

## OTIMIZAÇÃO APLICADA AO PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA

Paulo Z. Leonel<sup>1</sup>, Daniela Renata Cantane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP, Depto. Bioestatística, Botucatu, Brasil.

**Introdução:** A radioterapia é uma especialidade médica que faz uso de radiação ionizante voltada para pacientes diagnosticados com câncer. Nos tratamentos são geralmente utilizados feixes de radiação de alta energia para matar as células tumorais, mas é muito difícil direcionar estes feixes para apenas as células doentes. Com ferramentas e softwares específicos fica viável obter um planejamento computadorizado que calcule a dose de radiação, além de gerar uma melhor distribuição da mesma. Dessa forma, esse projeto faz o estudo de um modelo matemático de otimização aplicado ao planejamento de tratamento por radiação que tem por objetivo minimizar a dose emitida para as áreas que estão ao redor da parte tumoral, onde esta radiação pode ser de efeito danoso e, ao mesmo tempo, garante a dose mínima prescrita para o tumor.

**Métodos:** O modelo matemático de otimização aplicado ao planejamento de radioterapia, na forma padrão, isto é, contendo apenas restrições de igualdade, proposto por Holder (2003) é dado por:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \omega l^T t + u_c^T c + u_g^T g \\
 \text{s.a.} \quad & l_t - Lt \leq A_T x \leq u_t \\
 & A_c x \leq u_c + U_c c \\
 & A_g x \leq u_g + U_g g \\
 & 0 \leq Lt \leq l_t \\
 & -u_c \leq U_c c \\
 & U_g g \geq 0 \\
 & x \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Em que, a função objetivo é representada pela soma ponderada de três metas:  $l_t^T t$ , mede o quanto alta para que o plano consiga aplicar a dose mínima na região do tumor;  $u_c^T c$  mede a quantidade de radiação acima da prescrita recebida pela região crítica;  $u_g^T g$  mede a quantidade de radiação acima da prescrita nos demais tecidos saudáveis;  $\omega$  é escalar positivo;  $x$  é a dose do sub-raio que entra na imagem para alcançar o pixel  $p$ ;  $u_t$  representa o vetor de limite superior para a radiação no tumor,  $u_c$  na estrutura crítica e  $u_g$  no restante de tecido saudável;  $l_t$  representa o vetor de limite inferior para radiação na estrutura crítica;  $A_T$ (tumor),  $A_c$ (estrutura crítica) e  $A_g$ (restante de tecido saudável) são sub-matrizes. As três últimas restrições são denominadas elásticas, pois seus limites podem variar de acordo com os vetores  $t$ ;  $c$  e  $g$ , respectivamente. As matrizes  $L$ ,  $U_c$  e  $U_g$  definem como medir a elasticidade e  $l$ ,  $u_c$  e  $u_g$  controlam a penalização ou recompensa com relação à elasticidade.

**Resultados e Discussões:** A solução do Modelo (1) foi encontrada utilizando o software Matlab R2012a por meio do Método Simplex e considerou-se a análise média e a análise absoluta. O primeiro método minimiza a dose média recebida pelo tumor para que ela não ultrapasse o limite prescrito além da dose média recebida nas regiões crítica e saudável. Já o segundo minimiza a dose máxima recebida pelo tumor e nas regiões crítica e saudável. Foi utilizado um problema com 66 pixels para a região tumoral, 78 para a crítica e 3952 para a saudável, simulando um problema real de tumor de próstata. Foi considerado uma dose (tg) tumoral de 80Gy com variação de 2%, verificando-se os limites superior ( $u_t$ ) e inferior ( $l_t$ ), que são 81,57Gy e 78,42Gy, respectivamente. Na Tabela 1, são apresentados os valores da função objetivo  $z$  para cada um dos três casos analisados e pode-se notar que a função objetivo, para as duas análises, foi minimizada.

Tabela 1 – Função objetivo  $z$  e interpretação dos resultados para as análises média e absoluta

Casos	Análise Média			Análise Absoluta		
	15 x 64 x 10	5 x 64 x 32	1 x 64 x 32	15 x 64 x 10	5 x 64 x 32	1 x 64 x 32
Fç. Obj (z)	-1,9059.10 <sup>3</sup>	-1,8872.10 <sup>3</sup>	-820,56	-10,857	-10,457	55,200
Pixel quente	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não

**Conclusões:** O modelo de programação linear proposto por Holder (2003) mostrou-se eficiente para auxiliar o planejamento ótimo, minimizando a dose nas regiões ao redor do tumor, visto que, permitiu-se elaborar um plano de distribuição de dose em que todas as células tumorais recebem a radiação mínima necessária para sua eliminação e as regiões, crítica e saudável não recebem radiação acima a qual foi prescrita. Portanto, o planejamento otimizado obteve sucesso tanto na deposição total da dose nas regiões alvo quanto na deposição de dose dentro do limite prescrito para tecidos críticos e saudáveis. Os gráficos de contorno sobre o padrão de deposição de dose e de nível de radiação sobre o plano para cada caso estudado serão apresentados no dia do evento.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, processo nº 2015/18921-0, pela bolsa de iniciação científica.