esse efeitos podem atingir qualquer tecido.

As unidades internacionalmente utilizadas para medir as quantidades de radiação são o Röentgen e o Gray. Röentgen (R) é a unidade que mede o número de ionizações desencadeadas no ar ambiental pela passagem de certa quantidade de radiação. Já o Gray expressa a dose de radiação absorvida por qualquer material ou tecido humano. Um Gray (Gy) corresponde a 100 centigrays (cGy).

3. RADIOTERAPIA E O CÂNCER DE MAMA

Após cirurgia conservadora, deve-se irradiar toda a mama das pacientes submetidas a esse tipo de cirurgia, independente do tipo histológico, idade, uso de quimioterapia e/ou hormonioterapia e mesmo com margens cirúrgicas livres de comprometimento neoplásico (FISHER, ANDERSON, REDMOND, 1995)

O reforço da dose na área tumoral (“boost”) está indicado nas pacientes com menos de 50 anos, com mais de 25% de carcinoma ductal *in situ* na peça cirúrgica, na presença de margens exíguas (menor que 1 cm), comprometidas ou desconhecidas e em tumores com alta agressividade local (HAMMER, VAN LIMBERGEN, 2001)

Com relação aos carcinomas ductais *in situ*, se a opção for cirurgia conservadora, as pacientes devem ser submetidas à radioterapia pós-operatória em toda a mama. Na indicação do “boost”, levar em conta o tamanho do tumor, grau nuclear, presença de comedonecrose e margens (menores do que 1 cm) (FISHER, COSTANTINO, REDMOND, 1993)

O papel da radioterapia pós-mastectomias tem sido controverso, mas algumas publicações randomizadas recomendam esta indicação (OVERGAARD, HANSEN, OVERGAARD, 1997) (RAGAZ, JACKSON, LE, 1997)

No encontro de St. Gallen, (Suíça), foram definidos fatores considerados consensuais, bastando somente a presença de um deles para a indicação de radioterapia pós-mastectomia

(SWITZERLAND, 2001). Foram eles:

- Tumores maiores ou iguais a 5 cm (somar com biópsia prévia);
- Pele comprometida;
- Grau III;
- Dissecção axilar inadequada (menos do que 10 linfonodos);
- Invasão extra-capsular linfonodal (mesmo em um único linfonodo);
- Margem comprometida (menor que 1cm);
- Quatro ou mais linfonodos comprometidos.

A eficácia da radioterapia depende de vários fatores, dentre eles o perfeito planejamento dos campos de radiação determinados durante a etapa inicial do processo, chamada de simulação de tratamento. Nesta etapa, o físico e o médico radioterapeuta, usando imagens e escopias por raios-x localizam e delimitam os campos de radiação.

Em sua primeira visita ao departamento de radioterapia, o paciente é submetido à exames de tomografia computadorizada (TC) na região anatômica a ser tratada. No exame de TC é realizada uma sequência de cortes axiais que serão reconstruídos para obtenção de uma imagem tridimensional do domínio. Ao mesmo tempo serão feitas medidas necessárias para o planejamento do tratamento. Esta sessão geralmente tem duração de 45 a 60 minutos.

Em alguns casos e conforme a disponibilidade do serviço de radiodiagnóstico, pode-se realizar imagens de ressonância magnética que auxiliam as interpretações clínicas juntamente com outros exames complementares. Todas as informações obtidas nas imagens anatômicas e demais dados clínicos do paciente são processados em computadores específicos para a execução do planejamento do tratamento.

Uma vez definido o planejamento radioterápico, os campos de radiação são marcados na pele do paciente para que possam ser reproduzidos diariamente na execução dos procedimentos realizados pelo técnico de radioterapia. Em tumores de cabeça e pescoço, os campos de radiação são demarcados em uma máscara termoplástica que é moldada na face do paciente, cada paciente possui sua própria máscara. Durante todo o período de tratamento, é de suma importância a reprodutibilidade dos campos de radiação, com a devida imobilização da região irradiada.

No início de cada sessão de radioterapia, o técnico em radioterapia irá fazer o posicionamento do paciente cuidadosamente na mesa de tratamento e verificar se as

demarcações dos campos de radiação estão corretas, conferindo com a luz de campo. Neste momento é importante que o paciente esteja bem confortável.

Durante a aplicação do feixe de radiação e conseqüentemente a liberação da dose de radiação preconizada, o paciente deve ficar sozinho na sala de tratamento. Sistemas de intercomunicação e visualização através de câmeras de vídeo e interfones são utilizados para que se possa comunicar com o paciente e acompanhá-lo no caso de alguma intercorrência. O técnico de radioterapia fica postado na sala lateral à do tratamento, podendo interromper o feixe a qualquer momento.

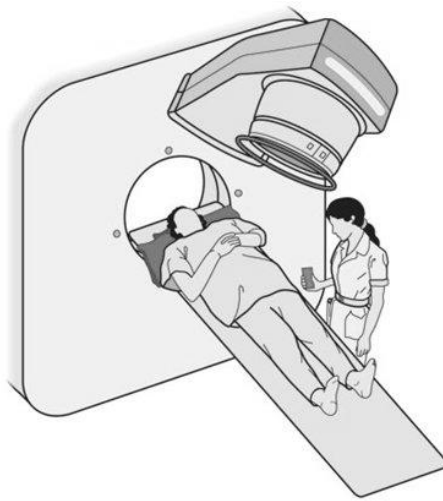


Figura 1. Paciente posicionado no Acelerador Linear

4. CURVAS DE ISODOSE

Como forma de auxiliar a visualização da distribuição da dose de radiação no volume do tumor e no seu entorno são utilizadas as cartas (curvas) de isodose, que são mapas da distribuição da dose dentro do paciente. As curvas de isodose correspondem aos planos nos quais todos os pontos que o delimitam possuem a mesma dose de radiação, ou seja, são linhas que ligam os pontos interiores de mesma dose. (OLIVEIRA, 2009)

As curvas de isodose são elaboradas em função dos parâmetros geométricos e radiométricos dos feixes e campos de radiação. Os valores de atenuação da dose no tecido depende de vários fatores, dentre eles, a distância da fonte à superfície de tratamento, a energia do feixe, o uso de filtros aplainadores, das dimensões do campo e profundidade da lesão. Para o cálculo da dose é indispensável o uso da mesma. A partir destes dados é possível saber, com melhor precisão, a quantidade de radiação que está sendo absorvida pela região

irradiada.

As curvas são obtidas experimentalmente considerando o feixe de radiação incidente perpendicularmente à seção reta do campo (superfície de entrada), para simulação do tecido humano o material de atenuação deve ter densidade próxima de $1,0 \text{ g/cm}^3$, valor correspondente à água em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Um procedimento experimental que pode ser utilizado para se obter as curvas de isodose é realizado utilizando - se um tanque de acrílico cheio de água e medindo-se a dose em vários pontos ao longo e transversalmente ao eixo central do campo, em relação à dose máxima na profundidade de equilíbrio eletrônico no eixo central.

Há casos em que se deseja conhecer somente a percentagem de dose profunda ao longo do eixo central e não a sua distribuição e as cartas de isodose não são necessárias. Para estes casos existem tabelas, construídas experimentalmente da mesma forma que para as cartas de isodose, que dão a percentagem de dose profunda dependente do tamanho do campo, distância foco-superfície e qualidade da radiação.

Para o cálculo da dose é indispensável o uso da carta de isodose ou de tabelas de percentagem de dose profunda. A partir destes dados é possível saber, com precisão, a quantidade de radiação que está sendo absorvida pela região irradiada.

Mesmo para idênticas condições (energia, tamanho do campo, distância foco-superfície etc.), as curvas de isodose variam significativamente de aparelho para aparelho, devido a diferentes sistemas de colimação. Portanto elas devem ser obtidas para cada equipamento. (SCAFF, 2010)

Na figura abaixo são mostradas cartas de isodose para feixes de raios-X produzidos em acelerador linear de 6 MeV para diferentes tamanhos de campo e a mesma distancia foco-superfície. Em (a) o campo e 5 cm x 5 cm; em (b) e 10 cm x 10 cm.

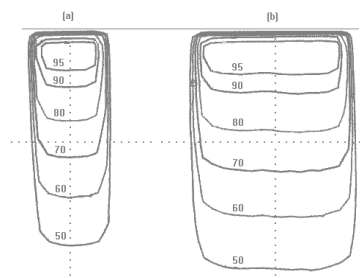


Figura 2. Cartas de isodose para feixes de raios-X produzidos em acelerador linear de 6 MeV para diferentes tamanhos de campo e a mesma distancia foco-superfície.

As cartas de isodoses padrões devem ser corrigidas para compensar a presença de tecidos de diferentes densidades. Quando há essa necessidade de correção são usados bolus, que evitam a modificação da isodose devido ao contorno colocando um material de densidade igual a do tecido na superfície, de tal forma que as irregularidades de contorno não existam. Em (a), com a presença de um pulmão, menos denso que a água; em (b), com a presença de osso, mais denso que a água.

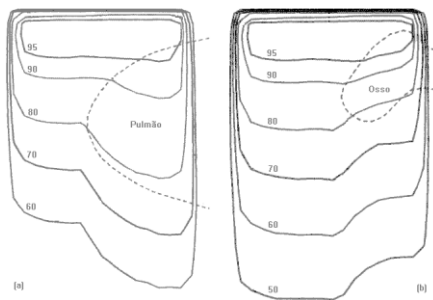


Figura 3. Cartas de isodoses, com correção, em (a), com a presença de um pulmão, menos denso que a água; em (b), com a presença de osso, mais denso que a água.

Numa curva de isodose podem ser visualizadas inúmeras propriedades físicas do feixe de radiação. O local do ponto máximo, o *build-up* acontece quando fótons ou partículas capazes de produzir ionização interagem com a matéria transferem sua energia para as partículas ionizadas (elétrons) e estas partículas passam a interagir com o meio depositando nele uma dose D_m .

A perda de energia por unidade de distância percorrida dentro do absorvedor (dE/dx) por uma partícula carregada, é inversamente proporcional à velocidade da partícula: $dE/dx \propto 1/v$. Portanto durante o percurso da partícula ionizante, a densidade de ionização crescerá até atingir um valor máximo próximo ao seu alcance máximo. Este padrão de ionização é o mesmo para todas as partículas carregadas, diferindo apenas quanto ao alcance. O alcance dos elétrons liberados por raios-X de quilovoltagem percorrem alguns mm na água ou tecido e elétrons liberados por raios-X produzidos em equipamentos de 20 MeV percorrem até 8 cm no tecido antes de parar.

Os fótons interagem com a matéria, produzindo elétrons por ionização. A intensidade de ionizações diminui com a profundidade. A fluência de elétrons e a dose absorvida pela matéria aumentam com a profundidade até um certo ponto, diminuindo à medida que os fótons são absorvidos. Em consequência disto a dose absorvida inicialmente aumenta com a profundidade, atingindo um máximo a partir do qual passa a decrescer. A região entre a

superfície irradiada e a profundidade onde a dose atingiu o valor máximo é chamada de região de *build-up* (acúmulo). A espessura da região de *build-up* é denominada espessura de equilíbrio eletrônico. Além deste ponto a dose decresce pela atenuação e inversamente ao quadrado da distância.

A percentagem de dose profunda (PDP) é uma relação percentual da dose em determinada profundidade em relação à profundidade de dose máxima (equilíbrio eletrônico). Ela decresce com o aumento da profundidade devido à atenuação sofrida pela radiação e com o inverso do quadrado da distância, com exceção da região de *build-up*. A percentagem de dose profunda se eleva com a área do campo, pois com o aumento do volume irradiado tem-se maior quantidade de radiação espalhada.

$$P = (D_d / D_m) * 100,$$

onde P é a percentagem de dose profunda, D_d a dose na profundidade d no eixo central do feixe e D_m a dose na profundidade de equilíbrio eletrônico no eixo central do feixe.

A dose D_d , por sua vez, é a dose D_m corrigida pela absorção do meio na profundidade d , pelo fator de espalhamento B e pela dispersão com o inverso do quadrado da distância:

$$D_d = D_m ((F + d_m)/(F + d))^2 B e^{-\mu d},$$

onde, d é a profundidade, d_m a profundidade da região de equilíbrio eletrônico, F a distância foco-superfície e μ é coeficiente de atenuação linear da radiação no meio.

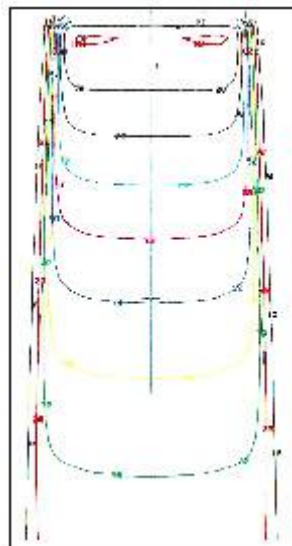


Figura 4. Carta de Isodose

A maioria dos sistemas de planejamento, para ajudar na escolha do melhor plano pelo radioterapeuta, imprime informações sobre o ponto de máxima dose e a sua localização; a

máxima, a mínima e a dose média no volume alvo (PTV); o algoritmo de cálculo de dose (com ou sem correção de heterogeneidades); o espaçamento da matriz de cálculo e a legenda de cores das isodoses.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Através das fichas técnicas que compõem o prontuário de radioterapia dos pacientes com as informações específicas sobre os parâmetros físicos, foram analisadas 35 contornos de mama e plastrão de pacientes submetidos à radioterapia nos serviços de radioterapia do Hospital Manoel de Abreu de Bauru e do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu.

Utilizando as curvas de isodose padrões do equipamento de telecobaltoterapia modelo Theratron 80, foram redesenhadas manualmente as curvas de isodose para cada um dos pacientes. Após a plotagem das curvas, as mesmas foram submetidas à apreciação de dois médicos radioterapeutas que as analisaram em momentos distintos.

Com a finalidade de se verificar a viabilidade de elaboração das curvas de isodose em ambiente virtual, 8 arquivos contendo contornos de mama de pacientes atendidos no Hospital Manoel de Abreu de Bauru, foram *scaneados* e enviados por e-mail para que a estudante confeccionasse as curvas de isodose respectivas. Após o processamento dos contornos e elaboração das curvas de isodose *on line*, as mesmas foram novamente submetidas à apreciação do médico radioterapeuta para que este procedesse à escolha da curva que melhor atenderia ao protocolo clínico, como foi feito com o contorno processado no próprio serviço. O objetivo nesta etapa é verificar se a escolha pelo médico radioterapeuta da curva de isodose adequada se alterasse quando se compara o contorno analisado *in loco* com aquele enviado virtualmente.

Com a finalidade de se otimizar o tempo gasto com os cálculos do tempo de exposição para a liberação da dose de radiação preconizada, determinado com a escolha da curva de isodose ideal, verificou-se a possibilidade de se suprimir a elaboração das curvas calculando o respectivo tempo de exposição em função de parâmetros radiométricos, geométricos e anatômicos dos contornos das mamas assistidas. Neste sentido, calculou-se o tempo de exposição considerando apenas os valores de PDP (porcentagem de dose profunda) na profundidade correspondente ao meio da separação entre os campos interno e externo do contorno desenhado da região torácica irradiada.

Ainda com a finalidade de se verificar a possibilidade de indicação do filtro aplainador

que fornece a melhor distribuição de dose de radiação no volume irradiado, avaliou-se o ângulo de inclinação de entrada do campo em função da tangencia com o contorno do tecido mamário irradiado.

A equação abaixo fornece a expressão matemática utilizada para determinação do tempo de exposição em função da dose de radiação preconizada, utilizada neste trabalho:

Tempo de exposição = (Dose no tumor) / (Isodose x FR x FC x FF); onde:

Isodose = valor da isodose escolhida pelo médico radioterapeuta;

FR = fator rendimento da unidade de telocobaltoterapia na data do cálculo;

FC = fator campo – determinado em função da abertura do campo de radiação;

FF = fator filtro – quando utilizado;

O valor da isodose na expressão é substituído pelo valor de PDP, que após várias análises, concluiu-se que este deve ser determinado na profundidade de tecido atenuador correspondente à 2/3 (dois terços) da altura no meio da separação do contorno (limites dos campos interno e externo).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 Apresenta as características dos contornos de sete mamas analisadas neste trabalho.

Tabela 1 – valores medidos dos parâmetros geométricos de contornos analisados

Contorno	Altura (cm)	Separação (cm)	Ângulo de entrada (graus)	Isodose Escolhida
1	6,8	18,0	38	140 %
2	5,4	21,0	41	130 %
3	4,1	17,0	56	150 %
4	3,8	16,0	55	150 %
5	4,4	18,0	55	140 %
6	3,4	18,0	58	140 %
7	4,0	20,0	59	140 %
8	6,9	19,0	52	
9	6,7	19,0	38	
10	3,6	15,5	59	

Para realizar os contornos e desenhos em papel sulfite e elaborar as curvas de isodose no sistema manual, foram gastos em média 13 minutos por contorno de mama. No sistema bi dimensional utilizando o software Colmeia da empresa Oxford gastou-se em média 4 minutos por contorno.

A Figura 5 ilustra o contorno da região torácica de uma paciente de mama operada (plastrão), as dimensões do campo de radiação foram de 9,0 cm x 15,0cm, sendo que a dimensão vertical é bloqueada à metade ($9,0/2$) pelo cone de chumbo, com a finalidade de proteção da região pulmonar. A separação entre o campo interno e o externo foi de 15,5 cm.

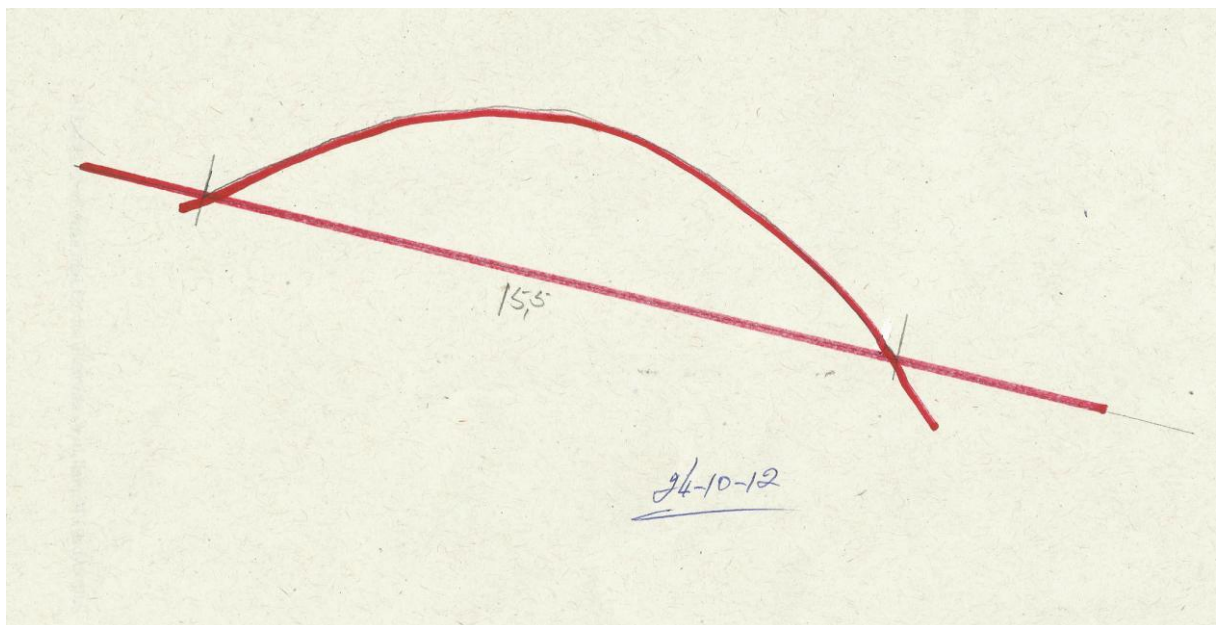


Figura 5 – Contorno de plastrão de paciente submetida à radioterapia de mama.

A Figura 6 ilustra o contorno do plastrão agora com as linhas de isodose desenhadas. Para este contorno, a curva de isodose escolhida pela médico radioterapeuta foi a de 150%. Isto significa que durante os cálculos o físico médico deverá normalizar a dose preconizada correspondente ao volume irradiado neste percentual.

A Figura 7 mostra o mesmo contorno das Figuras 5 e 6 anteriores, desta vez com as linhas de isodose traçadas *on line*, ou seja, o contorno foi digitalizado e enviado por correio eletrônico para que as linhas fossem plotadas em outra instituição. Percebe-se a coincidência dos traçados isodósicos, e neste caso, o contorno foi apresentado para outro médico radioterapeuta da instituição 2, sendo que este escolheu a mesma curva de isodose do seu colega da instituição 1, ou seja, a escolha da curva de isodose adequada para conformação da

distribuição de dose no volume de tratamento para ambos os radioterapêutas foi a de 150%.

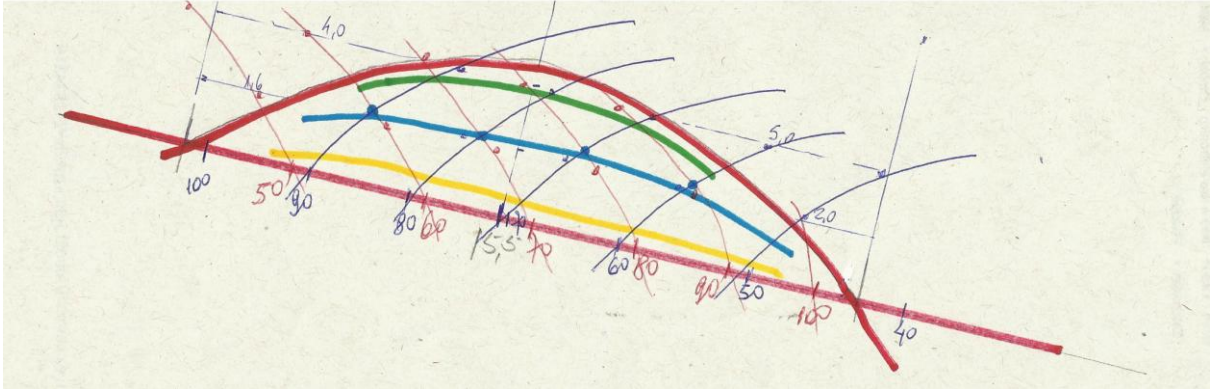


Figura 6 – Contorno do plastrão com as linhas de isodose determinadas.

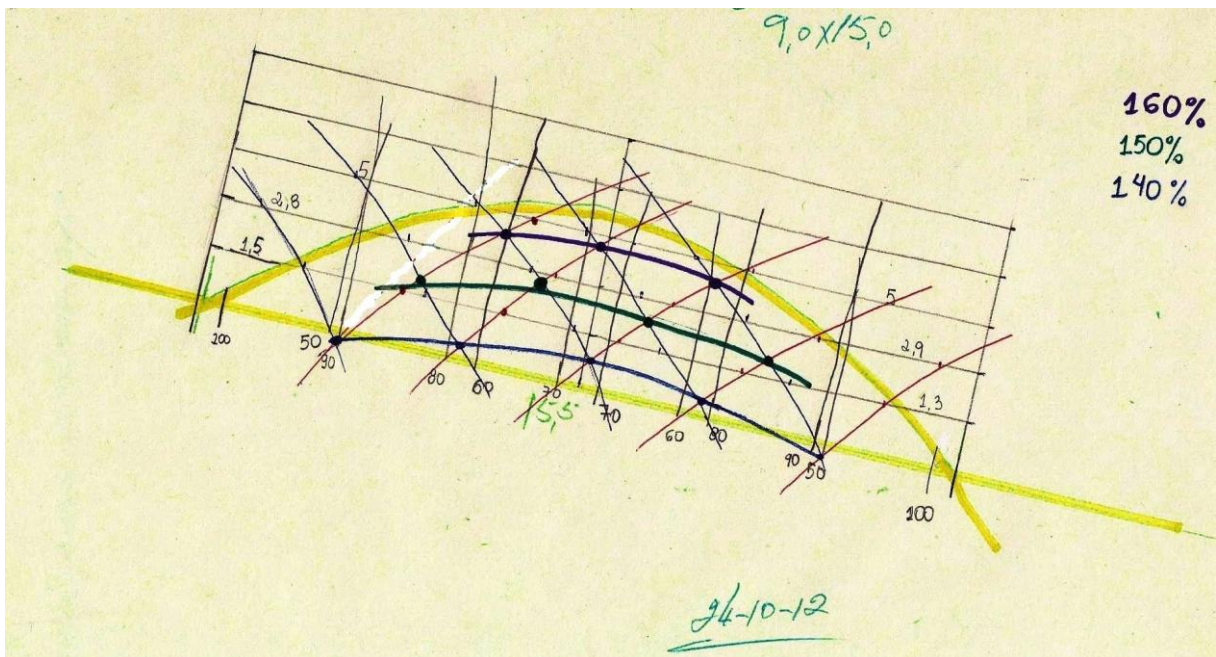


Figura 7 – Contorno do plastrão com as linhas de isodose elaboradas à distância.

A Figura 8 apresenta um esquema para determinação do ponto de cálculo da dose de radiação considerando a PDP do tecido irradiado, as dimensões e a geometria do campo de radiação para um contorno de mama.

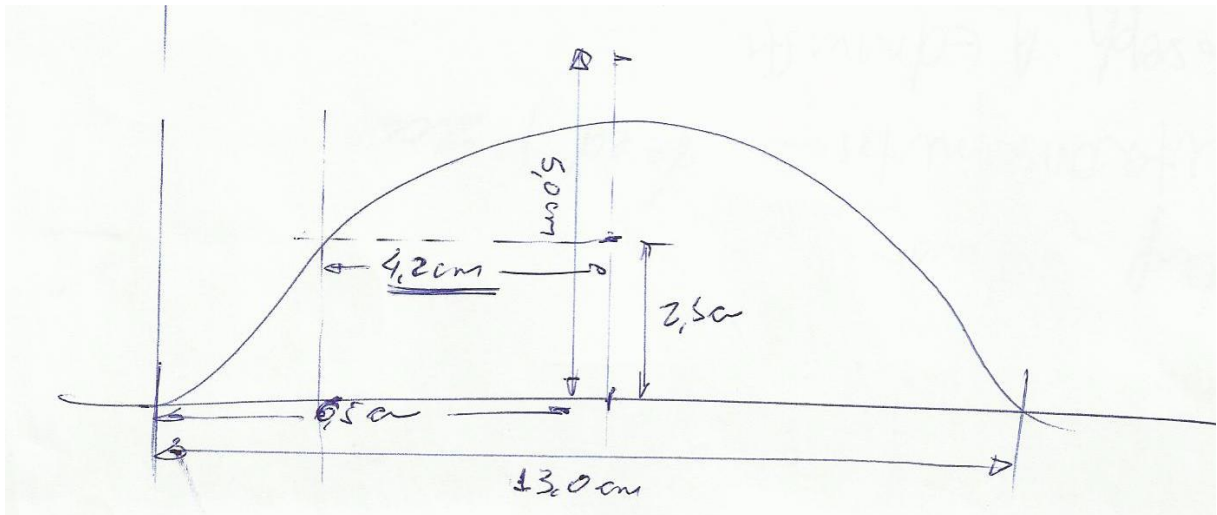


Figura 8 – Esquema de determinação do ponto de cálculo de dose

No caso apresentado (Figuras 5 a 7), a separação entre os campos interno e externo foi de 15,5cm, o campo de radiação foi de 9,0/2 cm x 15,0 cm, assim, a altura do contorno na linha média de separação é de aproximadamente 5,0 cm. Considerando uma dose preconizada de 180 cGy no volume de radiação, utilizando a curva de isodose escolhida de 150% e os parâmetros de rendimento da fonte de telecobaltoterapia de 148,65 cGy/min e fator abertura do colimador, o tempo de exposição necessário para liberação da dose de radiação será de: 0,81 minutos em cada campo (interno e externo).

Realizando o cálculo do tempo de exposição através do valor correspondente á PDP determinada na profundidade conforme ilustra a Figura 8, no caso clínico apresentado tem-se: PDP = 77,0%. Com este valor de PDP e os valores de rendimento (148,65 cGy/min) e fator campo (0,997), tem-se um tempo de exposição correspondente para cada campo de tratamento igual a 0,79 min. A diferença entre os dois valores de tempo de exposição é de 2,4%.

Desta forma, espera-se que a escolha do método de cálculo, quer seja pela curva de isodose traçada, quer seja pelo valor de PDP, representará uma variação relativa em torno de 2,4%.

Em relação ao ângulo de tangencia do campo de entrada na pele, de acordo com a tabela 1, pode-se deduzir que quanto maior for a altura do contorno no meio da separação entre os campos interno e externo, menor será o ângulo de incidência e tangência do feixe de radiação. Este fato pode induzir que quanto menor a altura e maior a separação entre campos, menor será a angulação do filtro em cunha, utilizado para uniformização da distribuição de dose no volume irradiado, e conseqüentemente menor a atenuação do feixe de radiação. É

sabido dos estudos da física da radioterapia, que quanto maior a angulação do filtro em cunha, maior deverá ser o tempo de exposição. É bastante discutido na rotina dos procedimentos de radioterapia que a utilização do filtro em cunha aumenta demasiadamente a dose de radiação absorvida na superfície de entrada da pele.

Um estudo mais profundo e com maiores casos clínicos analisados poderá responder a algumas perguntas tais como:

- a) Medindo apenas o ângulo de tangência da mama (espaço mama-ar) pode-se determinar o ângulo do filtro em cunha ideal para a melhor conformação da distribuição da dose de radiação preconizado no volume alvo? Em caso afirmativo, otimizar-se o tempo gasto na elaboração de várias curvas de isodose necessária para se visualizar a condição de filtro ideal;
- b) Qual será o ponto no interior do contorno da mama mais indicado para se determinar o valor da PDP? Encontrando uma relação entre o valor da curva de isodose e o valor da PDP no ponto ideal, pode-se suprimir a elaboração das linhas isodósicas? Independentemente da resposta adequada, o cálculo pelo métodos da PDP pode servir como um duplo cheque para o tempo de exposição.

7. CONCLUSÃO

Comparando as curvas de isodose elaboradas em diferentes instituições, onde a instituição 1 correspondente ao local onde se obteve o contorno do paciente e a instituição 2, aquela para onde foi enviado eletronicamente o contorno, pode-se concluir que a metodologia de plotagem das curvas de isodose à distância é exequível e viável, principalmente para aqueles serviços que não dispõem de maiores recursos e de maior quantidade de planos de isodose para diferentes equipamentos de radioterapia. Esta afirmação também está embasada no fato de que diferentes médicos radioterapeutas de instituições distintas escolheram a mesma curva de isodose ideal para uniformização da distribuição da dose no volume contornado,

Embora o cálculo do tempo de exposição determinado utilizando a curva de isodose escolhida pelo médico radioterapeuta, seja o mais tradicional e recomendado, o cálculo considerando o valor de PDP determinado no ponto no interior do contorno, conforme

ilustrado na Figura 8, pode agilizar o tempo de cálculo e auxiliar o físico médico na sua rotina, servindo como um duplo cheque dos cálculos envolvidos.

As curvas de isodose bi dimensionais elaboradas na instituição 2, onde se disponibiliza um sistema computacional para digitalização dos contornos das mamas irradiadas e para cálculo dos pontos quentes e frios internos ao contorno, fornecem maiores informações para os profissionais (físico e médico) sobre a distribuição da dose de radiação no volume de tratamento. Observando a escolha da curva de isodose, para um mesmo contorno, elaborado por ambos os métodos: bi dimensional computacional e o processo manual, pode-se notar uma diferença em torno de 10% no valor de normalização da curva. Desta forma, pode-se concluir que a obtenção da curva de isodose bi dimensional proporciona melhor uniformização da dose no interior do volume irradiado, além de orientar o físico médico quanto a apresentação de pontos de maior gradiente de dose.

A realização do trabalho em campo, com a participação interativa do estudante de física médica no ambiente da radioterapia, além de facilitar a compreensão dos conceitos teóricos abordados nas salas de aulas, também corrobora para um melhor entendimento da rotina dos procedimentos e orienta na escolha do futuro campo da física médica a ser seguido pelo egresso do curso de bacharel em física médica.

8. BIBLIOGRAFIA

BILMORIA M M. *The woman at increased risk for breast cancer: evaluation and management strategies.* Cancer 1995; 45:263-78.

FISHER B, ANDERSON S, REDMOND CK, et al. Reanalysis and results after 12 years of follow-up in a randomized clinical trial comparing total mastectomy with lumpectomy with or without irradiation in the treatment of breast cancer. *N Engl J Med* 1995; 333:1456-61.

FISHER B, COSTANTINO J, REDMOND C, et al. Lumpectomy compared with lumpectomy and radiation therapy for the treatment of intraductal breast cancer. *N Engl J Med.* 1993; 328:1581-6.

HAMMER J, VAN LIMBERGEN E. *Consensus meeting on breast cancer: to boost or not to boost and how to do it.* Stresa: European Society for Therapeutic Radiology and Oncology; 2001.

JOHNSON-THOMPSON MC, Guthrie J. Ongoing research to identify environmental risk factors in breast carcinoma. *Cancer* 2000; 88:1224-9.

OLIVEIRA, Luciano Santa Rita Oliveira. *Notas de aula: Tecnologia em Radioterapia*. Disponível em: http://www.lucianosantarita.pro.br/Arquivos/Notas_aula_radioterapia_2009.pdf.

OVERGAARD M, HANSEN P, OVERGAARD J, et al. Postoperative radiotherapy in high-risk premenopausal women with breast cancer who receive adjuvant chemotherapy. *N Engl J Med* 1997; 337:949-54.

RAGAZ J, JACKSON SM, LE N, et al. Adjuvant radiotherapy and chemotherapy in nodepositive premenopausal women with breast cancer. *N Engl J Med* 1997; 337:956-62.

SCAFF, Luiz A. M. *Física na radioterapia - A Base analógica de uma era digital*. n/d. v. 2. 2010.

SWITZERLAND, Gallen. *Adjuvant therapy of primary breast cancer* (abstract book), 7th International Conference . 2001.

TURKKI, Anderson Dibble. *Nutrição*. 17 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.