

Controlo de Qualidade em Radioterapia

Isabel Maria Sousa Pinho Faria

Trabalho de natureza profissional submetido ao Instituto Politécnico do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do Título de Especialista em Radioterapia.

Dezembro de 2012

Resumo

Sendo a radioterapia (RT) uma modalidade terapêutica cada vez mais complexa e precisa em oncologia, torna-se pertinente refletir sobre alguns conceitos e procedimentos acerca da qualidade e do controlo da qualidade a ela associados, uma vez que se encontram profundamente aplicados nos centros de radioterapia já existentes.

Estes conceitos e procedimentos estão bem sustentados em muitas experiências clínicas e em estudos acessíveis numa vasta série de artigos científicos publicados em revistas e outras fontes credíveis e científicas.

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho passa pela pesquisa e revisão de material bibliográfico existente não só em livros de referência como também em artigos de revistas da área da física médica, radioterapia e oncologia.

A estrutura do trabalho passa pela descrição do “estado-da-arte” atual, sendo que, e nesta perspetiva, se tenha recorrido ao percurso evolutivo dos conceitos e procedimentos tidos ao longo do desenvolvimento das tecnologias e técnicas em radioterapia.

O que se observa neste trabalho é que “Qualidade em Radioterapia” envolve uma complexa estrutura não só de recursos físicos como também humanos, onde uma pequena falha de comunicação no elo de ligação entre os diversos membros da equipa compromete afinal aquilo que é o seu objetivo *major*: tratar com qualidade e dignidade o doente oncológico.

Palavras-chave: radioterapia; qualidade; garantia da qualidade; controlo da qualidade.

Índice

Índice	4
Introdução	5
Controlo da Qualidade e Garantia da Qualidade	7
Administração precisa da radiação	11
Técnicas conformacionais.....	18
Radioterapia de Intensidade Modulada	21
Controlo da qualidade da imagem nos aceleradores lineares	22
Radioterapia Estereotáxica / Radiocirurgia	24
A equipe multidisciplinar no controlo da qualidade	25
Responsabilidades do Técnico de Radioterapia	26
Material e Métodos.....	29
Discussão	30
Conclusão.....	31
Referências Bibliográficas.....	32
Bibliografia Consultada.....	35

Introdução

A Radioterapia (RT) é uma especialidade médica fundamental num plano terapêutico multidisciplinar para o tratamento da doença oncológica.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) defende que o “tratamento do cancro requer uma cuidadosa seleção de uma ou mais intervenções, tais como cirurgia, radioterapia e quimioterapia. O objetivo é curar a doença ou prolongar a vida consideravelmente, melhorando a qualidade de vida do paciente. Diagnóstico e tratamento do cancro são complementados por apoio psicológico.”(WHO, 2012)

É importante referir a aplicação da radioterapia na abordagem terapêutica numa série de patologias benignas.

Porém, não é objetivo deste trabalho fazer esta distinção mas sim referir que a decisão tomada pelos médicos terá sempre por finalidade o “tratamento de excelência”, independentemente de ser considerada uma patologia maligna ou benigna.

A tomada de decisão no tratamento de radiação é sempre balanceada entre dois objetivos:

- (1) Controlar a doença maligna; e,
- (2) Evitar danos inaceitáveis nos tecidos normais.

O tratamento da doença oncológica pela RT requer diagnóstico preciso e oportuno assim como planeamento e execução rigorosos, isto é, precisão na determinação do volume alvo e órgãos críticos adjacentes potencialmente em risco, prescrição de dose adequada, da execução correta do tratamento prescrito e de acompanhamento eficiente do doente ao longo de todo o processo em RT e ainda após o seu término.

Durante todo o processo envolvido em RT deverá sempre haver o cuidado de fazer um registo adequado e completo de todas as informações relativas ao tratamento, sendo este essencial quer para a avaliação clínica quer para os relatórios finais de tratamento.

Sendo o processo de RT complexo, deve envolver a compreensão dos princípios da física médica, radiobiologia, proteção e segurança contra radiações ionizantes, dosimetria, planeamento do tratamento de radiação, simulação e interação da RT com outras modalidades de tratamento. Cada etapa do processo integrado de RT precisa de controlo e garantia da qualidade (QC e QA) a fim de evitar erros e aumentar a confiança que os pacientes receberão o tratamento prescrito corretamente. (Ishikura, 2008)

Em 1988, a OMS define QA (*Quality Assurance*) em Radioterapia como “todas as ações que garantem a consistência entre a prescrição clínica e sua administração ao paciente, em relação à dose no volume-alvo, à dose mínima no tecido sadio, à exposição mínima de pessoal, e às verificações no paciente para a determinação do resultado do tratamento”. A OMS justifica esta necessidade de garantia da qualidade com base nos seguintes argumentos:

- A garantia da qualidade minimiza os erros no planeamento de tratamento e administração da dose ao paciente, melhorando os resultados da radioterapia, aumentando a taxa de remissões e diminuindo a taxa de complicações e recidivas.
- A garantia da qualidade permite a avaliação e comparação de resultados entre centros distintos de radioterapia, tanto a nível nacional como internacional, garantindo uma dosimetria e administração do tratamento mais uniforme e exata.
- As características avançadas dos equipamentos modernos de radioterapia não podem ser completamente aproveitadas a menos que se alcance um elevado nível de exatidão e consistência.”

Ainda acerca dos argumentos da OMS, há um cuja importância aumentou recentemente:

- “Um programa de garantia da qualidade é o método mais sensível e eficaz de reduzir acidentes em radioterapia.”(WHO, 2012)

A radioterapia foi uma das primeiras especialidades médicas a incorporar técnicas de QA nas práticas de rotina.

Ao longo dos anos, a RT foi assumindo um programa de QA mais abrangente e demorado, fazendo com que a execução de todos os procedimentos recomendados provoque uma sobrecarga dos recursos humanos de um departamento.(Thomadsen, 2008)

A execução de todos os procedimentos do programa para aplicação nas unidades de tratamento não impede necessariamente eventos que possam resultar em danos ao paciente. Muitas falhas do equipamento não detetáveis, podem provocar lesões no paciente. Além disso, a maioria dos eventos ocorre, não por falhas de equipamento, mas por ações humanas. As necessidades efetivas de controlo de qualidade devem considerar procedimentos não apenas no equipamento, mas também nas ações e interações humanas necessárias para uma aplicação segura do tratamento.(Thomadsen, 2008)

Controlo da Qualidade e Garantia da Qualidade

As fontes de erros em radioterapia incluem, mas não se limitam, a erros na localização do tumor, imobilização, posicionamento do doente, calibração do acelerador linear ou problemas relacionados com outros equipamentos, nomeadamente a Tomografia Computorizada (TC) ou o Sistema de Planeamento (TPS – *Treatment Planning System*). Estes erros podem ser minimizados através de uma verificação periódica a qual designamos de controlo da qualidade. Dito isto, realça-se a presença de duas componentes do controlo da qualidade - uma componente clínica e uma componente física.(Svensson, 1994)

Neste trabalho pretende-se dar ênfase à componente física com destaque para o controlo da qualidade dos aceleradores lineares sendo a componente clínica mencionada quando necessário.

Uma vez que a radioterapia se trata de um processo contínuo que só começa a apresentar *feedback* próximo do final do tratamento (reações agudas), continuando os efeitos até décadas depois do término da terapia (reações tardias), o controlo da qualidade em cada passo do processo é fundamental, de modo a tornar o procedimento seguro, permitindo a deteção de irregularidades o mais precocemente possível evitando danos irreversíveis nos doentes.(ICRU, 1976)

As incertezas devem estar bem definidas, na medida em que todas as imprecisões contribuem para uma incerteza global resultado da adição das incertezas de todos os parâmetros, sendo da maior importância entender o resultado dessa soma ao nível de distribuição da dose no doente. Na maioria dos documentos que abordam o tema do controlo da qualidade, os parâmetros e as tolerâncias de incerteza são definidas individualmente. Isto deve-se ao facto de que o cálculo da soma das incertezas é muito complexo de prever uma vez que algumas são sistemáticas e outras aleatórias.(KU, 1969; Svensson, 1994)

A complexidade de um programa de tratamento de Radioterapia (RT) é evidente a partir de uma breve descrição de todo o processo. Desde a aquisição de imagens quer pela radiologia quer pela medicina nuclear, à elaboração de um plano dosimétrico de tratamento, passando pela simulação e por fim na aplicação do tratamento em si, a qualidade é necessária em todas estas fases, embora a ênfase principal deste trabalho passe pelos processos quer da “Garantia da Qualidade” (QA) quer do “Controlo da Qualidade” (QC). Abordar estes parâmetros exige a análise de alguns erros de processo que podem causar danos desde o considerado ligeiro ao classificado como grave deixando sequelas sérias ou mesmo provocando a morte dos doentes.

Um programa de garantia da qualidade não deve apenas concentrar-se na análise de variáveis de tratamento, mas, em vez disso, deve tentar entender o acumulado de erros do processo de tratamento completo. Assim, a implementação de um programa de garantia da qualidade clínica e física em RT exige trabalho em equipa e deve envolver todo o pessoal do departamento. (G. K. Svensson, 1989)

A crescente complexidade das técnicas modernas e dos procedimentos de QC desafiam os programas tradicionais de QA de modo a que estes garantam a segurança e a confiabilidade do planeamento de tratamento e consequentes ações até à aplicação final do tratamento, considerado o estado da arte em RT. (Huq, et al., 2008)

As atividades necessárias para melhorar e manter a qualidade utilizam, no entanto, cada vez mais recursos humanos e financeiros, havendo uma necessidade de as reavaliar e reformular de modo a que se possam tornar exequíveis (Ikeda, 2002); isto é, devem unir-se as atividades de controlo da qualidade e recursos concomitantes, para o benefício esperado para o paciente. Dito de outra forma, sempre que possível, as atividades de controlo da qualidade precisam ser baseadas em avaliações consideradas como possíveis resultados para o paciente. (Huq, et al., 2008)

A Radioterapia (RT) moderna faz uso de muitos equipamentos complexos e técnicas avançadas, com o objetivo de otimizar a dose de radiação recebida pelos tecidos do tumor e do alvo, minimizando a dose (e as possibilidades de toxicidade) nos tecidos normais adjacentes. (B. Fraass, et al., 1998)

Os programas de garantia da qualidade estão bem definidos e têm sido integrados na prática da RT atual. Esta integração bem-sucedida deve-se em parte à necessidade da terapia em que a dose máxima administrada é geralmente limitada pela tolerância dos tecidos normais, e que a dose debitada ao tumor *per si* possa ser suficientemente elevada que permita uma erradicação do tumor. (Lisbona, Francois, & Tomsej, 2010; Saw, Ferenci, & Wanger, 2008)

Para melhorar a capacidade de atingir esse objetivo, têm sido desenvolvidos e implementados para uso clínico de rotina, sistemas de planeamento e técnicas de tratamento muito sofisticados. Estes incluem um planeamento de tratamento a três dimensões baseado em imagens de tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) e outras modalidades de imagem, aquisição de imagem portal eletrónica (EPID), radioterapia tridimensional conformada (3DCRT) e radioterapia de intensidade modulada (IMRT), radiocirurgia estereotaxia, radioterapia guiada por imagens (IGRT), e muitas outras técnicas. Porque muitas destas técnicas mostram o potencial de melhorias significativas na nossa capacidade em alcançar os objetivos já mencionados, estas abordagens e sistemas foram

rapidamente integrados na prática clínica. A RT tem assim ao seu dispor, um arsenal sofisticado de técnicas para aplicar aos muitos tipos de cancro por ela tratados. Dados os riscos potenciais associados com qualquer dos métodos utilizados em RT, é essencial que o tratamento seja planeado e aplicado de forma segura e correta.(B. A. Fraass, 2008)

A administração de um tratamento em RT, de forma precisa e consistente não é um procedimento simples, implicando a utilização de equipamentos tecnologicamente avançados e sofisticados, com conjuntos de procedimentos e tolerâncias bem definidos, com o envolvimento de todos os membros de uma equipa multidisciplinar assim como de tarefas meticulosas durante todo o processo.

Um programa de QA por si só não é muito eficaz na deteção de erros decorrentes das deficiências no *hardware* e *software* utilizados em radioterapia. A este respeito, a dosimetria *in vivo* pode desempenhar uma tarefa muito importante.(Yeung, Bortolotto, Cosby, Hoar, & Lederer, 2005)

O desenvolvimento de técnicas inovadoras em RT veio exigir uma adaptação dos conceitos de garantia da qualidade e de controlo da qualidade que foram praticadas ao longo dos últimos 30 anos. Surge um novo paradigma e novos métodos adaptados da indústria, incluindo a segurança do paciente e atendimento de qualidade numa abordagem mais holística para a QA e QC.(Lisbona, et al., 2010)

A qualidade da RT tem sido definida como a totalidade de recursos ou características de um serviço RT que afetam a sua capacidade de satisfazer a meta explícita ou implícita de efetiva atenção ao paciente.

O controlo da qualidade dos aparelhos de radioterapia inclui todas as ações planeadas e sistemáticas que fornecem a confiança de que o dispositivo está a funcionar dentro dos limites estabelecidos. O paradigma atual de controlo de qualidade em radioterapia define três áreas que constituem o processo global de controlo da qualidade: controlo da qualidade, auditoria do controlo da qualidade, e melhoria contínua da qualidade.(Palta, Liu, & Li, 2008)

A natureza integrada da QA em RT torna impossível considerá-la limitada a simples procedimentos de verificação da máquina.

Assim, as iniciativas em QC abrangem uma gama muito ampla de áreas em que as ações de todos, médicos radioterapeutas, técnicos de radioterapia, físicos médicos/físicos hospitalares, dosimetristas e engenheiros (mesmo da empresa que fornece o equipamento) são importantes. (Ishikura, 2008)

A garantia da qualidade faz-se através de um conjunto de ações planeadas e sistemáticas necessárias para prover confiança adequada de que um produto ou serviço irá satisfazer os

requisitos apresentados para a qualidade. Esta definição aplicada à radioterapia abrange vários aspetos organizacionais relativamente ao apoio e acompanhamento dos pacientes, à distribuição de responsabilidades, à formação e ainda à gestão e equipamentos. (Lisbona, et al., 2010)

Neste ambiente de RT e, para alcançar um elevado nível de confiança, é reconhecido que os dispositivos de controlo da qualidade utilizados na RT são um elemento essencial do programa de garantia da qualidade.

O objetivo principal do controlo da qualidade é garantir a consistência dos principais itens dos equipamentos que possam ser avaliados do ponto de vista da dosimetria mecânica.

É necessário definir um certo número de testes específicos, planeados e executados com uma frequência pré-determinada, para todos os fatores que possam ser potencialmente mensuráveis ou calculáveis.

Um dos principais efeitos da implementação destes testes é permitir que toda a equipa envolvida no processo de tratamento de RT (médico radioterapeuta, físico hospitalar, dosimetrista e técnico de radioterapia) adquira um nível de confiança no equipamento garantindo a reprodutibilidade de um ponto de vista técnico dos sistemas de imagem, cálculos em dosimetria e de irradiação do paciente. (Lisbona, et al., 2010)

Num programa de QA em RT, que equilibre a segurança do paciente e a qualidade com os recursos disponíveis, é necessário desenvolver a mitigação de erro mais formal e métodos de análise do processo, tais como o FMEA (“Modo de Falha e Análise de Efeito”) e concentrar-se, de maneira ideal, nos recursos de controlo da qualidade disponíveis nos componentes do processo para evitar erros na administração do tratamento de RT. (Palta, et al., 2008)

Em Abril de 1994, a AAPM TG-40 (*American Association of Physicists in Medicine - Task Group Report 40*) publicou um relatório completo onde aborda os aspetos do programa de QA em RT externa, incluindo QA da máquina, QA do planeamento e QA do tratamento. (E. E. Klein, Low, Maag, & Purdy, 1996; Kutcher, et al., 1994)

No entanto, este relatório também refere o fato de que o instrumento mais importante no controlo da qualidade é a educação continuada, em que o processo não pode parar com a formação inicial. A educação contínua, a atualização de procedimentos e observação pode evitar equívocos persistentes de operação dos equipamentos e dispositivos.

Administração precisa da radiação

O êxito da radioterapia está muito ligado à precisão com a qual se administra o tratamento que se pretende.

Assim, de uma forma incontornável, a precisão com a qual os aceleradores lineares administram a dose pretendida é um fator essencial no alcance desse sucesso.

As incertezas individuais no tratamento dos doentes estão associadas, entre outros aspetos, à incerteza na dose administrada. Em 1983, a AAPM elaborou um relatório onde referia que a incerteza em RT deve ser reduzida a um máximo de 5%, e da importância de definir estratégias para diminuir o erro em RT, conceito este ainda hoje em utilização em RT.

Existe evidência de que uma alteração de 7-10% na dose administrada pode resultar numa diminuição significativa das probabilidades de controlo tumoral ou um aumento severo de efeitos secundários da radioterapia, caso essa alteração seja uma diminuição ou aumento da dose, respetivamente (ICRU, 1976). Segundo relatórios mais atuais, tal como o elaborado pela AAPM TG-142, esta tolerância ficou mais apertada, sendo atualmente aceite uma dose que no máximo esteja compreendida entre $\pm 2\%$. (E. E. Klein, et al, 2009)

A utilização de câmaras de ionização calibradas em laboratórios de referência permitiu converter medidas de ionização em fantomas (de água ou plástico) em dose absorvida. Deste modo, com a introdução da metodologia da cavidade calibrada, foi possível praticar-se procedimentos de dosimetria simples e precisa.

É recomendado que a dose seja medida em termos de dose absorvida na água pois é o material de referência em RT. Quando a medida é realizada em fantoma de água, evita a conversão da leitura; esta conversão torna-se necessária quando o procedimento é efetuado em plástico. No entanto, a utilização de água é menos prático pois requer impermeabilização da câmara de ionização e a sua execução é mais demorada.

O tamanho do fantoma deve ser tal que permita uma margem de 5cm para fora do campo máximo e pelo menos 10cm mais profundo do que a maior profundidade medida de modo a ser possível assegurar a medida da radiação dispersa (*scattered*).

Quando se trata de eletrões, as medições devem ser executada à profundidade onde se verifica a dose máxima, e igual ou superior à profundidade da dose máxima quando se trata de fótons (geralmente 10cm).(Schulz, 1983)

Um aspeto importante é que os dosímetros usados não medem a dose diretamente e a precisão de um sistema pode mudar sem nenhuma indicação óbvia, implicando que os mesmos devam ser constantemente avaliados. O mesmo pode acontecer com os acessórios

dos dosímetros usados, implicando uma mesma preocupação na manutenção precisa e rigorosa dos instrumentos e acessórios utilizados.

As comparações de resultados de dosimetria entre instituições ou a visita de avaliadores externos são recomendadas. Uma das metodologias usadas pode ser a utilização de TLD (*ThermoLuminescent Dosimeters*), enviados pelo correio, para serem lidos numa instituição externa.

Como se pode observar na tabela 1, são vários os aspetos que devem ser avaliados aquando do estudo da precisão dos dosímetros.

Tabela 1 – Critérios essenciais na avaliação de um dosímetro usado no Controlo da qualidade em radioterapia

Precisão e estabilidade	a. Dependência da energia estudada b. Dependência da taxa de dose c. Dependência angular d. Dependência do histórico de dose e. Ventilação da cavidade
Reprodutibilidade	
Resposta não-linear	
Sinal	a. Fuga de carga b. Sinal extra-câmara (cabo, conector, efeitos pré-amplificador) c. Interferência eletromagnética

A avaliação das incertezas mecânicas (em adição às incertezas dosimétricas) foi introduzida no relatório RPT-13 da AAP, abordando a possibilidade de erros associados à localização do tumor, à localização do campo de tratamento e ao movimento do tumor e órgãos de risco. No grupo dos problemas mecânicos causadores de erro geométrico inclui-se, mas não se limita, a imprecisão do isocentro, correspondência da luz de campo com o campo de radiação ou alinhamento dos colimadores. Um ponto importante é que essa incerteza geométrica reflète-se de modo diferente em diferentes localizações de tratamento, por exemplo, zonas que seriam irradiadas na margem do campo são mais influenciadas por erros de geometria do que as estruturas que se encontram no centro do campo. (Svensson, 1994)

Deste relatório destaca-se ainda então a importância da incerteza global em detrimento da incerteza de cada aspeto.

O controlo da qualidade deve ser adaptado aos tratamentos efetuados no serviço onde o protocolo vai ser implementado, salvaguardando que as incertezas serão mantidas no mínimo possível.

No entanto, quando se introduzem técnicas especiais ou avançadas, novos testes de controle de qualidade devem ser aplicados e/ou as tolerâncias dos testes executados devem ser revistas; por exemplo, aquando da implementação da técnica de Radiocirurgia, foi introduzido o “Teste de Winston-Lutz” e os valores de tolerância para a posição do laser passou a ser 1 mm. (Svensson, 1994)

O relatório publicado em 1994, pela AAPM TG-40, inclui recomendações gerais de controle da qualidade para aceleradores lineares e é ainda hoje mundialmente utilizado. (Kutcher, et al., 1994)

Em 1994, eram poucos os departamentos de RT que tinham um acelerador linear com o sistema de colimadores multi-folhas (MLC - *MultiLeaf Collimators*). Ter um acelerador linear com sistema de colimadores assimétricos ou cunhas dinâmicas era um benefício existente em poucas instituições, assim como não era comum a existência de aquisição de imagens portais eletrónicas em EPID (*Electronical Portal Imaging Device*) muito menos CBCT (*Cone-Beam Computed Tomography*) ou imagens kV em sistemas OBI (*On-Board Image*).

O processo de “controle de respiração” era, nessa altura, ainda muito raro assim como as técnicas estereotáxicas ou a radioterapia com intensidade modulada (IMRT – *Intensity Modulated Radiation Therapy*). Por essa razão, nesse documento as especificações para estas técnicas ainda não existiam sendo atualizadas em relatórios mais recentes.(E. E. Klein, et al, 2009; Svensson, 1994)

O princípio base desse relatório é a recomendação da ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*), que refere que a dose administrada no doente deve ser igual a $\pm 5\%$ da dose prescrita.

Assim, para cada parâmetro do controle de qualidade, esse parâmetro deve ter uma tolerância igual ou inferior a 5% (ICRU, 1976). Este relatório além de apresentar uma tolerância mais apertada (2%) pretende acima de tudo avaliar os desvios entre as características que os aceleradores apresentavam à altura em que foi aceite e realizado o *comissioning* (valores *baseline*), desvios estes que se refletem em tratamentos menos ótimos. Assim, o objetivo do controle do qualidade passa por verificar que essas características se mantêm.

Existem diversas publicações de diversas instituições que descrevem procedimentos e condições de aceitação (tolerâncias para cada aspeto em avaliação), nomeadamente a AAPM (*American Association of Physicists in Medicine*) ou a ACMP (*American College of Medical Physics*). No entanto, cada instituição deve ter o seu próprio programa de controle da qualidade periódico.(E. E. Klein, et al, 2009)

As recomendações mais recentes da AAPM estão divididas em três grupos: técnicas não-IMRT, IMRT e estereotáxicas, tal abaixo apresentado na tabela 2 como podem ser vistas nas seguintes tabelas conforme a periodicidade destes testes. Estas tabelas revogam os testes que se encontravam no relatório TG-40 da AAPM que se encontravam desatualizados devido à evolução das técnicas (ICRU, 1976; E. E. Klein, et al., 2009). Não é objetivo deste relatório definir os testes a realizar para verificar estes parâmetros e cada instituição deve adaptar testes para obter esta verificação, sendo que muitos produtos no mercado que foram construídos desde que as recomendações da TG-40 foram publicadas e que permitem avaliar os parâmetros essenciais para garantir a qualidade dos aceleradores lineares.

Tabela 2 – Testes de controlo de qualidade com periodicidade diária.

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray output constancy (all energies)			
Electron output constancy (weekly, except for machines with unique e-monitoring requiring daily)		3%	
Mechanical			
Laser localization	2 mm	1.5 mm	1 mm
Distance indicator (ODI) @ iso	2 mm	2 mm	2 mm
Collimator size indicator	2 mm	2 mm	1 mm
Safety			
Door interlock (beam off)		Functional	
Door closing safety		Functional	
Audiovisual monitor(s)		Functional	
Stereotactic interlocks (lockout)	NA	NA	Functional
Radiation area monitor (if used)		Functional	
Beam on indicator		Functional	

A frequência dos testes, teve também por base o relatório da AAPM TG-40, e tenta balancear os custos da realização dos testes e o benefício da garantia da qualidade.

Os testes diários incluem a verificação da dose e da geometria do acelerador (lasers, tamanho de campo e indicador ótico de distância foco-superfície). Também devem ser avaliados diariamente aspetos que dizem respeito à segurança, incluindo testes dos *interlocks* da porta e do sistema audiovisual.

Os testes mensais são aqueles que têm menor risco de sair da tolerância definida e são geralmente realizados pelos físicos médicos, uma vez que são testes com resultados mais quantitativos.

Os testes anuais são repetição de alguns testes realizados na aceitação do acelerador.

Apesar de relatório da AAPM TG-142 ser uma referência mundial, é de esperar alguns ajustes destas recomendações de modo a se adaptar às necessidades de cada serviço. (E. E. Klein, et al., 2009)

Tabela 3 – Testes de controlo de qualidade com periodicidade mensal.

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray output constancy			
Electron output constancy		2%	
Backup monitor chamber constancy			
Typical dose rate ^a output constancy	NA	2% (@ IMRT dose rate)	2% (@ stereo dose rate, MU)
Photon beam profile constancy		1%	
Electron beam profile constancy		1%	
Electron beam energy constancy		2%/2 mm	
Mechanical			
Light/radiation field coincidence ^b		2 mm or 1% on a side	
Light/radiation field coincidence ^b (asymmetric)		1 mm or 1% on a side	
Distance check device for lasers compared with front pointer		1mm	
Gantry/collimator angle indicators (@ cardinal angles) (digital only)		1.0°	
Accessory trays (i.e., port film graticle tray)		2 mm	
Jaw position indicators (symmetric) ^c		2 mm	
Jaw position indicators (asymmetric) ^d		1 mm	
Cross-hair centering (walkout)		1 mm	
Treatment couch position indicators ^e	2 mm/1°	2 mm/1°	1 mm/0.5°
Wedge placement accuracy		2 mm	
Compensator placement accuracy ^f		1 mm	
Latching of wedges, blocking tray ^g		Functional	
Localizing lasers	±2 mm	±1 mm	< ±1 mm
Safety			
Laser guard-interlock test		Functional	
Respiratory gating			
Beam output constancy		2%	
Phase, amplitude beam control		Functional	
In-room respiratory monitoring system		Functional	
Gating interlock		Functional	

^aDose monitoring as a function of dose rate.

^bLight/radiation field coincidence need only be checked monthly if light field is used for clinical setups.

^cTolerance is summation of total for each width or length.

^dAsymmetric jaws should be checked at settings of 0.0 and 10.0.

^eLateral, longitudinal, and rotational.

^fCompensator based IMRT (solid compensators) require a quantitative value for tray position (wedge or blocking tray slot) set at a maximum deviation of 1.0 mm from the center of the compensator tray mount and the cross hairs.

^gCheck at collimator/gantry angle combination that places the latch toward the floor.

Tabela 4 – Testes de controlo de qualidade com periodicidade anual.

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray flatness change from baseline		1%	
X-ray symmetry change from baseline		±1%	
Electron flatness change from baseline		1%	
Electron symmetry change from baseline		±1%	
SRS arc rotation mode (range: 0.5–10 MU/deg)	NA	NA	Monitor units set vs delivered: 1.0 MU or 2% (whichever is greater) Gantry arc set vs delivered: 1.0° or 2% (whichever is greater)
X-ray/electron output calibration (TG-51)		±1% (absolute)	
Spot check of field size dependent output factors for x ray (two or more FSs)		2% for field size <4×4 cm ² , 1% ≥4×4 cm ²	
Output factors for electron applicators (spot check of one applicator/energy)		±2% from baseline	
X-ray beam quality (PDD ₁₀ or TMR ₁₀ ²⁰)		±1% from baseline	
Electron beam quality (R ₅₀)		±1 mm	
Physical wedge transmission factor constancy		±2%	
X-ray monitor unit linearity (output constancy)	±2% ≥5 MU	±5% (2–4 MU), ±2% ≥5 MU	±5% (2–4 MU), ±2% ≥5 MU
Electron monitor unit linearity (output constancy)		±2% ≥5 MU	
X-ray output constancy vs dose rate		±2% from baseline	
X-ray output constancy vs gantry angle		±1% from baseline	
Electron output constancy vs gantry angle		±1% from baseline	
Electron and x-ray off-axis factor constancy vs gantry angle		±1% from baseline	
Arc mode (expected MU, degrees)		±1% from baseline	
TBI/TSET mode		Functional	
PDD or TMR and OAF constancy		1% (TBI) or 1 mm PDD shift (TSET) from baseline	
TBI/TSET output calibration		2% from baseline	
Mechanical			
Collimator rotation isocenter		±1 mm from baseline	
Gantry rotation isocenter		±1 mm from baseline	
Couch rotation isocenter		±1 mm from baseline	
Electron applicator interlocks		Functional	
Coincidence of radiation and mechanical isocenter	±2 mm from baseline	±2 mm from baseline	±1 mm from baseline
Table top sag		2 mm from baseline	
Table angle		1°	
Table travel maximum range movement in all directions		±2 mm	
Stereotactic accessories, lockouts, etc.	NA	NA	Functional
Safety			
Follow manufacturer's test procedures		Functional	
Respiratory gating			
Beam energy constancy		2%	
Temporal accuracy of phase/amplitude gate on		100 ms of expected	
Calibration of surrogate for respiratory phase/amplitude		100 ms of expected	
Interlock testing		Functional	

Durante a fase de aceitação da máquina (*commissioning*), o acelerador é testado para verificar se as suas características estão de acordo com as especificações contratadas e, definir as características próprias para utilização em tratamento clínico. Durante estes dois procedimentos, são definidos os valores *baseline* para futuras medidas dosimétricas.

Um aspeto introduzido neste relatório mais recente trata da análise das cunhas dinâmicas, aspeto que não era abordado no AAPM TG-40, uma vez que nessa época era comum a utilização de filtros em cunha físicos. Pode ser observado na tabela 5 as verificações necessárias para garantir a melhor *performance* deste acessório indispensável nos tratamentos de radioterapia atuais.

Tabela 5– Procedimentos de controlo de qualidade das cunhas dinâmicas de acordo com a periodicidade

Dynamic-including EDW (Varian), virtual (Siemens), universal (Elekta) wedge quality assurance				
Frequency	Procedure	Tolerance		
		Dynamic	Universal	Virtual
Daily	Morning check-out run for one angle		Functional	
Monthly	Wedge factor for all energies	C.A. axis 45° or 60° WF (within 2%) ^a	C.A. axis 45° or 60° WF (within 2%) ^a	5% from unity, otherwise 2%
Annual	Check of wedge angle for 60°, full field and spot check for intermediate angle, field size	Check of off-center ratios @ 80% field width @ 10 cm to be within 2%		

^aRecommendation to check 45° if angles other than 60° are used.

Depois de abordados de uma forma geral, os testes de controlo da qualidade usados em RT que garantem que a dose é administrada ao doente com a maior precisão possível, iremos abordar o controlo da qualidade em técnicas de radioterapia específicas.

Técnicas conformacionais

Tendo em conta a evolução dos tempos, neste trabalho entende-se que a Radioterapia Conformacionada Tridimensional (3DCRT) está incluída nas técnicas convencionais, uma vez que na maioria dos serviços de Radioterapia esta já se trata da técnica mais básica efetuada, tendo ainda assim indicação na maioria das patologias tratadas com esta modalidade terapêutica.

Um tratamento de Radioterapia utiliza, no seu processo, uma série de equipamentos, processos e metodologias que necessitam de ser efetivamente controlados de modo a garantir que o tratamento é realizado com precisão.

Assim, para um tratamento de RT dos dias de hoje, muitos são os recursos tecnológicos mínimos que incluem *hardware* e *software* essenciais e inúmeros os procedimentos executados que devem ser verificados de forma sistemática.

Dos recursos tecnológicos minimamente exigidos devem constar um sistema de tomografia computadorizada para a aquisição de imagens com dados anatómicos e informações sobre a lesão do paciente; os serviços devem estar inseridos em unidades hospitalares que lhe facilitem o acesso a outras técnicas de imagem, como RM, PET, TC-PET, SPECT, métodos de imagem que podem complementar com especificidade diferente para diferentes pontos anatómicos; dispositivos de posicionamento e imobilização apropriados para as diferentes áreas anatómicas a tratar; unidades de terapia específicas, isto é, aceleradores lineares (AL) que produzem radiação X de energias diferentes (preferencialmente AL de baixa energia (<8 MV), e um AL de alta energia (> 12 MV) energia); sistemas de colimadores multifolhas (imprescindíveis na aplicação das técnicas mais recentes) ou então uma oficina onde se pode construir “blocos de proteção” individualizados; sistema de laser de posicionamento com especificações técnicas idênticas para ambos, simulador e unidades de tratamento; sistema de planeamento de tratamento (TPS) em 3D, ferramentas de contorno para o alvo e delimitação dos órgãos de risco (OAR); sistemas de *beam-eye-view* (BEV) e radiografia digitalmente reconstruídas (DRR); transferência automática desde o TC para a dosimetria clínica até às unidades de terapia; visualização 3D da distribuição dose (curvas de isodose e volume alvo) e DVH / cálculo estatísticas dose; sistemas e/ou dispositivos eletrónicos de aquisição de imagem (filme / EPID); e, sistemas de dosimetria *in vivo*.

Esses pré-requisitos tecnológicos devem ser integrados com o *hardware* e *software* para simulação virtual, transferência de informação automática de dados e um sistema de *record and verify* (R&V) (Begnozzi, et al., 2009)

É essencial ressaltar alguns aspetos de primordial importância para QA em 3D-CRT. São eles:

- (I) a sinergia dos diferentes profissionais que cuidam do tratamento do paciente;
- (II) a existência de instruções escritas de forma clara e exequíveis;
- (III) o estabelecimento de uma política homogénea no departamento que garanta o acesso à educação continuada de todos os profissionais; e,
- (IV) a criação de um grupo de trabalho em QA com pelo menos um representante de cada um dos principais profissionais envolvidos no tratamento, e entre o pessoal, de um sistema de partilha de informação, principalmente no que diz respeito à introdução de novas tecnologias e técnicas. (Begnozzi, et al., 2009)

Qualquer equipa responsável pelos programas de QA e QC requerem uma carga adicional de trabalho para todos os seus elementos. Porém, também o departamento deverá ter acessível todo material considerado essencial para a realização dos testes dos respetivos programas.

A técnica em 3D-CRT tem necessidades específicas quer de exigências tecnológicas quer humanas, a fim de serem cumpridos todos os requisitos necessários para garantir a remissão e/ou a cura do paciente.

Falar na técnica de 3DCRT ter-se-á obrigatoriamente de abordar alguns dos principais aspetos da física de 3D-CRT que são os seguintes: manipulação e fusão de diferentes tipos de imagens médicas; uso de um sistema de planeamento de tratamentos sofisticados 3D para otimização do plano terapêutico a aplicar; aumento de atividades de QA e de QC (por exemplo, o uso de registo e verificação dos sistemas). (Begnozzi, et al., 2009)

Outras atividades de apoio para a técnica de 3D-CRT são relativas a procedimentos de controlos da qualidade e comparações dosimétricas. Além dos procedimentos essenciais de controlo da qualidade necessários em técnicas de dose padrão com radioterapia externa, a técnica de 3D-CRT requer mais programas de QA dos sistemas e instalações em uso: MLC, dispositivos de imobilização do paciente, simulação e sistemas de aquisição de imagem, sistemas de transferência de imagem, dispositivos para a obtenção de contornos do paciente e de reconstrução de volume em 3D, sistemas de implementação do plano calculado; cálculo da dose e sistemas de visualização 3D das curvas de isodose, sistemas de aquisição de imagem de verificação do campo de tratamento e / ou sistemas de imagem baseados em documentação que conectam todas as unidades de radioterapia.

Todos os sistemas mencionados, mesmo que não sejam exclusivos da técnica 3D-CRT, são da maior importância; logo, os programas de controlo da qualidade recomendados deverão ser elaborados de acordo com as diretrizes internacionais. (Begnozzi, et al., 2009; Kutcher, et al., 1994; Van Esch, Bogaerts, Kutcher, & Huyskens, 2000)

A radioterapia conformacionada passa pela administração de radioterapia com campos com formas irregulares adaptadas ao volume a tratar, protegendo mais eficientemente os órgãos de risco. Em tempos, essa conformação conseguida através da construção de proteções, constituídas por uma liga de chumbo/cerrobend, únicas para cada doente e para cada campo de tratamento. Em termos de controlo da qualidade das proteções de chumbo, o principal critério passa por uma precisão na posição da *tray* inferior a 2mm (Tabela 3), devendo este parâmetro ser avaliado mensalmente. No entanto, apesar de esta técnica ainda ser frequentemente usada e ser altamente eficiente, é cada vez mais utilizado o sistema de colimador multi-folhas (MLC – *Multi-Leaf Collimator*). (E. E. Klein, et al., 2009)

Tabela 6 – Critérios de controlo de qualidade e tolerâncias para avaliação do colimador multi-folhas. (E. E. Klein, et al., 2009)

Procedure	Tolerance
	Weekly (IMRT machines)
Qualitative test (i.e., matched segments, aka "picket fence")	Visual inspection for discernable deviations such as an increase in interleaf transmission
	Monthly
Setting vs radiation field for two patterns (non-IMRT)	2 mm
Backup diaphragm settings (Elekta only)	2 mm
Travel speed (IMRT)	Loss of leaf speed >0.5 cm/s
Leaf position accuracy (IMRT)	1 mm for leaf positions of an IMRT field for four cardinal gantry angles. (<i>Picket fence</i> test may be used, test depends on clinical planning-segment size)
	Annually
MLC transmission (average of leaf and interleaf transmission), all energies	±0.5% from baseline
Leaf position repeatability	±1.0 mm
MLC spoke shot	≤1.0 mm radius
Coincidence of light field and x-ray field (all energies)	±2.0 mm
Segmental IMRT (step and shoot) test	<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm
Moving window IMRT (four cardinal gantry angles)	<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm

Em 1998, a AAPM TG-50 publicou um relatório dedicado ao controlo da qualidade dos colimadores multi-folhas. No entanto, neste relatório ainda não se verificavam especificações para a utilização destes instrumentos em IMRT, técnica esta que estava a emergir no mundo da RT, fazendo com que o AAPM TG-142 ainda se mantenha atualizado neste aspeto. (Boyer, 2001)

Pode ser observado na tabela 6, os aspetos a considerar no controlo da qualidade dos colimadores multi-folhas. Esta tabela apresenta aspetos que são apenas aplicados a técnicas conformacionais ou técnicas de intensidade modulada. (E. E. Klein, et al., 2009)

Radioterapia de Intensidade Modulada

Como foi referido anteriormente, os testes ao controlo da qualidade são específicos quando se trata de técnicas convencionais ou técnicas mais avançadas.

A Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) veio trazer a esta terapia uma metodologia de administrar doses mais conformacionadas aos alvos protegendo órgãos de risco adjacentes.

A intensidade modulada podia ser criada através da utilização de filtros compensadores; no entanto, desde o final da década de 1990 que começaram a ser aplicados os colimadores multi-folhas para obter essa heterogeneidade na fluência do campo de radiação.

A introdução dos colimadores multi-folhas para este tipo de técnicas exige grande precisão e, por consequência, um controlo da qualidade mais específico para responder a essa necessidade de precisão. (E. E. Klein, et al., 2009)

Em 2011, a AAPM TG-120 publicou um relatório no qual se dedica a expor as necessidades de controlo da qualidade quando se está a utilizar IMRT; esta técnica requer maior precisão na administração da radiação, cumprimento físico das lâminas do MLC e exatidão geométrica de todos os componentes do acelerador linear. (Low, Moran, Dempsey, Dong, & Oldham, 2011)

Como pode ser observado na tabela 6, quando comparado a utilização do MLC para 3DCRT, existem alguns critérios adicionais que têm de ser avaliados e as tolerâncias devem ser cumpridas de modo a que a utilização de MLC's em IMRT seja seguro. Exemplos destes testes de controlo da qualidade são o "teste da velocidade de movimento da folha" que não pode ser inferior a 0.5cm/s ou uma posição com erro inferior a 1mm testados nas quatro posições cardinais da *gantry* (0º, 90º, 180º e 270º).

Outros aspetos cuja tolerância é mais apertada quando se utiliza a IMRT é, por exemplo, a localização do laser que passa de uma tolerância da 2mm nas técnicas convencionais para 1,5mm nas técnicas de IMRT no teste diário e, para 1mm no teste mensal (Tabelas 2 e 3). (E. E. Klein, et al., 2009)

Controlo da qualidade da imagem nos aceleradores lineares

O controlo da qualidade do posicionamento do doente no acelerador é hoje em dia um ponto essencial no tratamento do cancro com radioterapia.

Inicialmente, passou pela verificação de que o tratamento planeado era o tratamento executado; no entanto, atualmente é mais do que isso.

Com a introdução das técnicas de Radioterapia por Imagem Guiada (IGRT – *Image Guided Radiation Therapy*), verificou-se um acréscimo na precisão com a qual o tratamento é administrado ao doente. O próprio procedimento de verificação do posicionamento é um tipo de controlo da qualidade.

O facto de serem utilizados sistemas de aquisição de imagem radiológica no acelerador linear implica que estes sistemas sejam frequentemente avaliados no que diz respeito à sua precisão. Atualmente, num serviço de RT faz-se aquisição de imagem planar de megavoltagem utilizando o sistema EPID (*Electronic Portal Imaging Device*), imagem planar de kilovoltagem através de um mecanismo acoplado à *gantry* do acelerador linear (OBI – *On-Board Imaging*) e a utilização destes mecanismos (kV ou MV) para aquisição de imagens de tomografia nos aceleradores (CBCT – *Cone-Beam Computed Tomography*).

Conforme o tipo de sistema usado na instituição, a AAPM recomenda testes específicos para garantir que os sistemas apresentam a precisão necessária para se obter o melhor resultado terapêutico. Essas recomendações podem ser observadas na tabela 7.

No que diz respeito à frequência dos testes de funcionalidade, estes devem ser realizados diariamente. Estes testes são realizados geralmente no *morning ckeckout* (aquecimento de manhã) pelo técnico de radioterapia. (E. E. Klein, et al., 2009)

Tabela 7 – Recomendações do relatório TG-142 da AAPM para controlo de qualidade dos sistemas de imagem de acordo com a modalidade de imagem usada nos aceleradores e técnicas de radioterapia a aplicar.

Procedure	Application-type tolerance	
	non-SRS/SBRT	SRS/SBRT
Daily^a		
Planar kV and MV (EPID) imaging		
Collision interlocks	Functional	Functional
Positioning/repositioning	≤2 mm	≤1 mm
Imaging and treatment coordinate coincidence (single gantry angle)	≤2 mm	≤1 mm
Cone-beam CT (kV and MV)		
Collision interlocks	Functional	Functional
Imaging and treatment coordinate coincidence	≤2 mm	≤1 mm
Positioning/repositioning	≤1 mm	≤1 mm
Monthly		
Planar MV imaging (EPID)		
Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	≤2 mm	≤1 mm
Scaling ^b	≤2 mm	≤2 mm
Spatial resolution	Baseline ^c	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
Planar kV imaging^d		
Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	≤2 mm	≤1 mm
Scaling	≤2 mm	≤1 mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
Cone-beam CT (kV and MV)		
Geometric distortion	≤2 mm	≤1 mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
HU constancy	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
Annual (A)		
Planar MV imaging (EPID)		
Full range of travel SDD	±5 mm	±5 mm
Imaging dose ^e	Baseline	Baseline
Planar kV imaging		
Beam quality/energy	Baseline	Baseline
Imaging dose	Baseline	Baseline
Cone-beam CT (kV and MV)		
Imaging dose	Baseline	Baseline

^aOr at a minimum when devices are to be used during treatment day.

^bScaling measured at SSD typically used for imaging.

^cBaseline means that the measured data are consistent with or better than ATP data.

^dkV imaging refers to both 2D fluoroscopic and radiographic imaging.

^eImaging dose to be reported as effective dose for measured doses per TG 75³⁶.

Radioterapia Estereotóxica / Radiocirurgia

A radioterapia estereotóxica caracteriza-se pela definição precisa da lesão a tratar através de diferentes modalidades de imagem que pode incluir tomografia computadorizada, ressonância magnética, angiografia ou outras, seguida da administração de dose com elevada precisão geométrica.

Em 1995 foi lançado pela AAPM um relatório que sintetizava os critérios a usar para garantir a qualidade deste tipo de tratamentos, quer em aceleradores de partículas pesadas, quer para a utilização de radiação X produzidos nos aceleradores lineares de elétrons para energias entre 4 e 18MeV, mas também para sistemas *gamma knife*.(Schell, 1995)

O relatório da AAPM TG-142, que tem sido a ser abordado em detalhe ao longo deste trabalho, no qual se aborda o controlo da qualidade para as técnicas mais comuns como a 3DCRT e a IMRT, faz sempre referência a tolerâncias mais apertadas quando a utilização do acelerador linear vai incluir técnicas de radioterapia estereotóxica ou radiocirurgia.

A necessidade de existir uma maior precisão neste tipo de técnicas prende-se com a pequena margem (em muitos casos margem nula) que é dada ao volume alvo para incluir erros de administração da dose e geométricos.

Pode ser observado nas tabelas 2, 3, 4 e 7 que existem tolerâncias mais apertadas para os testes quando estes se aplicam à radioterapia estereotóxica. Por exemplo, a precisão dos indicadores de posição da mesa de tratamento deixa de ser 1º (técnicas convencionais) e passa para tolerância de 0.5º e, os lazeres têm de ter no máximo 1mm de discrepância.

Alguns testes são específicos para esta técnica, nomeadamente a administração de radiação com técnicas em arco para técnicas estereotóxicas. Um arco deve ter no máximo um erro de 1MU (unidade de monitor) ou 1º de rotação da *gantry* entre o que é definido e o que é administrado.(E. E. Klein, et al., 2009)

Um dos testes realizados para verificar a precisão do isocentro da *gantry*, que passa a ter uma tolerância máxima de 1mm (comparado com 2mm para as outras técnicas), é o “Teste de Winston-Lutz” no qual se coloca um *pointer* com uma bola radiopaca colocado no *isocentro* do campo, adquirindo-se depois imagens radiográficas com diversas posições da *gantry* para verificar que em todas as posições o marcador radiopaco se encontra dentro do campo.(Yin, 2011)

A equipe multidisciplinar no controlo da qualidade

Depois da abordagem realizada anteriormente nos aspetos mais essenciais do controlo da qualidade em radioterapia verificamos que, com a evolução das técnicas terapêuticas em RT, surgiram novos paradigmas cada vez requerendo maior precisão e menor incerteza.

O aumento da precisão necessária aumenta a exigência sobre os recursos humanos que atualmente desenvolvem estas tarefas em ambiente intra-hospitalar,(E. E. Klein, et al., 2009), levantando aqui uma questão extremamente pertinente:

“Quem deve assumir a responsabilidade das tarefas do programa de QA?”

Tem sido referido ao longo deste texto de que os programas de QA e QC não são programas exclusivos de um determinado grupo de profissionais mas de uma equipa terapêutica em RT que envolve uma série de diferentes profissionais que, independentemente das suas tarefas, todos são responsáveis pelo seu envolvimento nestes processos.

Um programa de QA deve se liderado pela entidade hierarquicamente superior, passando a mensagem de que, mesmo fora do serviço de RT, a garantia da qualidade tem de ter a cooperação das entidades máximas da instituição.

Ao longo do tempo o físico hospitalar ou físico médico foi assumindo competências próprias que o tornaram num dos membros mais importantes nesta equipa, sendo que na equipa mais restrita devem existir o diretor do departamento de RT, médicos, físicos, dosimetristas, técnicos de radioterapia, enfermeiros, assistentes operacionais e administrativos. A quebra ou falha de um destes elementos, seja em que ponto da cadeia for, compromete qualquer programa de qualidade.

Não obstante a importância da equipa multidisciplinar na cadeia do controlo da qualidade, e não querendo aqui menosprezar o papel fundamental dos demais profissionais, iremos mais adiante referir-nos especificamente ao papel do técnico de radioterapia quer na equipa, quer mesmo nas suas competências, tarefas e responsabilidades em controlo de qualidade.

Responsabilidades do Técnico de Radioterapia

O Técnico de Radioterapia é, por excelência, o membro que se encontra ao longo de toda a cadeia de procedimentos em RT, sendo o único profissional que aplica o tratamento ao doente.

As suas competências são diversas no que concerne aos cuidados com o doente, uso das tecnologias de Radioterapia, otimização da dose, responsabilidade clínica, organização e gestão, garantia da qualidade, educação e treino.

As competências descritas na área da Garantia da Qualidade referem que “todas as áreas de intervenção deste profissional querem a utilização de procedimentos que garantam a qualidade de todos os cuidados prestados. O Técnico de Radioterapia integra uma equipa que desenvolve programas de controlo de qualidade no seu local de trabalho, sendo ainda responsável pela sua implementação. Para esse efeito, o Técnico deve realizar calibrações e verificações do equipamento, monitorizar continuamente a *performance* do equipamento durante os tratamentos e proceder ao registo de todos os aspetos relevantes (falhas, reparações, modificações, entre outros).” (ART-Radioterapia, s/d)

Quando um Técnico de Radioterapia começa a operar num equipamento deverá fazer um treino de integração com o objetivo de, para além de se familiarizar com as rotinas do serviço em si, ser-lhe permitido ter uma visão geral do acelerador, incluindo a familiarização completa com o *design*, características, recursos especiais, desempenho, parâmetros e controlos do acelerador.

O Técnico de Radioterapia deve ser capaz de identificar os principais componentes do equipamento.

Alguns aceleradores têm opções especiais que exigem formação especializada, e estes devem ser claramente identificados. É crucial este conhecimento para poder identificar facilmente uma falha num determinado momento. (Purdy, et al., 1993)

A identificação de uma falha deve ser passível de um registo escrito e bem documentado, numa linguagem clara e precisa, não deixando dúvidas aquando da sua comunicação ao físico médico responsável pela QA dos equipamentos. (Purdy, et al., 1993)

Assim, como é referido pelo relatório da AAPM TG-142, as responsabilidades do controlo da qualidade recaem essencialmente sobre o físico médico, o técnico de radioterapia e sobre o engenheiro responsável pelo acelerador. Não obstante, o programa de controlo da qualidade, isto é, a garantia de que todos os testes são executados e que se obtém uma precisão global

do acelerador, deve ser da responsabilidade de um só indivíduo sob risco de que o programa não seja cumprido, sendo que essa responsabilidade deva ser atribuída a um físico médico qualificado. (E. E. Klein, et al., 2009)

Além disso, o Técnico de Radioterapia deve ser capaz de detetar qualquer desvio ou mau funcionamento no equipamento, nos recursos especiais, no desempenho, nos parâmetros e controlos do acelerador; deve entender os limites de funcionamento seguro do equipamento, e deve ser capaz de avaliar quando, devido a mau funcionamento do equipamento e problemas, ou erros na proposta tratamento, deve suspender ou cessar o tratamento até que o problema seja resolvido. (Kutcher, et al., 1994)

O Técnico de Radioterapia é responsável pela administração correta do plano de tratamento prescrito e aprovado pelo médico radioterapeuta. Deve observar atenta e discretamente o seu doente no sentido de reconhecer qualquer alteração no estado do mesmo e, caso considere necessário é de sua responsabilidade antecipar a consulta com o médico radioterapeuta responsável.

De um modo geral as competências dos técnicos de Radioterapia passam por muitas tarefas entre as quais o controlo de qualidade dos equipamentos que utiliza e pelos processos nos quais está envolvido.

O técnico de radioterapia deve ter conhecimentos aprofundados de controlo de qualidade adquiridos durante a sua formação profissional e que devem ser adaptados à instituição onde integra uma equipa multidisciplinar.

O técnico de radioterapia, segundo orientações de um indivíduo responsável pelo controlo da qualidade geral do serviço, é responsável por diversos procedimentos neste campo.

No que diz respeito ao controlo da qualidade diário, realizado durante e após o aquecimento do acelerador linear, o técnico de radioterapia é normalmente responsável por verificar que a administração da radiação X se encontra dentro dos parâmetros determinados; isto é, encontra-se dentro de uma margem definida na instituição (<3% em todas as energias segundo AAPM, ver tabela 2). O mesmo procedimento é realizado semanalmente para as energias de eletrões.

Quanto às verificações da imagem, o técnico de radioterapia é responsável por verificar que os sistemas de aquisição de imagem radiológica, quer seja de megavoltagem quer seja de kilovoltagem, se encontram funcionantes e operacionais. Este procedimento deve ser realizado juntamente com os outros procedimentos de controlo da qualidade realizado tes do início dos tratamentos.(E. E. Klein, et al., 2009)

É de extrema importância que a formação do técnico de radioterapia seja fomentadora dos conceitos que envolvem o controle da qualidade e a importância deste processo.

As relações inter-multidisciplinares têm especial importância no que diz respeito a este tema; isto porque é necessária a colaboração repetida entre profissionais de diferentes classes profissionais de modo a que o processo decorra da melhor forma possível.

O técnico é o primeiro a deparar-se com qualquer alteração nos parâmetros de controle de qualidade dos aceleradores lineares e por tal deve estar bem familiarizado com os processos que garantem a qualidade de modo a atuar de forma efetiva e eficiente, quer isso passe por tomar medidas corretivas ou contatar o profissional responsável pela correção, seja o físico médico ou o engenheiro.

Material e Métodos

Este trabalho representa uma revisão da literatura e foi elaborado após uma pesquisa bibliográfica, recorrendo à utilização do *software EndNote X3* e acedendo às bases da *Medline (TS)*, *PubMed (NLM)*, *Web of Science (ISI)* e *scholar.google.pt*.

As palavras-chave utilizadas foram Quality Assurance, Quality Control, Radiotherapy e Radiation Oncology.

Numa primeira pesquisa acederam-se a 2267 artigos. Os critérios de exclusão definidos para a seleção destes artigos incluíam textos cujo título apresentavam termos relacionados com patologias, outras modalidades de tratamento em RT tal como com Braquiterapia (BT). Outros fatores de exclusão passaram por não aceder a textos não gratuitos, a textos não existentes na *Web*, assim como ao considerar da data da publicação dos mesmos (desde 1989, reforçando o período compreendido entre 2008 e 2012). Finalmente eliminaram-se os artigos que, e após a leitura dos respetivos resumos, não se coadunavam no âmbito deste trabalho.

Da aplicação de todos estes critérios de exclusão restaram 296 artigos. Destes artigos foi então feito uma releitura mais atenta dos respetivos resumos, refinando a escolha dos artigos considerados mais pertinentes para a elaboração deste texto, resultando num total de 55 artigos. Após a leitura e análise pormenorizada destes artigos foram pesquisados outros que respondessem a questões concretas que foram surgindo ao longo da investigação.

Foram abordadas técnicas especiais utilizadas em RT, baseadas na técnica de radioterapia conformacionada a 3 dimensões (3DCRT), tais como a IMRT e a RT estereotáxica.

Não foi feita qualquer abordagem à legislação atualmente aplicada em Portugal porque não era seu propósito.

Já durante a escrita do texto tentou realçar-se o papel ativo do Técnico de Radioterapia nos procedimentos de QA e QC em RT, não descurando porém, todos os demais elementos da equipa multidisciplinar em RT.

Discussão

Através da leitura bibliográfica selecionada foi possível perceber que “qualidade”, “garantia da qualidade” e “controle da qualidade” são conceitos demasiado importantes em qualquer fase do tratamento de RT.

A evolução que se tem verificado em RT não só ao nível da tecnologia como também das próprias técnicas de tratamento exige, cada vez mais, rigorosos programas de QA e QC.

Implementar programas de qualidade exige uma ocupação maior de recursos humanos e de “consumo de tempo” dos equipamentos, diminuindo o número de pacientes a tratar.

Não obstante as dificuldades encontradas na implementação de programas de qualidade exequíveis, estes são, cada vez mais, necessários e obrigatórios.

A sofisticação dos equipamentos, os equipamentos controlados por computadores, os sistemas de planeamento de tratamento com *softwares* demasiados específicos obriga a uma série de testes, baseados em recomendações internacionais.

A bibliografia consultada aborda uma série de testes pré-definidos, com realização diária, semanal, mensal e anual sobre a responsabilidade de execução do Técnico de Radioterapia, do físico médico e pelo engenheiro da empresa responsável pelo equipamento, respetivamente.

É também bastante clara a importância do físico médico e da sua enorme responsabilidade na construção, implementação e execução de programas de QA e QC.

Verificou-se ao longo de toda a leitura, o papel de todos os profissionais inseridos num departamento RT e da importância das responsabilidades de cada membro.

Talvez seja pertinente também referir de que todos os processos em QA e QC são processos dinâmicos, sempre em contínua evolução.

Conclusão

A QA em radioterapia é cada vez mais difícil dado o desenvolvimento contínuo de novas técnicas e avanços em sistemas de planeamento e de técnicas.

A QA evoluiu através do controlo da qualidade simples de máquinas de tratamento para a verificação de todo o processo de radioterapia. Os programas de QA e QC tornaram-se mais extensos, antecipando os desafios da tecnologia em evolução, e a intensidade de programas individuais foram adaptados aos objetivos de ensaios clínicos.

Os programas de garantia da qualidade global acabaram por estabelecer melhores práticas e um maior cuidado na aplicação do tratamento ao paciente.

Com base na experiência do passado, as técnicas de tratamento sofisticadas da RT moderna deverão continuar a evoluir mais e mais, exigindo um programa de garantia de qualidade cada vez mais complexo e eficaz.

A abordagem de racionalização para a garantia da qualidade é uma prioridade para melhorar a eficiência, reduzindo a carga de trabalho nos diversos centros.

A elaboração deste trabalho fez-nos suscitar algumas questões tais como:

- Afinal quais são os testes certos e exequíveis agora?
- Devem ser realizados por quem?
- Devem ser criadas equipas especialmente dedicadas?

Fica aqui uma sensação de trabalho inacabado face à quantidade de informação colhida durante a leitura da bibliografia consultada.

Será que esta tarefa tem um fim?

Afinal, a qualidade de hoje não é mais a qualidade de amanhã.

“Everything seems impossible, until it is done.”
Nelson Mandela (s/d)

Referências Bibliográficas

- ART-Radioterapia. (s/d). Perfil do Técnico de Radioterapia. from http://www.art-radioterapia.org/?page_id=19
- Begnozzi, L., Benassi, M., Bertanelli, M., Bonini, A., Cionini, L., Conte, L., et al. (2009). Quality assurance of 3D-CRT: indications and difficulties in their applications. *Crit Rev Oncol Hematol*, 70(1), 24-38.
- Boyer, A. B., P.; Galvin, J.; Klein, E.; LoSasso, T.; Low, D.; Mah, K.; Yu, C. (2001). Basic applications of multileaf collimators, AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 50 Report No. 72.
- Fraass, B., Doppke, K., Hunt, M., Kutcher, G., Starkschall, G., Stern, R., et al. (1998). American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys*, 25(10), 1773-1829.
- Fraass, B. A. (2008). Errors in radiotherapy: motivation for development of new radiotherapy quality assurance paradigms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 71(1 Suppl), S162-165.
- Huq, M. S., Fraass, B. A., Dunscombe, P. B., Gibbons, J. P., Jr., Ibbott, G. S., Medin, P. M., et al. (2008). A method for evaluating quality assurance needs in radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 71(1 Suppl), S170-173.
- ICRU. (1976). International Commission on Radiation Units and Measurements: Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x- or gamma-rays in radiotherapy procedures, ICRU Report 24.
- Ikeda, H. (2002). Quality assurance activities in radiotherapy. *Jpn J Clin Oncol*, 32(12), 493-496.
- Ishikura, S. (2008). Quality assurance of radiotherapy in cancer treatment: toward improvement of patient safety and quality of care. *Jpn J Clin Oncol*, 38(11), 723-729.

- Klein, E. E., et al. (2009). Quality assurance of medical accelerators. Task Group 142 report. 36, n.9, *Med.Phys.*
- Klein, E. E., Hanley, J., Bayouth, J., Yin, F. F., Simon, W., Dresser, S., et al. (2009). Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. *Med Phys*, 36(9), 4197-4212.
- Klein, E. E., Low, D. A., Maag, D., & Purdy, J. A. (1996). A quality assurance program for ancillary high technology devices on a dual-energy accelerator. *Radiother Oncol*, 38(1), 51-60.
- KU, H. H. e. (1969). Precision Measurement and Calibration. *MBS Special Publication 300*, 1.
- Kutcher, G. J., Coia, L., Gillin, M., Hanson, W. F., Leibel, S., Morton, R. J., et al. (1994). Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med Phys*, 21(4), 581-618.
- Lisbona, A., Francois, P., & Tomsej, M. (2010). [Quality assurance in radiotherapy]. *Bull Cancer*, 97(7), 867-872.
- Low, D. A., Moran, J. M., Dempsey, J. F., Dong, L., & Oldham, M. (2011). Dosimetry tools and techniques for IMRT. *Med Phys*, 38(3), 1313-1338.
- Palta, J. R., Liu, C., & Li, J. G. (2008). Current external beam radiation therapy quality assurance guidance: does it meet the challenges of emerging image-guided technologies? *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 71(1 Suppl), S13-17.
- Purdy, J. A., Biggs, P. J., Bowers, C., Dally, E., Downs, W., Fraass, B. A., et al. (1993). Medical accelerator safety considerations: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 35. *Med Phys*, 20(4), 1261-1275.
- Saw, C., Ferenci, M., & Wanger, H., Jr. (2008). Technical aspects of quality assurance in radiation oncology. *Biomed Imaging Interv J*, 4(3), e48.
- Schell, M. C. B., F.J.; Larson, D.A.; et al. (1995). Stereotactic Radiosurgery. Report N. 54, Task Group 42 Radiation Therapy Committee. *AAPM*.

- Schulz, R. J. A., Peter R.; Cunningham, Jonh R.; Holt, J. Garrett; Loevinger, Robert; Suntharalingam, Nagalingam; Wright, Kenneth A.; Nath, Ravinder; Lempert, Geoffrey D. (1983). A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Task Group 21, Radiation Therapy Committee. *Med Phys*, 10 (6).
- Svensson. (1994). Physical Aspects of Quality Assurance in Radiation Therapy. Report 13, Task Group 24 & Task Group 22.
- Svensson, G. K. (1989). Quality assurance in external beam radiation therapy. *Radiographics*, 9(1), 169-182.
- Thomadsen, B. (2008). Critique of traditional quality assurance paradigm. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 71(1 Suppl), S166-169.
- Van Esch, A., Bogaerts, R., Kutcher, G. J., & Huyskens, D. (2000). Quality assurance in radiotherapy by identifying standards and monitoring treatment preparation. *Radiother Oncol*, 56(1), 109-115.
- WHO, W. H. O. (2012). Cancer - Key facts. 2012, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/>.
- Yeung, T. K., Bortolotto, K., Cosby, S., Hoar, M., & Lederer, E. (2005). Quality assurance in radiotherapy: evaluation of errors and incidents recorded over a 10 year period. *Radiother Oncol*, 74(3), 283-291.
- Yin, F. F. (2011). Treatment Quality Assurance for Linac Based SRS/SBRT. In A. n. S. 2011 (Ed.). Myrtle Beach, SC.

Bibliografía Consultada

- Begnozzi, L., M. Benassi, et al. (2009). "Quality assurance of 3D-CRT: indications and difficulties in their applications." *Crit Rev Oncol Hematol* 70(1): 24-38.
- Bissonnette, J. P., P. A. Balter, et al. (2012). "Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: a report of the AAPM TG-179." *Med Phys* 39(4): 1946-1963.
- Bissonnette, J. P., D. Moseley, et al. (2008). "Quality assurance for the geometric accuracy of cone-beam CT guidance in radiation therapy." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S57-61.
- Caudrelier, V., R. Garcia, et al. (2005). "[Cost of quality assurance in radiotherapy: human and material requirements]." *Cancer Radiother* 9(6-7): 444-448.
- Dixon, P. and B. O'Sullivan (2003). "Radiotherapy quality assurance: time for everyone to take it seriously." *Eur J Cancer* 39(4): 423-429.
- Dubray, B., I. Barillot, et al. (2003). "[Quality control during radiation therapy]." *Cancer Radiother* 7(4): 274-279.
- Fraass, B., K. Doppke, et al. (1998). "American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning." *Med Phys* 25(10): 1773-1829.
- Radiotherapy quality assurance paradigms." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S162-165.
- Gallagher, M. J. (1996). "International quality control/quality assurance." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 34(4): 965-967.

- Hunt, M. A., G. Pastrana, et al. (2012). "The impact of new technologies on radiation oncology events and trends in the past decade: an institutional experience." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 84(4): 925-931.
- Huq, M. S., B. A. Fraass, et al. (2008). "A method for evaluating quality assurance needs in radiation therapy." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S170-173.
- Ikeda, H. (2002). "Quality assurance activities in radiotherapy." *Jpn J Clin Oncol* 32(12): 493-496.
- Ishikura, S. (2008). "Quality assurance of radiotherapy in cancer treatment: toward improvement of patient safety and quality of care." *Jpn J Clin Oncol* 38(11): 723-729.
- Klein, E. E., J. Hanley, et al. (2009). "Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators." *Med Phys* 36(9): 4197-4212.
- Klein, E. E., D. A. Low, et al. (1996). "A quality assurance program for ancillary high technology devices on a dual-energy accelerator." *Radiother Oncol* 38(1): 51-60.
- Kouloulis, V. E. (2003). "Quality assurance in radiotherapy." *Eur J Cancer* 39(4): 415-422.
- Kutcher, G. J., L. Coia, et al. (1994). "Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40." *Med Phys* 21(4): 581-618.
- Leer, J. W., R. Corver, et al. (1995). "A quality assurance system based on ISO standards: experience in a radiotherapy department." *Radiother Oncol* 35(1): 75-81.
- Levitt, S. H. and F. Khan (1994). "Quality assurance in radiation oncology." *Cancer* 74(9 Suppl): 2642-2646.
- Lisbona, A., P. Francois, et al. (2010). "[Quality assurance in radiotherapy]." *Bull Cancer* 97(7): 867-872.

- Mijnheer, B. J. (1992). "Quality assurance in radiotherapy: physical and technical aspects." *Qual Assur Health Care* 4(1): 9-18.
- Miles, E. and K. Venables (2012). "Radiotherapy quality assurance: facilitation of radiotherapy research and implementation of technology." *Clinical oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))* 24(10): 710-712.
- Morgan, T. L., D. A. Banks, et al. (1998). "Radiation therapy port films: a quality assurance study." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 42(1): 223-227.
- Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. TEC DOC - 1151: aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Rio de Janeiro : INCA, 2000.
- Nath, R., P. J. Biggs, et al. (1994). "AAPM code of practice for radiotherapy accelerators: report of AAPM Radiation Therapy Task Group No. 45." *Med Phys* 21(7): 1093-1121.
- Palta, J. R., C. Liu, et al. (2008). "Current external beam radiation therapy quality assurance guidance: does it meet the challenges of emerging image-guided technologies?" *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S13-17.
- Pawlicki, T. and A. J. Mundt (2007). "Quality in radiation oncology." *Med Phys* 34(5): 1529-1534.
- Portaluri, M., S. Casciaro, et al. (2005). "Quality assurance in radiotherapy. How to improve the effectiveness and completeness of an electronic patient's chart." *Ann Ist Super Sanita* 41(4): 493-499.
- Purdy, J. A., P. J. Biggs, et al. (1993). "Medical accelerator safety considerations: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 35." *Med Phys* 20(4): 1261-1275.
- Purdy, J. A., E. E. Klein, et al. (1995). "Quality Assurance and Safety of New Technologies for Radiation Oncology." *Semin Radiat Oncol* 5(2): 156-165.

- Saw, C., M. Ferenci, et al. (2008). "Technical aspects of quality assurance in radiation oncology." *Biomed Imaging Interv J* 4(3): e48.
- Sharpe, M. and K. K. Brock (2008). "Quality assurance of serial 3D image registration, fusion, and segmentation." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S33-37.
- Shortt, K., L. Davidsson, et al. (2008). "International perspectives on quality assurance and new techniques in radiation medicine: outcomes of an IAEA conference." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S80-84.
- Siochi, R. A., P. Balter, et al. (2011). "A rapid communication from the AAPM Task Group 201: recommendations for the QA of external beam radiotherapy data transfer. AAPM TG 201: quality assurance of external beam radiotherapy data transfer." *J Appl Clin Med Phys* 12(1): 3479.
- Svensson, G. K. (1989). "Quality assurance in external beam radiation therapy." *Radiographics* 9(1): 169-182.
- Thomadsen, B. (2008). "Critique of traditional quality assurance paradigm." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S166-169.
- Thwaites, D., P. Scalliet, et al. (1995). "Quality assurance in radiotherapy. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology Advisory Report to the Commission of the European Union for the 'Europe Against Cancer Programme'." *Radiother Oncol* 35(1): 61-73.
- Van Dyk, J. (2008). "Quality assurance of radiation therapy planning systems: current status and remaining challenges." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S23-27.
- Van Esch, A., R. Bogaerts, et al. (2000). "Quality assurance in radiotherapy by identifying standards and monitoring treatment preparation." *Radiother Oncol* 56(1): 109-115.

- Weber, D. C., P. M. Poortmans, et al. (2011). "Quality assurance for prospective EORTC radiation oncology trials: the challenges of advanced technology in a multicenter international setting." *Radiother Oncol* 100(1): 150-156.
- Williamson, J. F., P. B. Dunscombe, et al. (2008). "Quality assurance needs for modern image-based radiotherapy: recommendations from 2007 interorganizational symposium on "quality assurance of radiation therapy: challenges of advanced technology"." *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl): S2-12.
- Yeung, T. K., K. Bortolotto, et al. (2005). "Quality assurance in radiotherapy: evaluation of errors and incidents recorded over a 10 year period." *Radiother Oncol* 74(3): 283-291.
- <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/index.html>, acessado em 21 de Dezembro de 2012, pelas 16h.