

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

RADIAÇÃO IONIZANTE: EFEITOS SOBRE A AQUISIÇÃO E O DESEMPENHO
DO COMPORTAMENTO OPERANTE

Laércia Abreu Vasconcelos

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de Brasília, como requisito
parcial para obtenção do título de Doutor em
Psicologia.

Orientador:
Professor Dr. Lincoln da Silva Gimenes

Brasília-DF, março de 1999.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE PSICOLOGIA

ESTA TESE DE DOUTORADO FOI EXAMINADA E APROVADA
PELA SEGUINTE COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Lincoln da Silva Gimenes (Presidente)
Universidade de Brasília

Profª. Dra. Maria Teresa Araújo Silva
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. José Carlos Simões Fontes
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Jorge Mendes de Oliveira Castro Neto
Universidade de Brasília

Prof. Dr. João Claudio Todorov
Universidade de Brasília

Brasília-DF, março de 1999

À minha mãe, pelo modelo de seriedade e persistência em busca de qualificação profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Lincoln da Silva Gimenes, pela valiosa orientação durante todas as fases deste trabalho.

Aos professores Dr. João Claudio Todorov, Dr. Jorge Mendes Oliveira Castro e Dr. Antonio de Freitas Ribeiro, pelas sugestões para o desenvolvimento do projeto.

Aos membros titulares da banca examinadora, professores Dra. Maria Teresa Araújo Silva, Dr. José Carlos Simões Fontes, Dr. João Claudio Todorov e Dr. Jorge Mendes Oliveira Castro, e aos membros suplentes, professores Dr. Antonio de Freitas Ribeiro e Dra. Elenice Seixas Hanna.

À professora Dra. Josele Abreu Rodrigues, pelas importantes discussões na fase inicial do projeto.

Aos físicos Kátia C. Caballero e Júlio L. Rodrigues, pela participação fundamental nos procedimentos de radiação e pela orientação quanto à área de física nuclear aplicada.

Ao Dr. Albino Verçosa de Magalhães, pela contribuição e orientação quanto à análise histológica dos animais expostos à radiação.

Ao Eanes Bessoni de Melo, pela sua disponibilidade e imprescindível colaboração no desenvolvimento de um programa para análise dos dados.

Às alunas Alessandra M. Brandão, Cristina A. Tubino e Tânia N. Nogueira, pela participação e dedicação na fase inicial de coleta e análise dos dados.

À aluna Angelucci Veloso Rodrigues, pela participação e dedicação em toda a fase final de coleta dos dados.

Aos funcionários do laboratório de Análise Experimental do Comportamento, Abadia, Ademar, Francisco e Salete, pelo apoio quanto ao cuidado dos animais e à manutenção dos equipamentos.

ÍNDICE

	Página:
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE QUADRO E TABELA	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO	01
Radiação ionizante: Definições, grandezas, unidades de medida e efeitos	02
Radiação ionizante: Estudos psicológicos com sujeitos humanos	08
Radiação ionizante: Estudos psicológicos com sujeitos infra-humanos	13
Variáveis que interagem com os efeitos da radiação ionizante	22
Contingências consequenciais nos estudos da radiação ionizante	26
Objetivos	35
MÉTODO	39
RESULTADOS	52
DISCUSSÃO	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

LISTA DE QUADRO E TABELA

Página:

Quadro

1. Representação das respostas nos procedimentos A e B 45

Tabela

1. Seqüências de condições experimentais 46

LISTA DE FIGURAS

Página:

Figura

1. Desenho esquematizado do painel de respostas	41
2. Vista frontal do acelerador linear	47
3. Esquema de funcionamento do acelerador linear.....	48
4. Esquema do fantoma utilizado no procedimento de irradiação	49
5. Esquema da técnica de percentual de dose profunda	50
6. Erros nos componentes de aquisição e desempenho nos procedimentos A e B	53
7. Erros por tipo de seqüência no procedimento A	55
8. Erros por tipo de seqüência no procedimento B	56
9. Erros intra-sessão nos componentes de aquisição e desempenho.....	58
10. Erros em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento A	60
11. Erros em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento A	62
12. Erros em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento B	63
13. Erros em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento B	65
14. Seqüências sem erros em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento A	67
15. Seqüências sem erros em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento A	68

16. Seqüências sem erros em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento B	70
17. Seqüências sem erros em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento B	71
18. Proporção de erros nas três barras em cada seqüência, pré-irradiação.....	73
19. Proporção de erros nas três barras em cada seqüência, pós-irradiação, no procedimento A	74
20. Proporção de erros nas três barras em cada seqüência, pós-irradiação, no procedimento B	76
21. Taxa de respostas em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento A	78
22. Taxa de respostas em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento A	79
23. Taxa de respostas em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento B	80
24. Taxa de respostas em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento B	82
25. Taxa de respostas por sessão pós-irradiação, no procedimento A	84
26. Taxa de respostas por sessão pós-irradiação, no procedimento B	85
27. Reforços obtidos em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento A	87
28. Reforços obtidos em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento A	88

29. Reforços obtidos em função da dose, 24 horas pós-irradiação, no procedimento B	89
30. Reforços obtidos em função da dose, 48 horas pós-irradiação, no procedimento B	90
31. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 3,0 Gy, no procedimento A	92
32. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 6,0 Gy, no procedimento A	94
33. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 8,0 Gy, no procedimento A	96
34. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 3,0 Gy, no procedimento B	97
35. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 6,0 Gy, no procedimento B	98
36. Registro cumulativo de sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 8,0 Gy, no procedimento B	99
37. Erros por seqüência nos componentes de aquisição e desempenho	102

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar, utilizando ratos como sujeitos, os efeitos de múltiplas exposições à radiação gama sobre os comportamentos mantidos em dois procedimentos de esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho. Com uma câmara experimental contendo três barras dispostas horizontalmente, esquerda (e), central (c) e direita (d), diferentes níveis de complexidade foram programados para os procedimentos A e B. Nos dois procedimentos, uma nova seqüência de três respostas foi programada a cada sessão (edc, cde, ced, dec, ecd) para o componente de aquisição, enquanto, no componente de desempenho, uma mesma seqüência foi mantida em todas as sessões (dce). A conclusão de três seqüências (nove respostas) era seguida de reforço e respostas incorretas eram seguidas de *timeout*, sem procedimentos de correção. No procedimento A, as seqüências eram constituídas por uma resposta em cada barra (por exemplo, cde→ cde→cde→reforço) enquanto no procedimento B uma seqüência era constituída por três respostas numa mesma barra, sendo que as próximas três respostas deveriam ocorrer numa outra barra (por exemplo, ccc→ddd→eee→reforço). Seis sujeitos foram treinados em cada um dos procedimentos. Dados de linha de base mostraram, por meio da medida de porcentagem de erros, que o procedimento B, apesar de mais complexo, apresentou um nível de dificuldade menor do que o procedimento A: os sujeitos no procedimento B emitiram, em geral, um menor número de erros por sessão. Após o treinamento nesses procedimentos de aquisição repetida e desempenho, os sujeitos foram expostos a doses de radiação ionizante de 3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy, com um intervalo mínimo de 45 dias entre as exposições. Nas medidas de taxa de respostas e reforços obtidos, os

resultados mostraram uma relação de dose-resposta, com maior redução nas taxas e no número de reforços nas maiores doses. A porcentagem de erros foi maior após as doses de 6,0 e 8,0 Gy nos componentes de desempenho, enquanto alterações nos padrões de erros ocorreram no componente de aquisição. Os efeitos da radiação foram mais evidentes e ordenados no procedimento A, definido como menos complexo que o procedimento B, mas com um maior nível de dificuldade, o que indica que dificuldade, e não complexidade, possa ser a variável mais sensível aos efeitos da radiação ionizante. Por outro lado, os níveis de alterações nas taxas de respostas não foram acompanhados por níveis comparados nas medidas de erros, além de os efeitos terem sido mais evidentes nos componentes de desempenho. Esses dados sugerem que a aprendizagem de um novo comportamento é mais radiorresistente aos efeitos de doses subletais de radiação ionizante do que o desempenho de um comportamento já bem estabelecido.

ABSTRACT

The present study, using rats as subjects, attempted to assess the effects of multiple exposures to gamma radiation upon behavior in two procedures of a multiple schedule of repeated acquisition and performance. With an experimental chamber containing three levers displaced horizontally, left (l), center (c) and right (r), different levels of complexity were programmed for procedures A and B. In both procedures a new sequence of three responses was programmed for each session (lcr, lrc, clr, crl, rlc) for the acquisition component, whereas for the performance component the same sequence was maintained throughout the sessions. The completion of three sequences (nine responses) was followed by reinforcement and incorrect responses were followed by timeout without correction procedures. In procedure A the sequences consisted of one response in each lever (for example, crl→crl→crl→reinforcement) while in procedure B a sequence consisted of three responses in the same lever, with the following three responses having to occur in a different lever (for example, ccc→rrr→lll→reinforcement). Six subjects were trained in each procedure. Base line data showed, by means of error percentage, that procedure B regardless of being more complex represented a lower difficulty level than procedure A: subjects in procedure B displayed, in general, a lower number of errors per session. After training in these procedures of repeated acquisition and performance, the subjects were exposed to doses of ionizing radiation of 3.0, 4.5, 6.0 and 8.0 Gy, with an interval of 45 days between exposures. With measures of response rate and obtained reinforcers, the data showed a dose-response relation, with higher doses producing lower rates of responses and reinforcers. Percentage of errors was higher after doses of 6.0 and 8.0 Gy in the

performance component, while changes in error patterns occurred in the acquisition component. The effects of radiation was more evident and orderly in procedure A, defined as less complex than procedure B, but with a higher level of difficulty, This shows that difficulty and not complexity might be the more sensitive variable to the effects of ionizing radiation. On the other hand, the changes in response rate were not followed by comparable changes in errors and moreover, the effects were more evident in the performance component. These results suggest that learning of a new behavior is more radioresistant to the effects of sublethal doses of ionizing radiation than the performance of a behavior well established.

As radiações ionizantes (nucleares e atômicas) estão presentes na vida dos seres vivos partindo de várias fontes naturais (*background* ou radiação de fundo) e do *follow up* radioativo das explosões nucleares. Desde as radiações cósmicas que alcançam o planeta Terra, passando pela radiação da crosta terrestre (onde condições geológicas e geoquímicas mantêm acúmulo de minerais que contêm elementos radioativos tais como o Potássio ^{40}K , Carbono ^{14}C , as famílias do urânio, tório e actínio), até na construção de casas e edifícios com muitos materiais que contêm Urânio ^{238}U e Tório ^{232}Th e seus radionuclídeos filhos, que provocam, em algumas regiões, aumento do nível de radiação do ar, no interior das residências, devido ao gás radônio (nuclídeo filho) emitido pelas paredes. Finalmente, o próprio corpo humano emite radiações beta, produzidas pelos núcleos do ^{40}K isótopo radioativo de potássio (fracamente radioativo), associado ao tecido gorduroso, presente principalmente na musculatura, ou pelo ^{14}C isótopo do carbono presente em todos os tecidos orgânicos (Pereira, 1992; Wahlström, 1992).

Os critérios sobre os riscos da radiação têm sido periodicamente revistos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e por órgãos nacionais responsáveis pela adequação e adoção das normas internacionais de proteção radiológica (Okuno, 1988; Richardson, 1990). No Brasil a entidade responsável pela normatização das atividades com radiação ionizante e nuclear é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEM). As normas de radioproteção enfocavam, inicialmente, efeitos determinísticos das radiações, e, após os anos 50, esse critério foi redirecionado para os efeitos probabilísticos ou estocásticos (Reitan, 1993).

Os efeitos da radiação a longo prazo sobre o comportamento humano são de interesse tanto para agências civis quanto militares. As estimativas sobre as relações entre doses de radiação ionizante e riscos para a saúde, como, por exemplo, a incidência de

câncer, são extremamente complexas. Os efeitos podem ser determinísticos, detectados logo após a exposição, ou a longo prazo, com comprometimento somático, afetando a pessoa irradiada, ou hereditário, estendendo-se a gerações futuras. Os efeitos hereditários no homem são estimados a partir de outras espécies, o que leva à hipótese de que, sob doses apropriadas, esses efeitos podem também ser induzidos no homem (Silini, 1991).

A partir de 1946, que marca o início da era moderna da ciência nuclear, um número crescente de artigos referentes aos efeitos comportamentais das radiações ionizantes tem sido apresentado (Furchtgott, 1963). Na radiobiologia comportamental, os fenômenos induzidos por radiação vêm sendo pesquisados mediante diferentes paradigmas comportamentais, utilizando diferentes espécies animais (Mickley, Bogo, Landauer & Mele, 1988). "O impacto dos materiais radioativos (radionuclídeos) na pesquisa tem sido comparado ao impacto produzido pela criação do microscópio" (Tauhata & Almeida, 1984, p.21). Destaque é dado ao papel das radiações como instrumentos de pesquisa potencialmente úteis na análise de muitos problemas comportamentais. O crescente uso da energia atômica justifica investimentos em pesquisas sobre os efeitos biológicos e comportamentais da radiação.

RADIAÇÃO IONIZANTE:

DEFINIÇÕES, GRANDEZAS, UNIDADES DE MEDIDAS E EFEITOS

O átomo é a menor parte da matéria que mantém todas as propriedades químicas e físicas de um elemento. Cada átomo consiste de um núcleo, uma pequena e densa região central (diâmetro da ordem de 10^{-14} mm), cercado pela eletrosfera, uma nuvem de elétrons, que se movimenta ao redor do núcleo em órbitas com raio da ordem de 10^{-10} mm. A massa

dos elétrons é muito menor do que a massa do núcleo, porém, sua natureza difusa, com movimentos aleatórios, ocupa um grande espaço do átomo (Johns, 1983).

Os átomos são classificados de acordo com o conteúdo e a forma de organização de seu núcleo e de seus elétrons. O número de elétrons do átomo é chamado de número atômico (Z) e, no núcleo atômico, existem duas partículas fundamentais denominadas próton e nêutrons referidas como núcleons. Os prótons são partículas com carga elétrica positiva de mesmo valor e sinal oposto à carga elétrica dos elétrons. Como o átomo é eletricamente neutro, para cada próton no núcleo existe um elétron na eletrosfera. Assim, o número atômico representa tanto o número de elétrons, fora do núcleo de um átomo neutro, como o número de prótons dentro dele (Johns, 1983; Scaff, 1997).

O número total de núcleons (prótons e nêutrons) é chamado de número de massa (A). Como Z representa o número de elétrons, então $A-Z$ representa o número de nêutrons no átomo. Qualquer sistema de núcleons que tenha existência suficientemente longa para ser identificado é chamado nuclídeo. A notação mais usual utilizada para a representação de um nuclídeo é aquela na qual estão presentes o símbolo do elemento químico, seu número atômico e seu número de massa, dispostos na seguinte forma : ${}_Z X^A$. Os nuclídeos que têm o mesmo número de prótons e diferentes números de nêutrons são chamados isótopos. Os nuclídeos que possuem o mesmo número de massa e diferentes números atômicos são chamados isóbaros, e os nuclídeos que possuem o mesmo número de nêutrons são chamados isótonos (Scaff, 1997).

Em geral, os nuclídeos são estáveis, ou seja, existe um equilíbrio na razão entre os números de nêutrons e de prótons no núcleo atômico. Para os nuclídeos mais leves essa razão é de aproximadamente 1,0, enquanto para os nuclídeos pesados ela é de aproximadamente 1,4 (Hendee, 1996). Os nuclídeos instáveis, que não têm um bom

balanceamento na razão (nêutrons/elétrons), tendem a mudar a configuração da quantidade de nêutrons e prótons para encontrar uma condição mais estável. A mudança de configuração é acompanhada pela emissão de radiação corpuscular ou eletromagnética altamente energética, o chamado *processo de decaimento radioativo*, com uma perda substancial de energia acompanhada de uma transformação espontânea de um nuclídeo para outro. Portanto, radiação é a propagação de energia através do espaço ou da matéria. A radiação corpuscular é constituída de partículas subatômicas tais como elétrons, prótons, nêutrons, alfas em altas velocidades, enquanto as radiações eletromagnéticas (fótons) não possuem massa. Radiações eletromagnéticas são todas as radiações que possuem oscilações de campos elétricos e magnéticos e cuja propagação de ondas viaja à velocidade da luz e diferem somente pela frequência de emissão, ou seja, quanto maior a frequência maior será a energia associada à radiação (Hendee, 1996; Scaff, 1997). A radiação ionizante, um exemplo de radiação eletromagnética, ao atravessar a matéria produz pares de íons (cargas positivas e negativas). As radiações carregadas eletricamente, como, por exemplo, o feixe de elétrons ou prótons, são denominadas diretamente ionizante e as radiações eletricamente neutras são denominadas indiretamente ionizante, por exemplo, o feixe de fótons ou nêutrons (Johns, 1983; Scaff, 1997).

O processo de decaimento radioativo de uma amostra contendo nuclídeos instáveis é probabilístico. O intervalo de tempo para um átomo instável decair é o tempo exigido para metade dos átomos instáveis decaírem. Esse intervalo de tempo é denominado *meia-vida* de uma coleção de átomos. Todo radionuclídeo decai a uma taxa característica, que vai de frações de segundos, como o Paládio $_{91}\text{Pa}^{221}$, a bilhões de anos, como é o caso do Urânio $_{92}\text{U}^{238}$.

As quatro formas de emissão radioativas mais usuais são: alfa (α), beta (β), gama (γ) e raios-X. Os raios gama são considerados os mais penetrantes e, em geral, a emissão desses raios ocorre em seguida à emissão de partículas α e β . A principal diferença entre raios X e gama está na sua origem, sendo os raios gama resultado de mudanças no núcleo e os raios X resultado de mudanças orbitais dos elétrons atômicos (Tauhata & Almeida, 1984).

A física das radiações apresenta, segundo o Sistema Internacional de Unidades e Medidas (SI), algumas grandezas e unidades especiais. As quatro principais grandezas são: atividade, dose absorvida, exposição e dose equivalente (Okuno, 1988; Tauhata & Almeida, 1984). A *atividade* é a taxa de decaimento de uma amostra radioativa, e a unidade de atividade é o bequerel (Bq). Um bequerel é igual a um decaimento por segundo. Como o bequerel é uma unidade muito pequena, é comum substituí-lo por seus múltiplos, como o mega ($M=10^6$) ou giga ($G=10^9$). Uma unidade de atividade também muito utilizada, mas que não faz parte do Sistema Internacional de Unidades e Medidas (SI), é o curie (Ci); $1\text{ Ci}=37\text{ GBq}$. Como o curie é uma unidade muito grande, normalmente expressa-se a atividade de uma amostra nessa unidade fazendo com que o uso de submúltiplos, tais como mili ($m=10^{-3}$) ou micron ($\mu=10^{-6}$) (Johns, 1983). A energia depositada pela radiação ionizante por unidade de massa é denominada *dose absorvida*, sua unidade no SI é o gray (Gy) que substitui uma outra unidade muito utilizada no passado o rad ($1\text{ Gy}=100\text{ rad}$). A exposição foi originalmente proposta para descrever o rendimento de tubos geradores de raios X. A *exposição* é, por definição, a carga elétrica liberada pela radiação ionizante por unidade de massa de ar; no SI, sua unidade é o coulomb por quilograma (C/Kg). Uma unidade de exposição muito utilizada, mas que não pertence ao SI, é o roentgen (r), $1\text{ r} =$

$2,58 \times 10^{-4}$ C/Kg ou $1 \text{ r} = 0,966 \text{ rad}$ (Johns, 1983; Tauhata & Almeida, 1984; Okuno, 1988; ICRP 60, 1990).

A radiação ionizante pode transformar átomos ou moléculas que são neutras em pares de íons. Em nível celular, quebra as moléculas, gerando radicais livres que alteram a homeostase e interfere no metabolismo, podendo gerar a morte celular, além de quebras cromossômicas. Assim, a exposição do ser humano e outros animais à radiação, que pode resultar na absorção parcial ou total de energia pelos tecidos ou órgãos, é objeto de estudo muito importante para prevenir os efeitos determinísticos e reduzir a probabilidade dos efeitos estocásticos da radiação (Tauhata & Almeida, 1984; ICRP 60, 1990).

Os efeitos determinísticos são aqueles que só se manifestam quando for ultrapassado um limiar de dose absorvida, diferentemente determinado para os vários órgãos. Da perda de células podem resultar impedimentos graves, clinicamente detectáveis, das funções de um tecido ou de um órgão. A severidade do efeito observado depende da dose absorvida. Existe um limiar de dose absorvida abaixo do qual a perda de células é tão pequena que não é detectado impedimento das funções do tecido ou órgão, ou seja, existe, estatisticamente determinada, uma dose absorvida além da qual um efeito induzido pela radiação ionizante se manifestará em um tecido ou em um órgão. Além da morte celular, a radiação pode também danificar o tecido, interferindo em suas funções, na regulação dos componentes celulares; provocar modificações na permeabilidade de células e tecidos nas reações inflamatórias; alterar a migração natural de células no desenvolvimento de órgãos, entre outras alterações. São exemplos de efeitos determinísticos a queda de cabelo, catarata e esterilidade parcial ou total (ICRP 60, 1990).

Os efeitos estocásticos são aqueles cuja probabilidade de ocorrência é induzida pela radiação e aumenta com a dose absorvida pelo órgão ou tecido sem, provavelmente,

nenhum limiar de dose. Eles podem se manifestar a partir de danos produzidos em uma única célula, a qual pode gerar um clone de células modificadas que, ao sobreviverem aos mecanismos de defesa e reparo do organismo, propiciam o desenvolvimento de uma condição maligna com a proliferação incontrolável de células. A severidade de um efeito estocástico sobre o organismo não é afetada pela dose, mas pelo tipo e localização da condição maligna. Os resultados existentes até o momento indicam que, em indivíduos expostos à radiação, os únicos efeitos estocásticos induzidos são os tumores benignos e malignos (ICRP 60, 1990; Hendee, 1996).

A ocorrência dos efeitos estocásticos é uma função da dose absorvida, D (energia absorvida por unidade de massa cuja unidade no SI é o gray), e do tipo e energia da radiação incidente. Assim, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) recomenda um sistema de limitação de dose para prevenir os efeitos determinísticos e limitar a ocorrência dos efeitos estocásticos. Esse sistema está baseado na grandeza *dose equivalente* (H_t), que é a dose média absorvida por um órgão ou tecido, ponderada por um fator de radiação (W_R). O fator de radiação W_R é selecionado para o tipo e energia da radiação incidente, uma vez que diferentes tipos de radiação podem produzir diferentes efeitos biológicos para uma mesma dose absorvida. A unidade de dose equivalente no SI é o sievert (S_v), que, em comparação com outras unidades envolvidas na prática radiológica, tem dimensão muito grande e por isso utiliza-se, em geral, o milisievert ($m S_v$) (ICRP 60, 1990).

A relação entre efeitos estocásticos e dose equivalente para o detrimento total decorrente da irradiação uniforme de corpo inteiro depende, também, da contribuição relativa dos órgãos ou tecidos irradiados. Assim, a ICRP define a grandeza dose efetiva (E) como a dose equivalente média no tecido ou órgão, ponderada por um fator peso do tecido

(W_T), para o detrimento total do corpo. Deve-se salientar que a dose efetiva se destina ao uso em radioproteção, incluída a avaliação de risco em termos gerais e que a mesma não é uma grandeza diretamente mensurável e sim calculada ¹ (ICRP60, 1990).

RADIAÇÃO IONIZANTE:

ESTUDOS PSICOLÓGICOS COM SUJEITOS HUMANOS

Desastres² que envolvem radiação ionizante, em geral, não são comparáveis em termos radiológicos e apresentam diferenças quanto ao seu tipo, começo, duração da exposição e nível tóxico ou severidade (Berren, Beigel & Ghertner, 1980). Entretanto, com relação a outros aspectos, esses eventos são comparáveis. Alguns padrões de comportamentos se repetem nos diferentes contextos socioculturais, relacionados aos procedimentos de evacuação das áreas atingidas, às informações sensacionalistas e contraditórias apresentadas pela imprensa, aos riscos involuntários, à não-familiaridade com esse tipo de acidente e aos riscos para a saúde (Vasconcelos, 1995).

O desconhecimento e a invisibilidade de contaminadores ambientais como a radiação bem como as dificuldades médicas de estabelecer diagnóstico e prognóstico de indivíduos expostos à mesma, constituem um quadro favorável ao desenvolvimento de alterações psicológicas. Essas características associadas à exposição à radiação têm repercussões a longo prazo na vida dos indivíduos expostos, os quais apresentam padrões de

¹ As unidades de medida refletem a evolução da precisão alcançada na dosimetria, e conseqüentemente nos padrões de proteção radiológica, chegando a determinar a dose absorvida e a dose equivalente biológica de uma determinada espécie. O becquerel (atividade), o coulomb por quilograma (exposição), o gray (dose absorvida) e o sievert (dose equivalente) substituíram respectivamente, o curie ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$), o roentgen ($1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/Kg}$), o rad ($1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$) e o rem ($100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$).

comportamentos que dificultam a readaptação psicossocial. A superestimação dos riscos de situações cujo controle é exercido por outras pessoas (especialistas em medicina das radiações, especialistas em física nuclear, representantes governamentais, dentre outros), em geral, tem contribuído para o surgimento de ansiedade e depressão, que podem desencadear na *síndrome da resposta à radiação*, com a ocorrência de comportamentos mal-adaptativos e uma significativa fragilidade emocional (Sandman, Weinstein & Klotz, 1987).

A análise de aspectos psicossociais tem sido orientada por um conjunto de hipóteses sobre a natureza do comportamento humano e sobre os princípios que influenciam o comportamento em condições específicas (Gist & Lubin, 1989). As considerações sobre as interações entre o homem e o ambiente, as interações entre aspectos biológicos, comportamentais e os contextos sociocultural e situacional de um evento envolvendo radiação ionizante são centrais para a compreensão dos comportamentos apresentados por indivíduos que sofreram uma exposição radioativa. Portanto, as conseqüências psicológicas são representadas por um conjunto complexo de respostas, como subestimar os riscos, negar proteção ou se dedicar intensamente à investigação dos possíveis efeitos negativos sobre a saúde, especialmente nas gerações futuras. Nesse conjunto observa-se a presença de uma forma de desorientação comportamental, caracterizada pela falta de compreensão das relações probabilísticas envolvendo radiação e seus efeitos sobre a saúde, acompanhada pela sensação de perda de controle sobre a saúde (e.g., Vyner, 1988). Os dados psicológicos são em grande parte obtidos mediante observações clínicas. A falta de medidas da pré-exposição obtidas em um contexto diferente do ambiente terapêutico representa uma das grandes dificuldades dos estudos com indivíduos expostos à radiação ionizante. As lacunas

² *Desastre é definido como um transtorno grave, ecológico e psicológico, que excede a capacidade da comunidade afetada de enfrentar o evento* (World Health Organization, WHO, 1992, p. 2).

deixadas pela coleta de dados por meio da utilização de entrevistas mostram, também, a necessidade de aperfeiçoamentos metodológicos (Hartsough & Savitsky, 1984; Baum, Gatchel & Schaeffer, 1983; Collins & Carvalho, 1993).

Vyner (1983) descreve os efeitos psicológicos da radiação ionizante, denominados *síndrome da resposta à radiação*, a partir da observação de um grupo de veteranos das forças armadas que foi rotineiramente exposto a testes nucleares, entre 1946 e 1963. A síndrome da resposta à radiação é caracterizada pelo desenvolvimento de um autodiagnóstico no qual o indivíduo decide que tem uma doença causada por radiação. É uma condição debilitante que impossibilita a vida social e o desenvolvimento de atividades de trabalho. O autor sugere investigações sobre a estrutura da personalidade e o papel dos ganhos secundários percebidos no desenvolvimento da síndrome, incluindo análises sobre as variáveis contextuais de um evento específico, assim como o sistema sociocultural de uma comunidade envolvida. Portanto, considerando a história de envolvimento com radiação, os *veteranos atômicos* têm sido um importante grupo para estudos dos efeitos da radiação ionizante a longo prazo (Murphy, Ellis & Greenberg, 1990; Vyner, 1983).

Estudos realizados após o acidente ocorrido em Three Mile Island (Pensilvânia, EUA), em 1979, também indicaram alterações comportamentais, incluindo alterações emocionais, entre os residentes da área da usina. Fatores como proximidade da usina, participação em procedimentos de evacuação, ou a presença de gestantes ou crianças na época do acidente foram correlacionados com níveis mais altos de ansiedade e com desempenho mais pobre em vários testes (Baum, Schaeffer, Lake, Fleming & Collins, 1985; Baum, Gatchel & Schaeffer, 1983; Bromet, 1989; Davidson & Baum, 1986; Davidson, Baum & Collins, 1982; Dohrenwend, Dohrenwend, Warheit, Bartlett, Goldsteen, Goldsteen & Martin, 1981).

O acidente com Césio-137 em Goiânia, ocorrido em 1987, é mais um exemplo de um contexto onde as alterações psicológicas, anteriormente citadas, foram observadas. O grupo mais diretamente envolvido com o acidente apresentou níveis mais altos de ansiedade e incerteza quanto ao status de sua saúde no futuro, quando comparado a grupos de controle (Collins & Carvalho, 1993; Gimenes & Vasconcelos, 1997b). Essas manifestações perturbadoras podem ter sido mantidas por controle de estímulos. A rememoração da experiência com radiação parece dificultar o processo de adaptação. A busca por justiça e por ressarcimento material, acompanhados de exames médicos periódicos deixam o evento sempre presente entre as pessoas envolvidas, além do forte componente de incerteza quanto ao futuro. O incidente ainda era considerado um problema pela maioria das pessoas envolvidas, quatro anos após o incidente radioativo, fato esse respaldado pelas freqüentes buscas por consultas médicas. Assuntos relacionados com o incidente também eram tópicos freqüentes de conversação para 78% dos radioacidentados entrevistados (Gimenes & Vasconcelos, 1997b).

Tarefas envolvendo tomada de decisão relacionadas com atraso e probabilidade de reforço também mostraram diferenças entre esse grupo de indivíduos envolvidos com o incidente e um grupo de controle (Vasconcelos, Gimenes & Todorov, 1993). Os resultados obtidos quanto à probabilidade do reforço mostraram a mesma tendência dos resultados teóricos esperados. Isto é, ao lhes ser apresentada a escolha entre receber uma quantia com uma certa probabilidade (risco) variando de 5 a 95% e receber uma outra quantia menor mas garantida, os radioacidentados apresentaram uma função de descontos que aumentaram com valores menores de probabilidade. Entretanto, com atraso do reforço, houve uma tendência diferente. Ao serem confrontados com a escolha entre receber uma quantia com um certo atraso variando de 1 mês a 50 anos e receber uma quantia menor de imediato, os

radioacidentados não apresentaram função de descontos, isto é, sempre optaram pelo valor mais alto representando o menor desconto, independente do atraso. Pode ter sido extremamente aversivo considerar a variável tempo dadas as incertezas desses indivíduos quanto à sua saúde no futuro. O comportamento de escolha nessa situação parece ter sido controlado pelo valor absoluto do objeto de escolha (Vasconcelos, Gimenes & Todorov, 1993).

O contexto de ameaça representada pela exposição à radiação tem sido caracterizado por similaridades entre as respostas de diferentes grupos populacionais envolvidos com eventos radioativos (Collins & Carvalho, 1993; Vasconcelos, 1995). A sistematização dos instrumentos de pesquisa utilizados poderá contribuir para a formação de um conjunto de dados que possam ser comparados e possibilitem a predição de comportamentos futuros em tais contextos e a programação de intervenção a curto, médio e longo prazo destinada para os indivíduos diretamente expostos ao evento e para as equipes técnicas envolvidas nos procedimentos de descontaminação das áreas atingidas.

As pesquisas psicológicas com indivíduos envolvidos em eventos radioativos encontram-se numa fase preliminar, quanto ao desenvolvimento de uma teoria que possa explicar os fenômenos observados em um evento radioativo. Os esforços têm sido voltados para a classificação de fenômenos correlacionados a esses eventos. Entretanto, é importante que os pesquisadores estejam alertas para os possíveis excessos quanto à taxionomia, principalmente quanto às classificações de distúrbios de comportamentos psiquiátricos. Isso poderá vir a alterar nossa sensibilidade às contingências envolvidas, dificultando a adequada formulação de problemas, o desenvolvimento de pesquisas e intervenções. Fenômenos comportamentais estão sendo estudados em diferentes períodos de observação pós-evento e em diferentes fases de desenvolvimento, incluindo estudos com crianças e adultos expostos

(e.g., Aptekar & Boore, 1990; Tizard, 1986). Essa tendência também se aplica às pesquisas de laboratório que utilizam modelos animais no estudo dos fenômenos comportamentais induzidos por radiação (e.g., Furchtgott, 1963; Mickley, Bogo, Landauer & Mele, 1988).

RADIAÇÃO IONIZANTE:

ESTUDOS PSICOLÓGICOS COM SUJEITOS INFRA-HUMANOS

A utilização de modelos animais no estudo dos efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento tem como ponto de partida a radiosensibilidade relativa das espécies, baseada na radiação LD^{50} , ou seja, a dose letal para 50% dos sujeitos. O período convencionalmente estabelecido para observação desses dados radiobiológicos em animais infra-humanos é de 30 dias ($LD^{50/30}$), para as espécies mais utilizadas, macacos, ratos e camundongos. As estimativas mostram uma crescente diminuição na radiosensibilidade do homem para os macacos, dos macacos para os ratos e dos ratos para os camundongos. O $LD^{50/30}$ para humanos é de aproximadamente 4,5 Gy; para macacos, de 6,0 Gy; para ratos, de 7,5 Gy; e para camundongos, de 5,5 a 9,0 Gy (Mickley et al., 1988). Um dos objetivos desses estudos com animais é o estabelecimento de doses médias efetivas em que 50% dos sujeitos mostrarão decrementos em vários tipos de desempenhos (ED^{50}).

Estudos mais recentes têm sugerido um aumento no $LD^{50/30}$ para ratos, de 7,5 Gy para 9,5 Gy. Esse aumento, entretanto, pode estar relacionado a melhores condições de cuidado com os animais após a exposição, com o que se reduz a probabilidade de mortes produzidas por infecções. Por outro lado, a ED^{50} para ratos não tem aumentado na mesma proporção (Mele, Franz & Harrison, 1990).

Revisando a literatura de estudos com animais, Mickley, Bogo, Landauer & Mele (1988) constataram os diferentes procedimentos no estudo dos efeitos da radiação: (1)

comportamentos naturalísticos, ou seja, que não envolvem treino. Exemplos desses comportamentos envolvem atividade geral, comportamento de agrupamento e comportamento agressivo; (2) tarefas motoras que exigem esforço físico. Essas tarefas demandam treino extensivo e, mesmo, condicionamento físico, como é o caso da utilização de roda de atividade. (3) tarefas sem grande demanda física. Essas tarefas envolvem movimentos físicos discretos e, como as anteriores, exigem um longo período de treino. Exemplos dessas tarefas são o comportamento de pressão à barra controlado por esquemas de reforçamento e tarefas de discriminação visual.

Os efeitos da radiação observados entre os comportamentos naturalísticos mostram, em geral, diminuição na atividade geral das espécies. Ratos mostram diminuição na velocidade de corrida e macacos mostram menor exploração, aumentos no auto-cuidado e diminuição na agressão em direção a outros animais (McDowell, Davis & Steele, 1956; McDowell & Brown, 1959). Pareamentos de radiação ionizante com a apresentação de camundongos a ratos mostra a radiação como um estímulo incondicionado para a supressão condicionada de matar camundongos, com intervalos efetivos entre os estímulos de 0-30 min (O'Boyle, 1976).

Grande parte dos primeiros estudos experimentais investigou os efeitos das radiações ionizantes aplicadas no período pré-natal, período de maior organogênese em ratos e camundongos. Os efeitos da exposição à radiação no período pré-natal ou na idade adulta são distintos. A exposição pré-natal produz mudanças comportamentais, que podem persistir durante a vida do animal, e também alterações morfológicas no sistema nervoso central, como a atrofia dos hemisférios cerebrais (Hicks, 1958; Mickley, Ferguson, Mulvihill & Nemeth, 1989; Schmidt, 1992). Além disso, o peso do corpo de animais irradiados no

período pré-natal é menor do que os de animais controle, causando maior suscetibilidade aos efeitos letais da irradiação pós-natal (Ader & Deitchman, 1972; Sasaki, 1992).

Sienkiewicz, Saunders & Butland (1992) sugerem que, assim como o período pré-natal, os primeiros 10 dias após o nascimento representam um período crítico para os efeitos da radiação sobre o comportamento. As mudanças comportamentais apresentam uma relação inversa com a idade (Furchtgott & Wechkin, 1962; Furchtgott, 1963; Schmidt, 1992; Sienkiewicz, Saunders & Butland, 1992). A radiação pré-natal aumenta o número de comportamentos agressivos apresentados posteriormente, quando comparado com grupos não-irradiados (Minamisawa, Hirokaga, Sasaki & Noda, 1992). Por outro lado, os resultados de mudanças comportamentais e neurais da irradiação na idade adulta são inconsistentes, e mostram em geral, relativa radiorresistência do sistema nervoso central, ao contrário do que ocorre na fase de desenvolvimento desse sistema (Furchtgott, 1963).

O período de maior organogênese no rato ocorre, aproximadamente, ao intervalo compreendido entre a 11^a e a 17^a semana. A radiação indireta maternal (com proteção do útero) sobre o feto não contribui significativamente para os efeitos comportamentais observados nos animais testados em diferentes idades após o nascimento (Sharp, 1961). No entanto, afeta o comportamento das mães em relação às ninhadas, isto é, mães irradiadas passam um tempo significativamente menor com suas ninhadas, quando comparado às mães de grupos de controle (Ader & Deitchman, 1972). Por outro lado, alguns estudos mostram que a radiação direta dos fetos é, posteriormente, seguida de déficit na aprendizagem, o qual é inversamente relacionado com a idade em que os animais a ela foram expostos (e.g. Furchtgott, Echols & Openshaw, 1958).

Os efeitos da radiação pré-natal foram também analisados a partir de tarefas de discriminação. Tamaki & Inouye (1976), utilizando uma câmara de condicionamento

operante para ratos, observaram que os resultados de discriminação entre diferentes brilhos (luz-escuro) foram aproximadamente iguais para ambos: os grupos de controle e os irradiados. Os autores concluem que a irradiação X (2 Gy), pré-natal, tem pouco efeito sobre o desempenho na tarefa de discriminação de luz-escuro e que o maior número de respostas de pressão a barra emitidas pelo grupo irradiado, na presença da luz e do escuro, pode ser atribuído a um estado de excitação provocado pela irradiação X pré-natal. Esses resultados diferem dos dados obtidos em situação natural com macacos e ratos expostos à radiação na idade adulta, quando a atividade geral e o comportamento agressivo sofreram decréscimos significativos (McDowell, Davis & Steele, 1956; McDowell & Brown, 1959; O'Boyle, 1976).

Outros estudos mostram, ainda, que o condicionamento de esquiva em ratos submetidos a radiação pré-natal apresenta resultados positivos, isto é, uma aquisição mais rápida da resposta de esquiva (Furchtgott & Wechkin, 1962). Em um estudo, em que se usou uma câmara de dois compartimentos, os resultados mostraram uma taxa mais alta de respostas antecipatórias ao estímulo condicionado que predizia o choque, com aquisição mais rápida da resposta de esquiva apresentada pelos ratos irradiados em comparação com ratos de controle (Tamaki & Inouye, 1979; 1981). Os autores sugerem a possibilidade de que ratos submetidos à radiação pré-natal tenham desenvolvido uma maior sensibilidade a estímulos aversivos do que ratos não irradiados.

Além dos efeitos da exposição à radiação no período pré-natal, outros estudos investigaram os efeitos da radiação sobre a aprendizagem, quando a exposição se dá na idade adulta. McDowell (1958; 1960) sugere que a exposição à radiação tem efeitos facilitadores, e não apenas nocivos, sobre a aprendizagem. Observações sistemáticas de macacos rhesus mostraram que os animais do grupo de controle responderam

seletivamente a estímulos distrativos, enquanto os animais irradiados o fizeram, apenas, transitoriamente (McDowell, 1958). "É possível que macacos não-irradiados sofram interferência de aspectos da configuração total de estímulos, que não são relevantes para a solução de um determinado problema" (McDowell & Brown, 1959, p. 63), enquanto os animais irradiados responderiam mais aos estímulos relevantes.

Entretanto, o efeito facilitador da radiação sobre a aprendizagem parece depender das diferenças fundamentais nos procedimentos de irradiação, tais como exposições a doses subletais e supraletais, de corpo inteiro ou localizada (por exemplo, cabeça, região abdominal, órgãos ou estruturas específicas), da idade dos sujeitos, assim como das diferenças entre as tarefas a serem desempenhadas. As pesquisas citadas a seguir investigaram essas relações.

Tsai & Chandler (1971) observaram que ratos adultos expostos a uma dose subletal de 4,8 Gy se comportaram de forma semelhante ao grupo de controle, apresentando um menor número de erros, de tentativas e de sessões para alcançar o critério da aprendizagem em um labirinto em T, quando comparados com grupos expostos a doses mais elevadas, de 9,7 e 14,5 Gy. Entre esses grupos expostos a doses supraletais, observou-se um desempenho inferior no grupo exposto a dose mais alta.

Outros resultados têm sido observados com a exposição à radiação localizada (hipocampo), utilizando-se um labirinto em T. Gazarra & Altman (1981) observaram os efeitos da exposição neonatal num posterior teste de discriminação entre estímulos visuais (brilho) ou táteis (aspereza). Os animais irradiados foram prejudicados na aquisição e reversão das discriminações, quando a notabilidade dos estímulos foi baixa, independente da modalidade: sensorial, visual ou tátil. Os autores sugerem uma análise mais detalhada das

possíveis relações entre a redução da notabilidade dos estímulos, danos no hipocampo e prejuízos na discriminação em animais irradiados.

Em um outro estudo em que se utilizou labirinto, a exposição a doses subletais de radiação (3,9 Gy) não prejudicou uma série de respostas adquirida antes da exposição, porém produziu aumentos no número de erros na aquisição de novas séries (Urmer & Brown, 1960).

Doses altas, comumente supraletais, maiores do que os LDs estabelecidos para uma espécie, podem produzir um efeito agudo, um fenômeno comportamental denominado incapacitação inicial transitória (IIT) (Mickley et al., 1988). Esse efeito é caracterizado por uma rápida diminuição no desempenho, nos primeiros 30 minutos após uma exposição, por exemplo, à 100 Gy, seguida por uma recuperação temporária acompanhada por doenças crônicas, níveis de desempenho reduzidos e mortalidade (Mickley, 1980). Nessas condições pode-se observar, também, diminuição na atividade geral, desorientação, letargia, adipsia e afagia (Mickley & Teitelbaum, 1978).

Yochmowitz e Brown (1977) mostraram que, nos primeiros estudos com macacos, em que foram utilizadas altas doses de radiação mista (gama e nêutron), os animais apresentaram a síndrome de IIT em tarefas de discriminação visual. O procedimento utilizado _ um tanque automatizado contendo uma plataforma onde os sujeitos podem apresentar o comportamento de nadar e descansar _ permite detectar claramente o começo da síndrome IIT (Casarett, 1973). O surgimento da IIT depende, em parte, da qualidade da radiação empregada e varia em ordem crescente de radiação nêutron à radiação gama (Hunt, 1983).

Uma outra área de investigação dos efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento é representada por estudos soviéticos, os quais utilizam o paradigma

pavloviano com o objetivo de estudar o funcionamento do sistema nervoso central (SNC). Os resultados mostram divergências quanto à relação entre possíveis alterações histológicas nas estruturas do SNC em decorrência da exposição à radiação e comportamentos observados com a utilização do paradigma pavloviano. Ao revisar esses estudos Stahl (1960; 1962) destaca uma série de problemas metodológicos quanto ao controle da história experimental dos sujeitos, descrições inadequadas de instrumentos, procedimentos, dosimetria e condições gerais dos animais após a irradiação, bem como a utilização de diferentes espécies, o que dificulta a análise geral dos resultados. Esses estudos têm sido considerados como estudos exploratórios devido às inconsistências apresentadas quanto à radiosensibilidade do SNC e as doses efetivas na alteração de respostas condicionadas.

O fenômeno da aversão condicionada também tem sido investigado em pesquisas que utilizam a exposição à radiação, na idade adulta, como estímulo incondicionado. O procedimento é geralmente dividido em três fases: (a) pré-condicionamento, no qual se estabelecem níveis de privação de água, (b) condicionamento, em que se apresenta uma determinada substância como a sacarina, seguida da exposição à radiação e, (c) pós-condicionamento, quando se obtém medidas do consumo daquela substância. As medidas podem ser feitas em um teste de 10 minutos de apresentação de sacarina e/ou em um teste de escolha entre sacarina e água, durante um período de 23 horas. Estudos mostram que os resultados dessas medidas podem ser diferentes, sendo a medida de escolha mais sensível aos efeitos radiogênicos (Spector, Smith & Hollander, 1981).

Os resultados do emparelhamento da radiação com sacarina mostram diminuição no consumo posterior dessa substância após a exposição a doses de 0,5 a 3 Gy (Smith, Hollander & Spector, 1981). Entretanto, efeitos mais pronunciados são observados após a exposição a doses mais altas de radiação. A exposição de corpo inteiro ou da região

abdominal é mais efetiva do que a exposição de outras partes do corpo na produção desses resultados (Furchtgott, 1963; Garcia, Kimeldorf & Koelling, 1955; Garcia & Kimeldorf, 1960; Revusky, 1968; Smith, Hollander & Spector, 1981).

Além disso, a apresentação de sacarina, no período anterior ao emparelhamento da sacarina com a radiação, minimiza o efeito aversivo condicionado, observado no consumo da substância após a exposição (McLaurin, Farley & Scarborough, 1963; Smith, Hollander & Spector, 1981). Da mesma forma, a prolongada apresentação de sacarina, 72 horas após o emparelhamento sacarina e radiação, favorece a extinção da aversão condicionada (Spector, Smith & Hollander, 1983).

Entretanto, McLaurin (1964) destaca que a aversão condicionada produzida pela radiação não pode ser claramente classificada dentro do paradigma de condicionamento clássico. McLaurin (1964), utilizando quatro intervalos de 3, 60, 120 ou 180 minutos entre a apresentação de sacarina e a exposição à radiação, mostrou um menor consumo da substância, medida em 24 dias após a radiação, para os sujeitos submetidos a esse procedimento quando comparado com outros sujeitos que foram expostos a parâmetros similares, porém com o uso de simulação de radiação. Outros sujeitos que não tiveram acesso à sacarina no período anterior à radiação mostraram, também, queda no consumo da substância, após a exposição, nos quatro dias subsequentes. Apesar dos sujeitos na primeira condição, com diferentes intervalos entre sacarina e radiação, terem mostrado queda no consumo de sacarina não se observou consistência no consumo da substância entre cada um dos quatro intervalos utilizados. Os resultados não mostraram um efeito de gradiente na duração ou intensidade da resposta de consumo em relação a aumentos nos intervalos entre a apresentação da substância e a exposição à radiação. Além disso, os dados obtidos com os sujeitos que não tiveram acesso à substância antes da radiação indicam que a queda no

consumo observada nos quatro dias após a exposição pode estar associada a algum mecanismo fisiológico envolvido com a própria radiação e com sacarina (McLaurin, 1964). Quanto à substância sacarina, Martin (1968) apresenta uma discussão sobre o seu uso como reforçador primário, e questiona a eficácia dessa substância como estímulo reforçador ao observar que apresentação de água e sacarina, para ratos não-irradiados, é seguida por preferência pela água ou diminuição no consumo de sacarina.

Considerando ainda o procedimento de aversão condicionada, a história anterior de exposição a uma substância seguida pela radiação e pelo teste de consumo de uma nova substância permite observar a ocorrência da neofobia e da neofobia aumentada. Neofobia é um termo usado para descrever o comportamento de proteção, de hesitação, apresentado por ratos diante de um novo alimento. Neofobia aumentada é um outro termo empregado para o aumento da resposta de neofobia a um novo alimento, quando sua ingestão é precedida por envenenamento ou radiação (Carrol, Dinc, Levy & Smith, 1975). Em um experimento, Carrol et al. (1975) manipularam a privação de água, com diferentes períodos de acesso, em três dias consecutivos. Posteriormente, os animais foram irradiados e tiveram acesso a 10 min de sacarina ou água. O acesso a sacarina foi novamente programado 24 h após a exposição e apresentou os seguintes resultados: (1) aumento no consumo do grupo de controle sacarina-sacarina, (2) neofobia no grupo de controle água-sacarina, (3) neofobia aumentada no grupo irradiado água-sacarina e, (4) aversão condicionada no grupo irradiado sacarina-sacarina. Dados obtidos por Spector et al. (1981) indicam uma relação direta entre o grau de neofobia aumentada e o nível de exposição à radiação, sendo este fenômeno mais duradouro após a exposição a doses maiores.

Os resultados obtidos em experimentos com animais em laboratório, em que se utilizou esse procedimento de aversão condicionada, sugerem um importante papel do

fenômeno de sabor aversivo condicionado sobre os hábitos de pacientes submetidos à radioterapia. Um maior conhecimento dos hábitos alimentares de indivíduos expostos à esse tratamento, bem como os parâmetros básicos envolvidos na produção desse fenômeno, analisados a partir de estudos experimentais com animais infra-humanos, são investimentos fundamentais em direção ao tratamento e à prevenção da aversão condicionada. Essa, por sua vez, pode se referir à suspensão do consumo de um ou de todos os alimentos consumidos por um indivíduo em tratamento radioterápico (Smith, Hollander & Spector, 1981).

Uma outra variável considerada nos estudos de radiação se refere à reatividade autonômica ou emocionalidade do sujeito experimental. Reatividade, medida por meio do número de bolos fecais, pode levar a diferentes resultados no condicionamento de esquivo. Em um estudo realizado por Arbit (1961), ratos foram utilizados como sujeitos em uma câmara dividida em dois compartimentos, um preto e outro branco. Os dados do período pré-irradiação mostraram que o grupo reativo passou menos tempo no compartimento preto do que o grupo não-reativo. Após a exposição à radiação, em ambos os compartimentos, a diferença de tempo gasto no compartimento preto foi utilizada como índice de mudança de preferência. O grupo reativo passou, significativamente, menos tempo no compartimento preto, comparado aos dados obtidos no período pré-irradiação. Essa diferença foi claramente maior para o grupo reativo, quando comparado ao grupo não-reativo.

Variáveis que interagem com os efeitos da radiação ionizante.

Aspectos relativos à exposição à radiação, como qualidade das radiações, fracionamento da dose, intervalos entre as exposições, temperatura ambiente, período do

dia e alimentação anterior à exposição, sexo e idade dos sujeitos podem contribuir para a produção de resultados divergentes, observados em estudos com sujeitos infra-humanos.

Qualidade das radiações. Comparando-se radiações nêutron, elétron e gama observam-se decréscimos comportamentais após todas essas exposições. Porém, considerando-se dois extremos, tem-se, num, a radiação nêutron considerada menos nociva e no outro extremo, a radiação elétron considerada mais nociva na produção de decréscimos em medidas comportamentais (Bogo, Zeman & Dooley, 1986, em Mickley et al., 1988). Os efeitos comportamentais produzidos por radiação gama são constituídos por déficit comportamental significativamente maior do que os efeitos comportamentais produzidos por radiação nêutron. Por outro lado, radiação de elétrons produz mudanças comportamentais radiogênicas com uma dose 30% mais baixa do que a radiação gama (Mickley et al., 1988).

Fracionamento da dose. Essa é uma outra variável que produz efeitos diferenciais sobre o comportamento. Mele, Franz & Harrison (1990) observaram que a exposição a 7,5 Gy em uma dosagem única foi seguida por uma diminuição significativa na taxa de respostas de fuga em um esquema de razão fixa (FR), e que não ocorreram efeitos significativos quando cinco exposições a 1,5 Gy foram programadas. A exposição aguda a 7,5 Gy também apresentou uma correlação positiva entre perda de peso e as mudanças comportamentais.

O fracionamento da dose permite aumentar a dose cumulativa total, sem que se produza efeito letal. Por exemplo, com três exposições a 4,5 Gy obtém-se uma dose cumulativa total de 13,5 Gy, acima do LD^{50/30} para ratos que é de 9,5 Gy. Apesar disso, Mele, Franz & Harrison (1988) não observaram mortes entre os animais, o que seria esperado em uma única exposição. Com uma quarta dose de 6,5 Gy, comparando-se três

grupos de sujeitos expostos a diferentes doses iniciais, observou-se a ocorrência de mortes, 21 dias após esta última exposição, apenas entre os sujeitos que já haviam recebido uma dose cumulativa de 13,5 Gy. Entre os sujeitos que haviam recebido doses cumulativas de até 4,5 Gy, essa última dose não provocou mortes, mesmo tendo ultrapassado o LD^{50/30}.

Um maior fracionamento da dose, por exemplo em seis exposições, pode também aumentar o período de sobrevivência dos animais. Lamson, Billings, Gambino & Bennett (1963) mostraram que o efeito protetor do fracionamento de uma dose, em ratos, é observado com doses a partir de 2,3 Gy.

Intervalo entre as exposições. Ainda no estudo de Lamson et al. (1963), intervalos entre as exposições de 3 a 14 dias não alteraram a longevidade dos ratos. Porém, Winsauer & Mele (1993) sugerem que são necessários intervalos maiores do que quatro semanas, quando altas doses de radiação são utilizadas (5 Gy a 8 Gy), o que ocasiona um aumento na taxa de sobrevivência dos animais.

Temperatura Ambiente. Considerando a variável *temperatura ambiente*, observa-se um rebaixamento da resistência de camundongos em ambiente frio (10^o C), com doses de 4,5 Gy a 4,8 Gy. Entretanto, a pré-exposição a uma determinada temperatura, em um período anterior à exposição a radiação, pode contribuir para a sobrevivência dos animais (Smith, Highman, Mitchell & Blount, 1949).

Período do dia e alimentação anterior à exposição. Altas taxas de sobrevivência após radiação de corpo inteiro são observadas quando os ratos são expostos no período da manhã, enquanto um índice de mortalidade de aproximadamente 100% acompanha as exposições realizadas no período noturno. A radiosensibilidade parece estar relacionada com os ciclos de luz-escuro (Pizzarello, Witcofski & Lyons, 1963). Entretanto, a suposição de radiosensibilidade cíclica pode ser resultado de possíveis artefatos experimentais.

McDowell, White, Gallo e Brown (1965) mostraram que a ingestão de alimento antes da exposição à radiação, independente do período do dia em que os animais são expostos, diminui o tempo de sobrevivência de ratos observados em um período de 30 dias após uma exposição. Portanto, é possível que alguns estudos apresentem, inadvertidamente, a taxa de mortalidade atribuída ao período do dia em que os animais são expostos, quando a causa pode ter sido o período de alimentação (McDowell et al., 1965).

Sexo. Efeitos diferenciais da irradiação pré-natal são observados entre machos e fêmeas. Animais expostos à radiação pré-natal, ao serem testados com 60 dias de idade, apresentam desempenhos diferentes: fêmeas mostraram desempenho significativamente maior do que machos na roda de atividade (Martin, 1968a). Diferenças entre sexos também foram observadas em outras tarefas, como no comportamento de esquiva. Mickley (1980) observou que fêmeas são relativamente menos afetadas por uma dose supraletal de radiação (100 Gy), ao apresentarem maior número de respostas que evitam o choque elétrico e uma recuperação mais rápida do desempenho aos níveis de linha de base. Além disso, o autor mostra que essas diferenças podem ser eliminadas em ratos esterilizados.

Idade. Sienkiewicz, Saunders & Butland (1992) analisaram os efeitos da radiação pré-natal em um labirinto. Os animais foram expostos a 1 Gy (raio-X) nos períodos pré-natal (13^o, 15^o e 18^o dias) e neonatal (1^o e 10^o dias), sendo posteriormente testados com a idade entre 47 e 52 dias. Os resultados mostraram maior incidência de escolhas repetitivas, ou de comportamento não-reforçado, nos animais expostos no 18^o dia de gestação e no primeiro dia neonatal, enquanto os outros grupos não foram significativamente diferentes do grupo de controle, quanto à aprendizagem da tarefa. Resultados semelhantes foram também relatados por Sharp (1961), em um labirinto de 14 unidades. A exposição à radiação pré-natal do 10^o ao 17^o dia de gestação (2,7 Gy) foi acompanhada de um maior

número de erros, comparado ao grupo de controle. Portanto, efeitos diferenciados da radiação são observados em organismos de diferentes idades. A radiação ionizante pode produzir efeitos duradouros após a exposição pré-natal e efeitos decrescentes dos primeiros anos de vida à fase adulta (Hicks, 1958; Mickley et al., 1991; Sienkiewicz et al., 1992). Na fase adulta, entretanto, os efeitos são transientes e apresentam uma relação inversa com a idade, isto é, os efeitos são mais encontrados em animais mais jovens.

CONTINGÊNCIAS CONSEQÜENCIAIS NO ESTUDO DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A resposta de pressão à barra controlada por esquemas de reforçamento tem sido amplamente utilizada na farmacologia comportamental, i.e., no estudo dos efeitos agudos e/ou crônicos de drogas sobre o comportamento operante. Esse tipo de contingência, entretanto, tem sido pouco utilizado na radiobiologia comportamental, na qual estudos na área mostram que o comportamento operante pode ser útil na avaliação dos efeitos da radiação ionizante. Entre as vantagens da seleção desse tipo de arranjo experimental está a demonstrada sensibilidade das respostas operantes utilizadas, a produção de linhas de base estáveis a longo prazo e a existência de um banco de dados significativo (Mickley et al., 1988).

Blackman e Pellon (1993), em uma revisão de algumas áreas da farmacologia comportamental que utiliza procedimentos de condicionamento operante, consideram a interação dinâmica de variáveis comportamentais e farmacológicas na explicação dos efeitos de drogas sobre o comportamento operante, afirmando que "variáveis que controlam o comportamento também influenciam os efeitos das drogas sobre o comportamento" (p. 21). Richelle (1991), ao citar pesquisas psicofarmacológicas que utilizam técnicas operantes,

também analisa os diferentes efeitos das drogas de acordo com o esquema de reforçamento. No estudo dos efeitos da radiação sobre o comportamento mantido por contingências de reforçamento, a consideração da interação entre variáveis comportamentais e radiológicas pode fornecer uma forma mais completa de explicação das alterações comportamentais também observadas após exposições à radiação.

Um conjunto de variáveis importantes na avaliação dos efeitos das drogas sobre o comportamento mantido por contingências de reforçamento é discutido por Blackman e Pellon (1993). Os efeitos das drogas são dependentes da natureza do comportamento e do esquema de reforçamento que o mantém, das taxas de respostas, das conseqüências e da experiência anterior do organismo. O conceito de uma curva dose resposta dependente do esquema de reforçamento mostra a modulação dos efeitos de uma determinada dose da droga exercida pela linha de base comportamental. Uma determinada droga pode aumentar baixas taxas de respostas ou diminuir altas taxas de respostas quando mantidas por diferentes esquemas de reforçamento. Porém, esses efeitos ocorrem apenas em alguns tipos de contingências reforçamento; a utilização de choques elétricos, por exemplo, segue esse princípio apenas quando o esquema tem a programação de adiamentos dos choques. A história passada comportamental do sujeito e/ou o contexto no qual uma droga é administrada podem, também, modular os efeitos da droga sobre o comportamento. Portanto, a explicação dos efeitos comportamentais das drogas a partir do princípio da dependência da taxa de respostas deve ser considerada juntamente com outras variáveis fundamentais, tais como história passada e contexto comportamental. Esses tipos de interação observados entre drogas e comportamento podem também estar presentes na relação entre radiação ionizante e comportamento:

Alguns estudos têm mostrado efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento mantido por esquemas de reforçamento. Os efeitos são reversíveis, dependentes da dose, das taxas de respostas na linha de base, do esquema de reforçamento e do comportamento observado (Gimenes & Vasconcelos, 1992; Gimenes, Vasconcelos & Goulart, 1991; Mele, Franz & Harrison, 1988; Vasconcelos, Gimenes, Brandrão, Bezerra, Dacanal, Campos & Goulart, 1995; Vasconcelos, Gimenes, Magalhães, Santos, Macedo, Brandrão & Goulart, 1993).

Mele, Franz & Harrison (1988) investigaram os efeitos de diferentes doses de radiação sobre o comportamento mantido por esquemas de reforçamento de intervalo fixo FI 120 s e de razão fixa FR 50. As altas taxas de respostas mantidas pelo esquema de FR 50 foram significativamente reduzidas após a exposição a 4,5 Gy, retornando aos níveis da linha de base entre 48 h a 72 horas. Essa tendência também foi observada em FI 120 s com reduções menos acentuadas na taxa de respostas. Entretanto, doses de 0,5 Gy a 1,5 Gy não produziram alterações no padrão de respostas mantidas pelos esquemas. Após uma quarta exposição a 6,5 Gy, as alterações comportamentais foram similares nos três grupos anteriormente expostos a 0,5 Gy, 1,5 Gy ou 4,5 Gy. Independentemente da história de exposição, a taxa de respostas mostrou decréscimo maior e mais duradouro em FR 50 comparado ao FI 120 s. Os resultados obtidos nesse estudo mostram que o efeito da radiação é reversível, dependente da dose, do esquema de reforçamento e da taxa de resposta na linha de base (Mele, Franz & Harrison, 1988).

Em geral, mudanças comportamentais não são observadas após doses menores do que 1 Gy. Por outro lado, em esquemas simples de reforçamento, tais como FI e intervalo variável (VI), após doses de radiação maiores do que 3,5 Gy, observa-se em ratos, diminuição nas taxas de comportamento, que retornam em poucos dias aos níveis da linha

de base (Gimenes et al., 1991; Vasconcelos et al., 1993). A comparação entre os desempenhos em esquemas de reforçamento em FI 120 s e VI 120 s mostra efeitos semelhantes aos obtidos por Mele et al. (1988). Os efeitos sobre o desempenho em FI, foram, entretanto, observados com doses mais baixas, de 3,5 Gy. Por outro lado, os efeitos sobre o desempenho em VI, com essa mesma dose, parece ter sido seletivo em relação às taxas de resposta na linha de base. Com esse esquema de reforçamento, somente altas taxas de respostas foram afetadas, isto é, a redução na taxa de respostas só ocorreu para os sujeitos que apresentaram taxas mais altas na linha de base, enquanto, para os sujeitos que apresentaram baixas taxas na linha de base, esse efeito não foi observado (Gimenes et al., 1991).

O nível de complexidade da tarefa parece alterar a dose subletal necessária para produção de alterações comportamentais. A complexidade da tarefa em esquemas de reforçamento pode ser definida pela programação de esquemas mais complexos tais como esquemas concorrentes, múltiplos, mistos, encadeados e tandem; pela existência de mais de uma chave de resposta e/ou por unidades de respostas definidas por uma ou mais respostas. É possível que a dose efetiva para produção de mudanças no comportamento ou a relação dose resposta possa ser diferente em tarefas com um nível maior de complexidade, do que o daquelas observadas em esquemas simples de reforçamento (Mickley et al., 1988; Vasconcelos et al., 1995).

Utilizando um esquema concorrente de reforçamento VI 30 s - VI 120 s, Vasconcelos et al. (1995) observaram que uma dose de 4,5 Gy produziu decréscimos nas taxas de respostas, assim como alterou a distribuição de respostas, com diminuição no esquema de VI 120 s. Entretanto, as taxas de resposta no componente de VI 30 s não foram afetadas. Além disso, não houve alteração na quantidade nem na distribuição de reforços

obtidos nos dois componentes. Por outro lado, a exposição à 6,5 Gy, apesar de ter afetado as taxas de respostas, não apresentou relações ordenadas como aquelas observadas com a dose de 4,5 Gy.

O tipo de estímulo reforçador parece ser também uma variável importante na determinação dos efeitos produzidos pela radiação sobre comportamentos mantidos por contingências de reforçamento. Alguns estudos, utilizando esquema de reforçamento positivo, mostram os efeitos depressores sobre o comportamento de doses tais como 3,5 Gy e 4,5 Gy (e.g., Gimenes et al., 1991; Vasconcelos et al., 1993). Outros estudos, utilizando esquema de reforçamento negativo (comportamento de fuga a um choque elétrico), não relatam efeitos sobre as taxas de respostas em FR, em relação à linha de base, quando os animais são expostos a uma dose de 4,5 Gy. Entretanto, após a exposição a 7,5 Gy, foram observados decréscimos nas taxas de respostas de pressão à barra, aumentos na latência da primeira resposta de uma razão e uma correlação positiva entre perda de peso e as mudanças de comportamento (Mele Franz & Harrison, 1990). Portanto, os diferentes resultados obtidos a partir de esquemas de reforçamento positivo e negativo sugerem que a magnitude da dose de radiação necessária para produzir os efeitos é diferente, isto é, esquemas de reforçamento positivo mostram maiores efeitos depressores sobre o comportamento após a exposição a doses menores do que esquemas de reforçamento negativo. Além das diferenças entre os estímulos reforçadores utilizados em contingências de reforçamento positivo e negativo, outras características do estímulo reforçador interagem de forma diferente com a radiação. Uma revisão da literatura na área mostra que, para reforços como pelotas de alimento, alimento em pó, leite e choque, são necessários diferentes doses mínimas capazes de produzir efeitos sobre o comportamento. Colocados num *continuum* o comportamento conseqüenciado por pelota de alimento mostra a maior

sensibilidade à radiação enquanto o comportamento mantido por remoção de choque mostra a menor sensibilidade, com os estímulos reforçadores alimento em pó e leite se situando, nessa ordem, entre os dois extremos, inferior e superior, respectivamente (Gimenes & Vasconcelos, 1992; 1997a).

Uma das contingências consideradas mais sensíveis aos efeitos de agentes tóxicos e farmacológicos sobre o comportamento operante foi discutida, recentemente, por Winsauer e Mele (1993), num estudo sobre os efeitos da radiação ionizante. A contingência de aquisição repetida de seqüências de respostas é considerada uma linha de base adequada, que permite o estudo dos efeitos sobre a aquisição do comportamento. Nesse procedimento, uma nova seqüência de respostas deve ser aprendida a cada sessão experimental, isto é, aprendizagem ocorre a cada sessão. Um exemplo desse procedimento é a utilização de uma seqüência de três respostas envolvendo duas ou mais barras ou chaves, sendo que para cada sessão a seqüência de respostas a ser cumprida para a liberação do reforço é diferente daquela da sessão anterior. Uma mesma seqüência se mantém constante durante a sessão. Além da avaliação da aprendizagem intra-sessão, a aprendizagem intersessões pode também ser observada por meio das alterações no padrão de aprendizagem com o decorrer do número de sessões. Esse procedimento, utilizado em combinação com outro, possibilita a comparação dos diferentes efeitos que a variável independente de interesse possa ter sobre a aprendizagem e o desempenho de um mesmo comportamento. Essa comparação é feita, geralmente, com a utilização de um esquema múltiplo de reforçamento, com os componentes variando intra-sessão ou intersessões. Um dos componentes do esquema múltiplo constitui a aquisição repetida (uma nova seqüência a cada sessão) enquanto o outro constitui o desempenho (uma mesma seqüência em todas as sessões).

Os procedimentos de aquisição repetida têm sido amplamente utilizados no estudo dos efeitos de agentes toxicológicos, como, por exemplo, o álcool, sobre a aprendizagem. Esse procedimento foi inicialmente apresentado por Boren (1963), que utilizou macacos rhesus como sujeitos. A caixa experimental continha 12 barras divididas em quatro conjuntos, e a tarefa dos sujeitos era aprender uma nova seqüência de quatro respostas, a cada sessão, apertando uma barra em cada um dos conjuntos. Posteriormente, Thompson (1973) apresentou um procedimento funcionalmente similar, que permitia maior variação nas exigências da tarefa, ou seja, aumentos no tamanho das seqüências. Os quatro grupos de três respostas foram diferenciados pela cor, em vez da localização. A tarefa dos pombos, utilizados como sujeitos, era aprender uma nova seqüência de respostas bicando uma chave correta na presença de cada uma das quatro cores apresentadas simultaneamente em todas as chaves. Em geral, um estado estável foi alcançado após um período de 40 a 60 sessões, considerando as medidas de erros totais por sessão e redução dos erros intra-sessão (Thompson, 1970,1971).

Thompson & Moerschbaeher (1979a) utilizaram macacos como sujeitos experimentais, os quais tinham que emitir seqüências de quatro respostas em um esquema múltiplo com os componentes de aquisição e desempenho. Utilizando-se drogas como d-anfetamina e cocaína, com as dose mais altas, foram observados decréscimos na taxa total de respostas, aumentos na porcentagem de erros e menor diminuição de erros intra-sessão, no componente de aquisição, enquanto, no componente de desempenho, o comportamento foi menos sensível aos efeitos de ambas as drogas. Segundo os autores, a maior sensibilidade no componente de aquisição aos efeitos das drogas pode estar associada à taxa de reforçamento mais baixa que ocorreu no componente de aquisição, em relação ao componente de desempenho, na linha de base. Essa menor taxa de reforços foi produzida

por um maior número de erros seguidos de *timeouts*. Outro fator apontado pelos autores como associado à maior sensibilidade no componente de aquisição refere-se ao controle de estímulos relativamente fraco nesse componente. A administração das drogas durante a sessão, após a aquisição da seqüência de respostas ou após um forte controle de estímulos ter sido estabelecido, diminuiu os efeitos anteriormente observados no componente de aquisição (Thompson & Moerschbaeher, 1979a).

Winsauer, Thompson e Moerschbaeher (1985) mostraram efeitos semelhantes em pombos. As doses mais altas de d-anfetamina, fenciclidina e pentobarbital produziram efeitos mais acentuados no componente de aquisição do que no componente de desempenho, com decréscimos na taxa de respostas e aumentos no número de erros. Novamente, o comportamento sob um maior controle de estímulos (componente de desempenho) foi mais resistente aos efeitos das drogas do que o comportamento sob fraco controle de estímulos (componente de aquisição).

Winsauer e Mele (1993) utilizaram um procedimento de aquisição repetida para avaliar os efeitos da radiação ionizante em ratos. Uma seqüência de três respostas envolvendo três chaves, esquerda, central e direita (e,c,d) era aprendida a cada sessão. Uma luz colorida iluminava simultaneamente as três chaves de respostas e a tarefa do sujeito era pressionar com o focinho uma das chaves. Após cada resposta correta (na chave programada como tal na ordem da seqüência), as chaves mudavam de cor. A conclusão da seqüência programada para uma dada sessão produzia o reforço. Em todo o estudo foram utilizadas três cores em uma ordem fixa de apresentação independente da ordem das chaves na seqüência: verde, vermelha, amarela, sendo que o reforço (uma pelota de alimento de 45 mg) ocorria sempre pós uma resposta correta na presença da luz amarela. Uma seqüência de respostas, por exemplo ced, era mantida em toda uma sessão por um esquema de

reforçamento de razão fixa FR 2, isto é, cada segunda seqüência correta era seguida por reforçamento. Um erro produzia 5 segundos de *timeout*, quando as luzes das chaves eram desligadas e as respostas não tinham conseqüências programadas. Após o período de *timeout*, reaparecia a mesma cor que estava em vigor no período que o antecedeu. A aquisição de cada seqüência de respostas foi avaliada pela diminuição dos erros intra-sessão. Em estados estáveis da aquisição repetida, os ratos foram expostos a múltiplas doses de radiação gama de ^{60}Co (1, 3, 4,5 e 8 Gy) intercaladas por um período mínimo de quatro semanas. A taxa total de respostas diminuiu após a exposição a doses maiores do que 1 Gy para todos os sujeitos. Aumentos na porcentagem de erros ocorreram em doses que diminuíram significativamente a taxa de respostas, como 8 Gy.

Apesar dos efeitos consistentes da radiação sobre a precisão de respostas, observados por Winsauer & Mele (1993), esse estudo deixa em aberto se seqüências de respostas já adquiridas são também afetadas pela radiação, assim como as seqüências de respostas a serem adquiridas a cada sessão. Não houve comparação entre os efeitos da radiação sobre o responder na situação de aquisição repetida e na situação de desempenho.

A utilização de contingências mais complexas, como a de aquisição repetida, permite uma análise mais refinada, que busca identificar diferentes efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento operante, do que são possíveis quando se utilizam esquemas simples de reforçamento. Com procedimentos como o de aquisição repetida, é possível separar os efeitos sobre a taxa de respostas dos efeitos sobre a precisão das respostas. A taxa de respostas mostra efeitos deprimidos da radiação a partir de baixas doses, enquanto a alteração na precisão só foi observada em doses que produziram significativo efeito sobre a medida de taxa de respostas (Winsauer & Mele, 1993). Assim, com esse procedimento, é possível separar os efeitos anoréxicos causados pela radiação,

— que diminuem a eficiência do alimento como estímulo reforçador — dos efeitos da radiação sobre a aquisição e o desempenho do comportamento. Em um outro contexto, o efeito anoréxico foi observado por Thompson & Moerschbaeher (1979). Os autores observaram que a pré-alimentação dos sujeitos antes da sessão experimental foi acompanhada por diminuição na taxa de respostas em ambos os componentes de aquisição e desempenho, enquanto a precisão não foi alterada.

OBJETIVOS DO ESTUDO

Os efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento mantido por contingências de reforçamento são relativamente pouco conhecidos. A literatura sobre o efeito da radiação ionizante sobre o comportamento em situações de operante livre é relativamente pequena, se comparada com estudos naturalísticos sobre o comportamento ou com estudos sobre os efeitos biológicos dessa radiação (Mickley, Bogo, Landauer & Mele, 1988; Furtchgott, 1963). Além disso, os efeitos da radiação sobre a aprendizagem ou aquisição de respostas têm sido pouco explorados. São mais comuns estudos clássicos de aprendizagem envolvendo situações experimentais de labirinto em que se utilizam procedimentos de tentativas discretas e delineamentos de comparações entre grupos.

O presente estudo, ao utilizar um procedimento de esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho, tem como objetivo expandir o conhecimento dos efeitos da radiação sobre o comportamento mantido por contingências de reforçamento (esquemas simples de reforçamento em intervalo e de razão e esquemas concorrentes), utilizando contingências que envolvem diferentes relações e diferentes níveis de exigências programadas para a resposta. Contingências mais complexas podem permitir uma avaliação

mais completa das relações entre fatores ligados à radiação e fatores ambientais e comportamentais.

O procedimento de aquisição repetida tem sido indicado como uma linha de base comportamental adequada para o estudo de muitas variáveis que interferem na aprendizagem, incluindo a administração aguda ou crônica de drogas e a exposição à radiação ionizante, possibilitando uma avaliação contínua desses efeitos com comparações intra-sessão e intersessões (Thompson, 1973; Winsauer & Mele, 1993). A utilização de um esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho possibilitará a comparação dos efeitos da radiação ionizante sobre a aquisição bem como sobre o desempenho do comportamento. A aprendizagem nesse procedimento é medida tanto pela diminuição de erros em uma sessão quanto pela diminuição de erros ao longo de várias sessões. Portanto, serão avaliados os efeitos da radiação sobre a aprendizagem ou aquisição de respostas tanto em uma sessão quanto sobre o padrão de aprendizagem que ocorre ao longo de várias sessões, além dos efeitos sobre o desempenho de respostas cujos requisitos se mantêm constantes em todas as sessões experimentais.

O comportamento, medido como taxa de respostas, é sensível aos efeitos anoréxicos de uma droga ou à exposição à radiação. Pequenas doses de radiação, por exemplo, podem alterar temporariamente a eficácia de um estímulo reforçador, produzindo taxas mais baixas de respostas, o que necessariamente não implica efeitos sobre a aprendizagem daquele comportamento. Além disso, as mesmas doses de radiação têm produzido efeitos quantitativamente diferentes, dependendo das contingências de reforçamento em operação bem como do tipo e da qualidade do estímulo reforçador utilizado (Gimenes & Vasconcelos, 1996). Dessa forma, a diminuição na motivação não parece ser uma condição necessária para se obter efeitos negativos sobre a aprendizagem (cf. Thompson, 1973;

Winsauer & Mele, 1993). A utilização do procedimento de aquisição repetida permitirá uma avaliação dos efeitos anoréxicos da radiação sobre o comportamento em contraste com os efeitos sobre a precisão do comportamento uma vez que as medidas de erros oferecem informações adicionais àquelas obtidas por meio da taxa de respostas.

O arranjo experimental proposto no presente estudo permitirá, também, avaliar os efeitos da radiação em dois tipos de procedimentos de aquisição repetida e desempenho com diferentes níveis de complexidade, aqui definida pelo número de dimensões envolvidas na resposta (cf. Goldiamond, 1966). Para ambos os procedimentos três respostas de pressão à barra serão consideradas como uma unidade de resposta, ou seja, a ocorrência do reforço será contingente à conclusão de uma seqüência de três pressões à barra numa determinada ordem. Um dos procedimentos será definido por uma seqüência de três respostas envolvendo três barras, dispostas horizontalmente, que se repete a cada conclusão da seqüência (uma dimensão). O outro procedimento envolverá uma seqüência de três pressões numa mesma barra, sendo que a cada conclusão de uma seqüência, a próxima seqüência deverá ocorrer numa nova barra até que um ciclo de três barras se complete (duas dimensões).

O presente estudo pretende, ainda, testar o efeito de repetidas exposições a diferentes doses subletais de radiação, avaliando as doses fracionadas bem como a dose total acumulada de radiação acima do $LD^{50/30}$ para ratos. A presente pesquisa expandirá, assim, para contingências de esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho o teste de doses que têm se mostrado efetivas na produção de alterações no comportamento mantido tanto em esquemas simples de reforçamento de FI, VI e FR (Gimenes & Vasconcelos 1992; Gimenes et al., 1991; Vasconcelos et al., 1993; Mele & McDonough, 1995), quanto em esquemas concorrentes (Vasconcelos et al., 1995).

Os resultados do presente estudo, enquanto de interesse para expandir o conhecimento sobre os diferentes parâmetros experimentais envolvidos nos efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento, contribuem, também para o intercâmbio entre a pesquisa animal, desenvolvida em laboratório, e o contexto de indivíduos expostos a acidentes radioativos. Os estudos de laboratório em situação controlada, que compreendem diferentes tarefas de diferentes complexidades, poderão ajudar na compreensão dos efeitos comportamentais observados em indivíduos envolvidos em eventos radioativos. Devido à multiplicidade de variáveis envolvidas nos diferentes contextos socioculturais em que esses eventos ocorrem, é extremamente difícil identificar e diferenciar, nessas situações, os efeitos provocados pela radiação daqueles provocados pelas mudanças ambientais e sociais resultantes desse tipo de acontecimento. Com o avanço de estudos com animais infra-humanos em situações controladas de laboratório, espera-se que os dados obtidos em tais estudos possam servir como ferramentas precisas, que permitam uma análise mais refinada no contexto humano.

MÉTODO

Sujeitos

Doze ratos albinos, machos, de duas ninhadas provenientes do Biotério Central da Universidade de Brasília, com idade de aproximadamente 90 dias no início da coleta de dados, foram utilizados como sujeitos experimentais. Esses animais, experimentalmente ingênuos, foram aleatoriamente divididos em dois grupos, A e B, e denominados de A1, A2, A3, A4, A5, e A6, e B1, B2, B3, B4, B5 e B6, respectivamente. Cada um desses animais foi mantido em uma gaiola viveiro individual de aço inoxidável, suspensa e com piso gradeado, numa área com um ciclo de luz de aproximadamente doze horas de luz e doze horas de escuro, e na temperatura ambiente. Eles tinham acesso livre a água na gaiola viveiro e recebiam, em média, doze gramas de alimento por dia, uma hora após o término da sessão experimental na qual participavam, além do alimento obtido nessas sessões. O alimento fornecido nas gaiolas viveiros era consumido num período aproximado de uma hora; isso produzia uma privação de aproximadamente 21 horas antes de cada sessão experimental. A água consumida pelos animais, desde sua transferência para o laboratório onde os dados foram coletados até o final do estudo, foi fornecida de uma mesma fonte mineral, comercialmente disponível. O controle da água teve por objetivo minimizar a possibilidade de infecções bacterianas oportunistas. Da mesma forma, a ração balanceada utilizada durante o estudo foi sempre a mesma. Três outros ratos, sendo dois das mesmas ninhadas e um de uma outra ninhada mais velha, com aproximadamente um ano de idade, denominados de B7 e B8, e I1, foram mantidos nas mesmas condições que os sujeitos experimentais, com exceção da quantidade de alimento recebida na gaiola viveiro, que variava em torno de 15 gramas diárias, quantidade suficiente para mantê-los com o peso

estável. Esses três animais foram utilizados como sujeitos controle para as condições de saúde dos sujeitos experimentais. Todos os animais foram mantidos e manipulados segundo os princípios enunciados pelo *Guide for the Care and Use of Laboratory Animal Research* (National Research Council, 1996).

Equipamentos:

Três câmaras modulares de condicionamento operante para pequenos roedores (modelo E10-10 da Coulburn Instruments Inc.) foram utilizadas para a coleta dos dados. Cada câmara tinha um painel de respostas formado por três barras de resposta idênticas, localizadas 12 centímetros acima do assoalho, dispostas horizontalmente e separadas por 8 centímetros; as barras externas estavam localizadas a 4 centímetros das paredes laterais. Além da distância entre elas, as barras eram separadas fisicamente por duas barreiras de 3 X 3 centímetros afixadas entre cada duas barras. Essas barreiras físicas impediam o acionamento de duas barras simultaneamente por parte dos sujeitos. As barras de resposta foram denominadas, respectivamente, barra esquerda, central e direita (e,c,d). Três lâmpadas de 6 watts com capas plásticas nas cores amarelo, vermelho e verde, dispostas horizontalmente e separadas por um centímetro, localizavam-se 6 centímetros acima da barra central. Uma lâmina de acrílico transparente de 4 centímetros de largura foi afixada sobre as três lâmpadas para protegê-las de manipulação por parte dos animais. Uma lâmpada branca de 6 volts, localizada no teto junto à parede oposta ao painel de respostas, fornecia luz ambiente. Pelotas de alimento de 45 miligramas, produzidas por P.J. Noyes Company Inc., utilizadas como reforço, eram liberadas através de uma abertura localizada na parte central do painel, imediatamente acima do piso e abaixo da barra central. Um desenho esquematizado do painel de respostas pode ser visto na Figura 1. As câmaras

experimentais foram mantidas dentro de caixas atenuadoras de luz e som, com um ventilador que fornecia ar e um ruído mascarador de aproximadamente 60 dB.

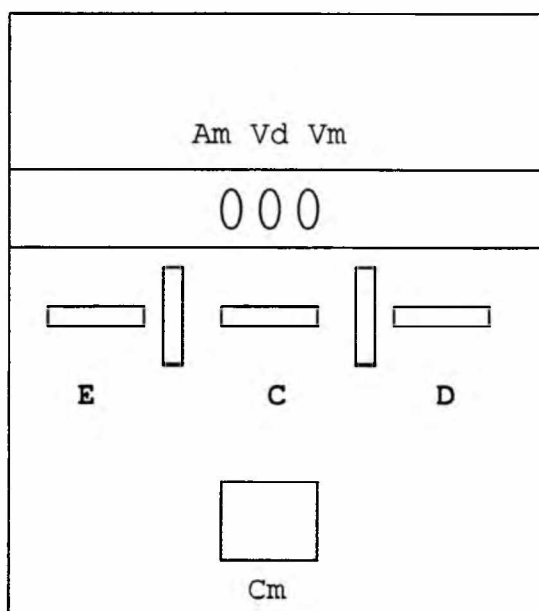


Figura 1. Desenho esquematizado do painel de respostas. **E** = Barra Esquerda; **C** = Barra Central; **D** = Barra Direita; **Am** = lâmpada amarela; **Vd** = lâmpada verde; **Vm** = lâmpada vermelha; **Cm** = Comedouro.

A programação e os registros dos eventos das sessões experimentais foram feitos por meio dos programas Schedule Manager™ for Windows® e Soft Cumulative Record™ produzidos por MED Associates Inc. Esses programas foram executados por um microcomputador 486, de 80 Mhz e 8 MB de RAM, acoplado a uma interface MED Associates Inc., com 16 entradas (*inputs*) e 24 saídas (*outputs*) para controle de processos, localizados numa sala adjacente. A configuração do equipamento permitia a realização simultânea de três sessões experimentais, com uma dessas três sessões sendo monitorada por um sistema colorido de vídeo composto por uma câmara e um monitor. Um sistema de rodízio dentro e entre cada bloco de três sessões permitia um monitoramento diário das três caixas experimentais.

Procedimentos:

Treino preliminar: Inicialmente, todos os sujeitos foram expostos a um procedimento de modelagem de respostas de pressão à barra em todas as posições (e,c,d). Após a modelagem, cada sujeito foi exposto a pelo menos uma sessão com apenas uma das três barras operativas. A barra operativa era alterada a cada sessão. Nessas sessões, as respostas eram reforçadas de acordo com um esquema de reforçamento contínuo. Em seguida, duas das três barras eram operativas a cada sessão, utilizando-se as possíveis combinações das três barras, duas a duas. Nessas sessões, o reforço era apresentado quando pelo menos duas respostas ocorressem, uma em cada barra, em qualquer ordem. Nas sessões subsequentes as três barras eram operativas, e a ocorrência de pelo menos três respostas, uma em cada barra, produzia o reforço. Durante essas sessões de treino inicial, as respostas eram reforçadas por uma pelota de alimento acompanhada da iluminação do comedouro por 2 segundos, com a luz da caixa apagando-se durante esse período de reforçamento. Esse treino inicial de, aproximadamente, 15 sessões foi utilizado para estabelecer respostas estáveis nas três barras, bem como para estabelecer a luz do comedouro como estímulo reforçador condicionado.

Treino em aquisição repetida. Após o treino preliminar os sujeitos foram expostos a uma de duas contingências de aquisição repetida num esquema múltiplo, com um componente de aquisição e um componente de desempenho. Nessas contingências, a unidade de resposta a ser reforçada foi definida por uma seqüência de três respostas, sendo uma resposta em cada barra para os sujeitos do Grupo A (Procedimento A) ou três respostas numa mesma barra para os sujeitos do Grupo B (Procedimento B).

Procedimento A. As diferentes barras associadas às respostas corretas dentro de uma seqüência eram sempre sinalizadas pelas luzes de cor vermelha, verde ou amarela, sempre nessa ordem. Portanto, no início de qualquer seqüência a luz vermelha era

apresentada; uma resposta na barra correta produzia a mudança na cor da luz para verde; uma resposta na nova barra correta produzia a mudança da luz para o amarelo; uma resposta na nova barra correta produzia o reforço e a seqüência era reiniciada. Quando o sujeito emitia uma resposta incorreta, isto é, pressionava uma das duas barras que não a programada como correta naquele momento, o erro era seguido por um período de 2 segundos de *timeout*. Durante esse período todas as luzes da caixa eram apagadas e respostas em qualquer barra não tinham conseqüências programadas; apenas eram registradas suas ocorrências. Um erro não reiniciava a seqüência de três respostas, isto é, a barra correta era a mesma antes e depois do *timeout*.

A seqüência utilizada para o componente de desempenho foi *dce*, a qual permaneceu em efeito durante todas as sessões em todas as condições experimentais. As cinco seqüências restantes, com combinações das três barras, *ecd*, *edc*, *dec*, *ced* e *cde*, foram utilizadas para o componente de aquisição, obedecendo-se os seguintes critérios: (1) A seqüência era modificada a cada sessão; (2) o último elemento da seqüência não se repetia em sessões consecutivas; (3) reduziu-se a um mínimo a ocorrência de seqüências circulares em sessões consecutivas (e.g., Boren & Devine, 1968; Boren, 1969; Thompson, 1973). Entende-se por seqüência circular aquela que pode ser encontrada dentro da repetição de uma outra seqüência. Por exemplo, ao repetir duas vezes a seqüência *edc*, encontra-se dentro da cadeia de respostas as seqüências *dce* e *ced*. Portanto, para reduzir a um mínimo essa ocorrência, a seguinte ordem de seqüências foi programada para cada bloco de cinco sessões consecutivas: *edc*, *cde*, *ced*, *dec* e *ecd*.

Os componentes de aquisição e desempenho eram diferentemente sinalizados pela maneira de apresentação das luzes sinalizadoras de respostas localizadas acima da barra central. No componente de aquisição, as luzes mantinham-se constantes, e no componente de desempenho, as luzes piscavam com uma intermitência de um segundo. As sessões

tinham uma duração de 60 minutos e começavam sempre pelo componente de aquisição do esquema múltiplo; após 30 minutos o componente de aquisição era substituído pelo componente de desempenho. A mudança de um componente para outro era sinalizada por um período de um segundo de *blackout*, durante o qual respostas não tinham conseqüências programadas.

Durante as oito primeiras sessões de treino de aquisição repetida, cada seqüência completa era reforçada por alimento, sendo portanto necessário um mínimo de três respostas corretas por pelota de alimento. A partir da nona sessão as seqüências (definidas como unidade de resposta) passaram a ser reforçadas num esquema de segunda ordem FR 3 : FR 1 para cada bloco de três seqüências, as duas primeiras eram reforçadas pela apresentação da luz do comedouro por 2 segundos e a terceira era reforçada por uma pelota de alimento e pela luz do comedouro. Esse esquema de reforçamento das seqüências foi mantido durante o restante do experimento.

Procedimento B. Os sujeitos do Grupo B foram expostos a um procedimento similar aos do Grupo A, com as seguintes diferenças: para cada seqüência programada (as mesmas seqüências do Procedimento A), era exigida uma FR 3 para cada barra. Por exemplo, no componente de desempenho, *dce*, o sujeito deveria emitir três respostas seguidas na barra direita, três respostas seguidas na barra central e três respostas seguidas na barra esquerda. Da mesma forma que para o Procedimento A, cada cor de luz era associado a uma barra, e apresentadas sempre na mesma ordem, independentemente da seqüência estabelecida para cada sessão. Assim, a cor da luz só mudava quando haviam ocorrido três respostas na barra associada àquela cor. Os demais parâmetros para os sujeitos nesse procedimento eram os mesmos para os do Procedimento A.

Os arranjos programados para os dois tipos de componentes de aquisição e desempenho permitiram o controle entre os Procedimentos A e B, tanto para respostas

quanto para reforços, variando apenas a complexidade das seqüências. Dessa forma, para cada três seqüências no Procedimento A, correspondem três seqüências no Procedimento B, com um mesmo número de respostas em cada barra e um mesmo número de respostas por reforço, com a mesma barra sendo associada ao estímulo reforçador alimento nos dois casos. O Quadro 1 exemplifica a ocorrência de nove respostas, utilizando-se a seqüência *dce* para ambos os procedimentos.

Quadro 1. Representação das respostas para um bloco de três seqüências para os Procedimentos A e B. As setas indicam a direção das seqüências em cada procedimento.

PROCEDIMENTO A

→

P R O C E D B	D	C	E	
	D	C	E	
	D	C	E	S ^R
			S ^R	

Condições experimentais: Todos os sujeitos (em ambos procedimentos) foram submetidos à seguinte seqüência de condições experimentais: (1) linha de base, sessões de aquisição e desempenho; (2) sessão de controle, simulação de radiação; (3) sessões de aquisição e desempenho; (4) sessão de radiação e (5) sessões de aquisição e desempenho. Essa seqüência foi repetidas quatro vezes, uma para cada dose de radiação utilizada. As doses utilizadas foram 4,5; 6,0; 3,0; e 8,0 Gy, nessa ordem. As condições a que cada um dos sujeitos foi exposto são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Seqüência de condições experimentais para todos sujeitos.

Condições	Aquisição e Desempenho		Aquisição e Radiação		Aquisição e Desempenho	
		Simulação				
Doses (Gy)	Número mínimo de sessões em cada condição					Total
4,5	44	1	2	1	14	62
6,0	32	1	2	1	14	50
3,0	34	1	2	1	14	52
8,0	15	1	2	1	*	*

* O número de sessões nesta condição, após a dose de 8,0 Gy, variou de sujeito para sujeito, dependendo da sobrevivência de cada um. Após 20 sessões, os animais sobreviventes foram sacrificados.

Estados estáveis da condição de linha de base pré-irradiação foram considerados por meio das medidas de taxas de respostas (total de respostas/min, excluindo-se os períodos de reforçamento e *timeout*) e precisão ou porcentagem de erros ((erros/total de respostas) x 100) em cada componente, quando essas medidas não mostravam mudanças sistemáticas de sessão para sessão. O critério de número de sessões também foi utilizado estabelecendo-se um limite de quarenta sessões anteriores à simulação de radiação na primeira dose (4,5 Gy), trinta sessões na segunda e terceira doses (6,0 e 3,0 Gy) e quinze sessões na quarta e última dose (8,0 Gy). A quarta dose utilizada teve como principal objetivo avaliar os efeitos de uma dose de radiação próxima à $LD^{50/30}$ para o rato, bem como os possíveis efeitos cumulativos das doses.

Protocolo comportamental: Para cada uma das condições foram registrados nos componentes de aquisição e desempenho as respostas em cada barra, corretas e incorretas, as seqüências com e sem erros e os reforços obtidos. Durante os períodos de *timeout* e de sinalização de mudança de componente foi registrado o número de respostas emitidas. Além dos dados totais de sessão, obtidos a partir dos registros acima, a aquisição e o desempenho de respostas foram analisados intra-sessão e intersessões utilizando-se a

medida de precisão ou percentual de erros. Registros cumulativos também foram obtidos para cada sessão, o que permitiu uma inspeção visual do padrão de respostas dos sujeitos em cada componente ao longo da sessão. Os registros computadorizados para cada resposta possibilitaram uma análise pormenorizada dos erros, detectando diferentes níveis de dificuldade entre as seqüências e a freqüência dos diferentes tipos de erros dentro e entre os componentes do esquema múltiplo.

Protocolo de irradiação: Todos os animais foram irradiados em um acelerador linear utilizado em tratamento médico radioterápico (Varian, modelo 600/100) isocêntrico a 100 cm da fonte, isto é, em qualquer posição ao redor do eixo central obtém-se uma mesma distância. Um desenho esquemático desse equipamento é apresentado na Figura 2.

O acelerador linear apresentou uma taxa de Unidade Monitor de 200 UM/min; emissão de fótons com energia equivalente ao potencial de aceleração dos elétrons de seis milhões de volts. Os fótons gerados são colimados em campos de irradiação retangulares com áreas que podem variar de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ até $40 \times 40 \text{ cm}^2$, na distância-fonte superfície de 100 cm e com uma profundidade de máxima ionização na água dos fótons de 1,5 cm como mostrado na Figura 3.

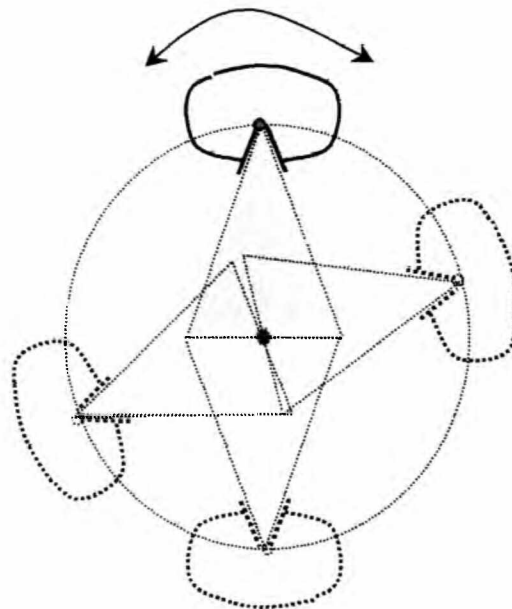


Figura 2- Vista frontal do movimento do cabeçote de um aparelho de irradiação isocêntrico.

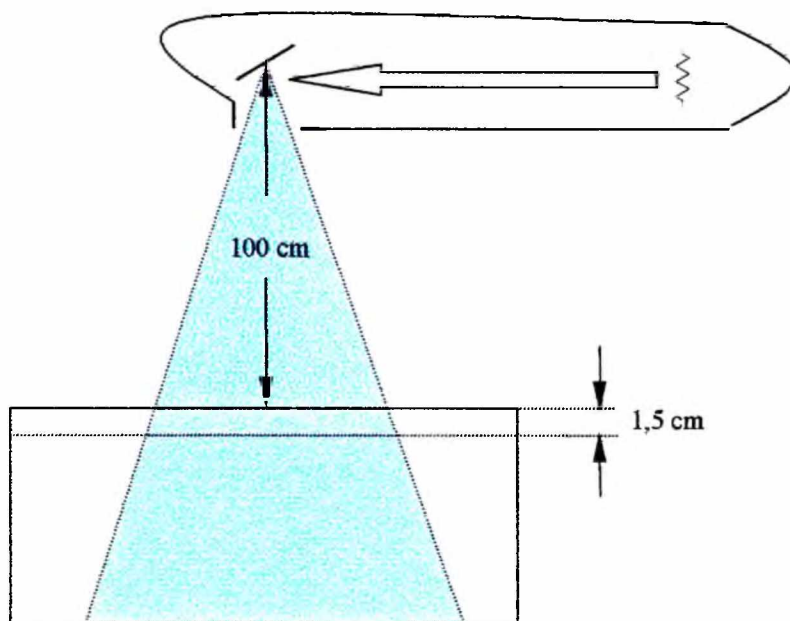


Figura 3- Esquema de funcionamento do acelerador linear apresentando a profundidade de máxima ionização na água.

O feixe de radiação foi calibrado com auxílio de um dosímetro clínico calibrado pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria da CNEN e um fantoma de água com 40 x 40 x 30 cm de volume, seguindo as recomendações do protocolo da Agência Internacional para feixes de fótons e elétrons (IAEA, 1987). O Fator de Calibração obtido para o campo 10 x 10 cm² foi de 1,059 cGy/UM.

O acelerador linear foi calibrado para água como meio espalhador, o que determinou a escolha de um fantoma de água, que possibilita uma melhor homogeneização na distribuição das curvas de mesma dose. Portanto, para irradiação dos ratos foi construído um fantoma de água de 15 x 17 x 37 cm, com quatro câmaras de 40 mm de diâmetro como mostrado na Figura 4, onde eram colocados os animais no momento da exposição à radiação.

As irradiações foram simulada no PROWESS 1000, um programa de simulação e planejamento de tratamento radioterápico, no qual foram armazenados os parâmetros técnicos do Acelerador Linear, tais como fator de calibração, perfil de campo, fator de abertura de campo, percentual de dose profunda, razão tecido-ar. Os parâmetros de entrada

para simulação foram: contornos dos alvos a ser irradiados, campo de irradiação, fatores modificadores e dose total. Assim, o programa simulava as curvas de mesma dose ou curvas de isodose dentro da área alvo, o que permitia a escolha da curva de dose mais conveniente para irradiação, calculando-se a dose total na curva escolhida.

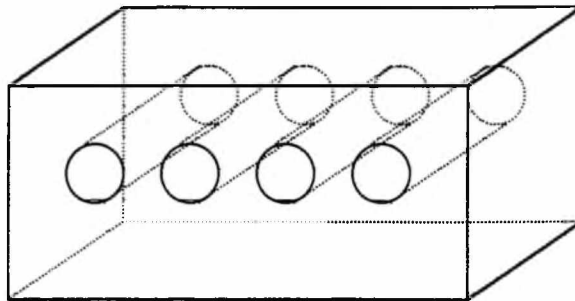


Figura 4- Esquema representativo do fantoma utilizado no procedimento de irradiação dos ratos.

A Figura 5 apresenta o fantoma com os ratos colocado no campo de irradiação do acelerador linear e utilizando-se a técnica de Percentual de Dose Profunda em campos Para-Oposto (Antero-Posterior).

As sessões de irradiação sempre ocorriam num domingo, e todos os sujeitos participavam da mesma sessão. Eles eram irradiados em grupos de três e a ordem dos sujeitos de exposição à radiação era a mesma utilizada nas sessões experimentais. O intervalo entre as exposições de 4,5 e 6,0 Gy foi de 49 dias; entre 6,0 e 3,0 Gy foi de 51 dias e entre 3,0 e 8,0 Gy foi de 32 dias, o que permitiu recuperação dos efeitos comportamentais, coleta de dados da linha de base e da simulação de radiação, antes de uma próxima exposição.

Todos os animais foram expostos a uma dose cumulativa de 21,5 Gy, sendo que a letalidade de uma dose cumulativa total está associada ao fracionamento e a fatores tais como ordem e intervalo entre as exposições (Winsauer & Mele, 1993).

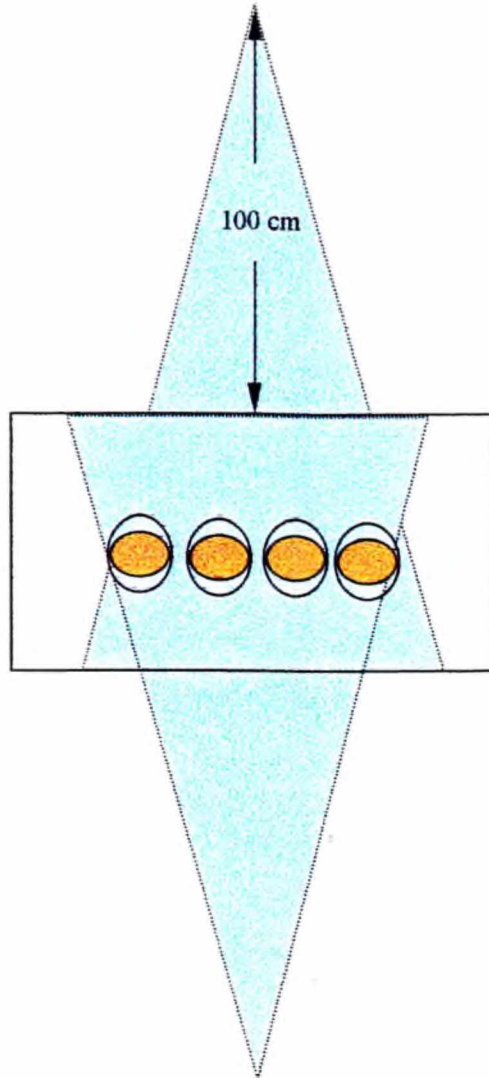


Figura 5- Esquema representativo da técnica de Percentual de Dose Profunda em campos Para-Oposto.

Análise Histológica: A recuperação comportamental não reflete necessariamente a recuperação dos efeitos fisiológicos a longo prazo (Mele, Franz & Harrison, 1988; Winsauer & Mele, 1993). Com o objetivo de avaliar os possíveis danos fisiológicos causados pela radiação, todos os sujeitos foram necropsiados e suas vísceras foram examinadas no Laboratório de Patologia do Departamento de Patologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília. Após a exposição à dose de 8,0 Gy oito ratos (A1, A2, A3, B1, B2, B4, B5 e B6) morreram num período de 4 a 10 dias enquanto os restantes (A4, A6, B3, B7 e B8 e I1) foram sacrificados num período de 20 dias após a

essa última sessão de irradiação. A análise histológica, que envolveu o sistema nervoso central e diversos órgãos, foi realizada em todos esses animais. O sujeito A5 morreu durante o transcorrer do estudo, antes da primeira sessão de irradiação, não tendo sido realizada análise histológica para o mesmo. Os resultados da análise histológica servem, também, como um indicador da efetividade do procedimento de irradiação utilizado.

RESULTADOS

Os dados serão analisados nos dois componentes do esquema múltiplo de aquisição e desempenho, com destaque para os diferentes procedimentos de aquisição utilizados. As medidas de precisão (porcentagem de erros), seqüências sem erros (porcentagem), distribuição de erros entre as três barras de respostas (proporção de erros), taxa de respostas (total de respostas/min, excluindo os períodos de *timeout* e reforço) e freqüência de reforços obtidos, serão utilizadas comparando cada seqüência de respostas em períodos anteriores e posteriores às exposições a radiação ionizante. Além dessa análise intersessões, os efeitos das doses de radiação sobre a aquisição e o desempenho serão analisados, também, intra-sessão por registros cumulativos. Uma análise do número de erros por seqüência de três respostas será também apresentada para demonstrar as diferenças produzidas pelos dois tipos de procedimento, A e B, utilizados. Finalmente será apresentada uma análise histológica realizada para todos os sujeitos após exposição à dose acumulada de 21,5 Gy de radiação ionizante.

PRECISÃO (PORCENTAGEM DE ERROS).

Uma comparação entre as primeiras sessões no esquema múltiplo e as sessões anteriores à primeira dose de radiação, utilizando-se a medida de precisão, é apresentada na Figura 6. Os histogramas representam as médias da porcentagem de erros das 15 primeiras sessões no esquema múltiplo e das 15 sessões anteriores à radiação. No componente de aquisição, exceto para o Sujeito A4, todos os sujeitos apresentaram uma redução no número de erros do primeiro para o segundo bloco de sessões analisadas. Comparando-se os sujeitos expostos aos Procedimentos A e B, pode-se notar, em geral, um menor número de erros para os sujeitos no Procedimento B. No componente de

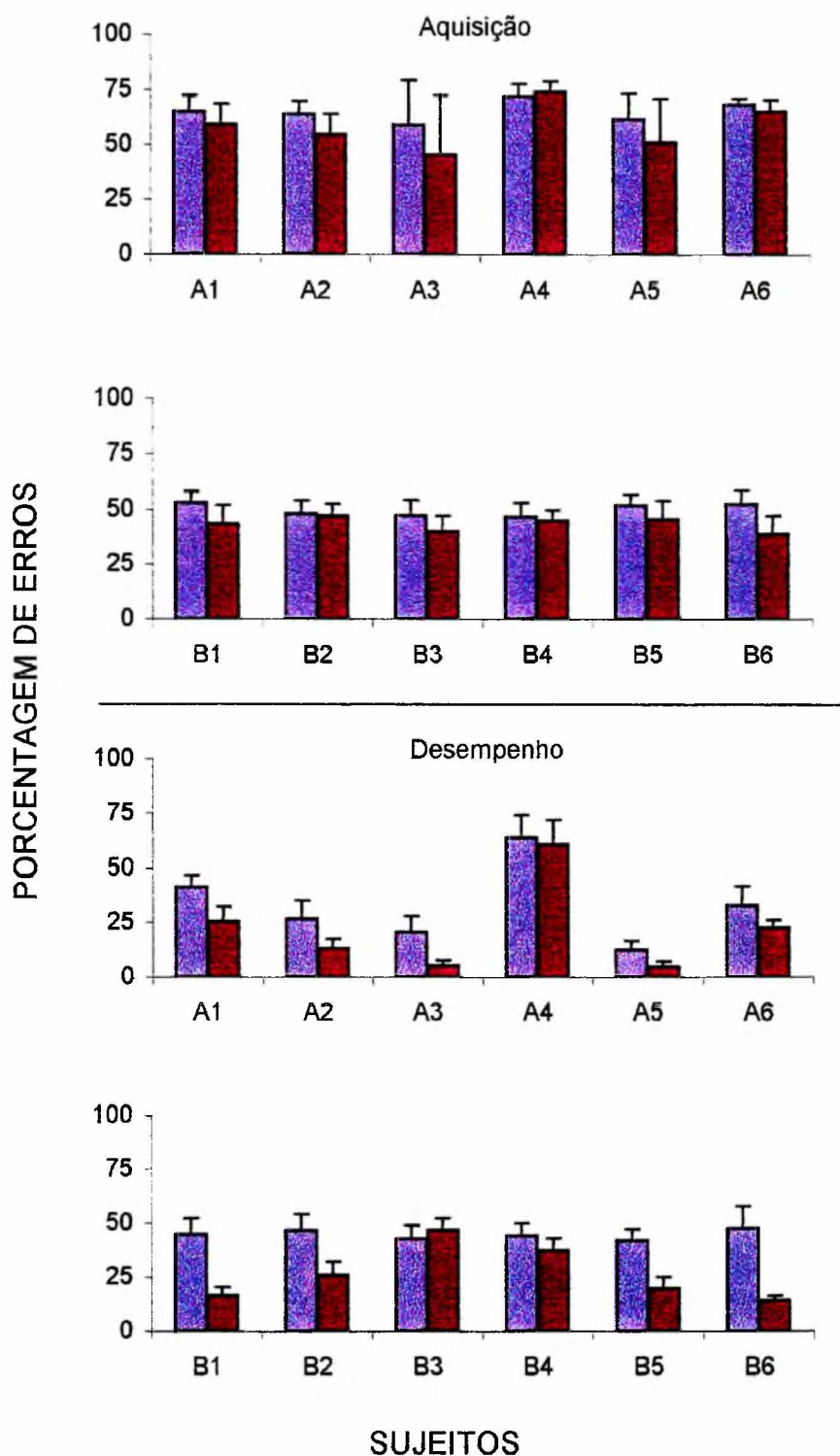


Figura 6. Porcentagem de erros nos componentes aquisição (painel superior) e desempenho (painel inferior) para todos os sujeitos nos procedimentos A e B. Os dados representam as médias das primeiras 15 sessões (barras azuis) e das 15 sessões anteriores à primeira irradiação (barras vinho). As barras acima das colunas representam um DP.

desempenho, observa-se um mesmo padrão de redução de erros entre o primeiro e o segundo bloco de sessões analisadas. A exceção ficou por conta do Sujeito B3. Nesse componente, entretanto, os sujeitos no Procedimento A apresentaram, em geral, um melhor índice de precisão, com exceção do Sujeito A4, que foi o que apresentou o maior número de erros entre todos, em ambos os componentes.

Os dados apresentados nas Figuras 7 e 8 foram separados por tipo de seqüência programada nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce) para os sujeitos nos Procedimentos A e B, respectivamente. Os valores apresentados para o componente de aquisição são médias de três a quatro sessões em cada seqüência e, para o componente de desempenho, são médias de quinze sessões.

A Figura 7 mostra, para os sujeitos no Procedimento A, que em ambos os blocos de sessões, no componente de aquisição, as seqüências edc e ced foram as que produziram, em geral, um número de erros mais baixo, enquanto o componente de desempenho dce mostra as menores porcentagens de erros de cada sujeito, quando comparado com as seqüências do componente de aquisição. A comparação dos dois blocos de sessões mostra diminuição de erros no segundo bloco, em todas as seqüências, exceto para o Sujeito A4.

A porcentagem de erros dos sujeitos no Procedimento B nas 15 primeiras sessões e nas 15 sessões anteriores à primeira exposição à radiação, em cada seqüência, é apresentada na Figura 8. No componente de aquisição, a seqüência ced foi a que produziu, em geral, o menor número de erros entre todas as sessões. Quanto ao componente de desempenho, somente no segundo bloco de sessões pode-se observar uma sistemática redução do número de erros, comparado com o componente de aquisição. Os dados apresentados nas Figuras 6, 7 e 8 indicam a ocorrência de aprendizagem entre sessões, ou seja, um melhor desempenho em ambos os componentes do esquema múltiplo com uma maior exposição às contingências programadas de aquisição repetida e desempenho. Os

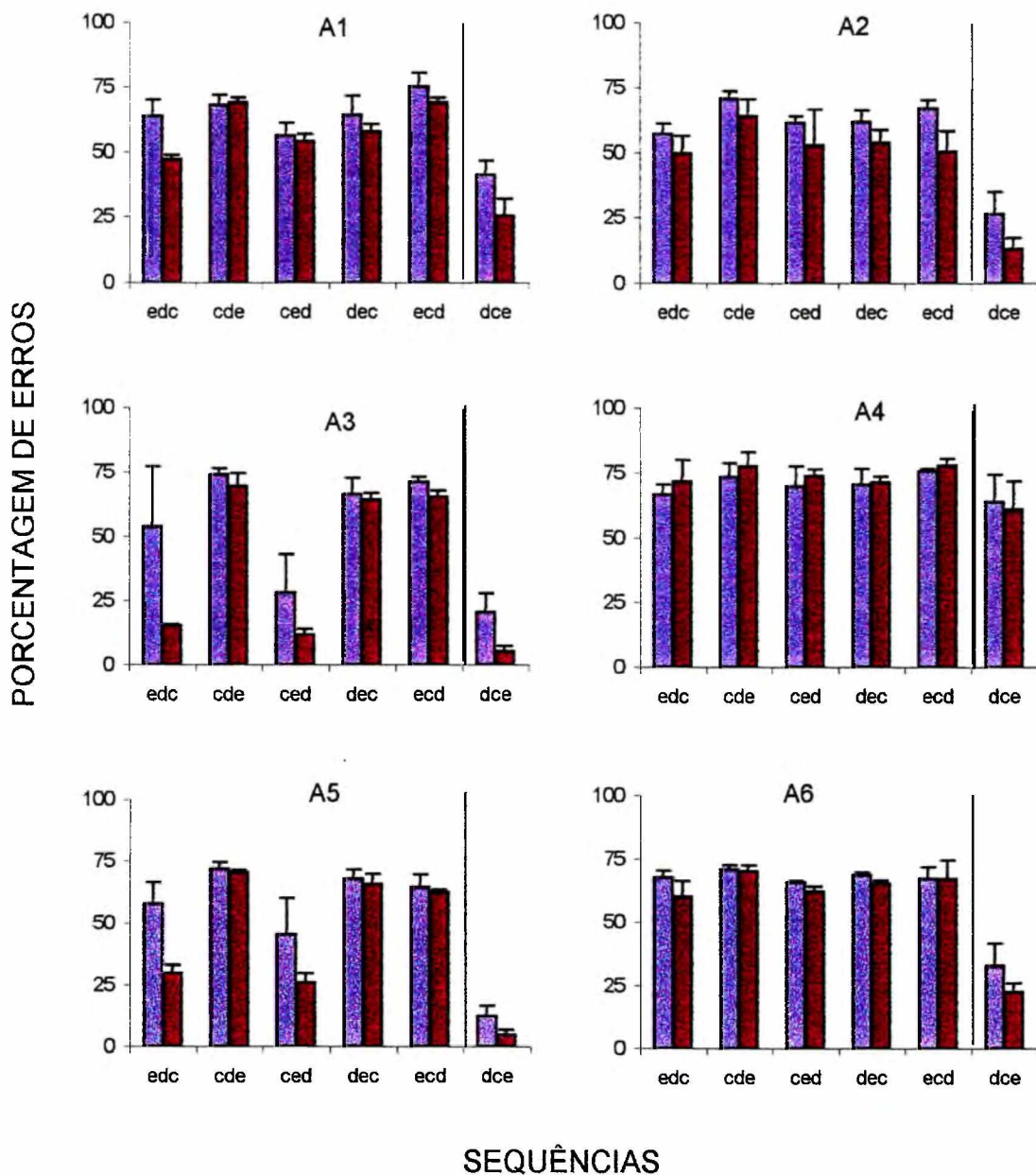


Figura 7. Porcentagem de erros nos componentes de aquisição (ecd, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce) nas primeiras 15 sessões (barras azuis) e nas 15 sessões anteriores à primeira irradiação (barras vinho), para os sujeitos no procedimento A. Os dados representam médias de três a quatro sessões em cada seqüência de aquisição e de 15 sessões de desempenho. As barras acima das colunas representam um DP.

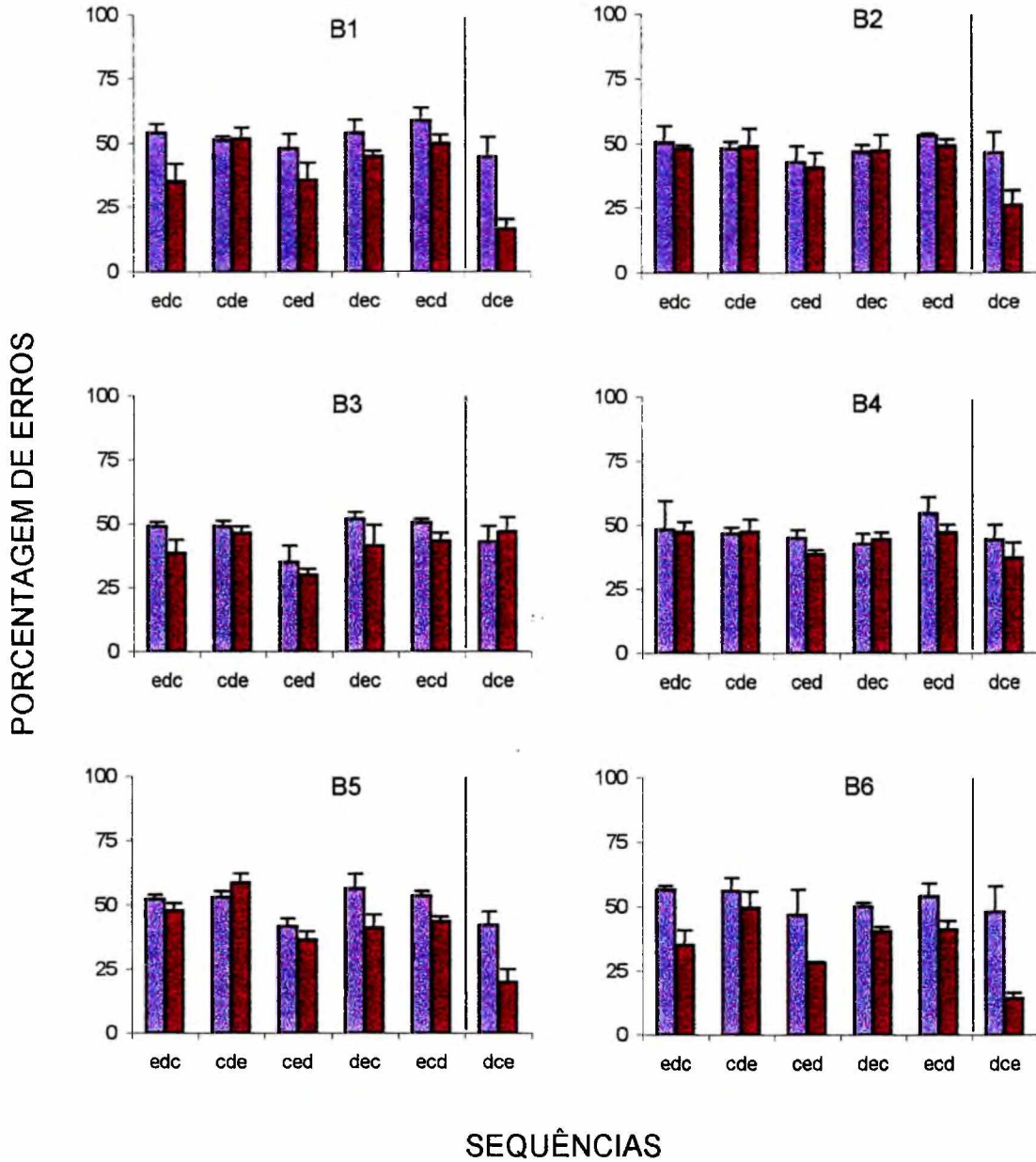


Figura 8. Porcentagem de erros nos componentes de aquisição (ecd, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce) nas primeiras 15 sessões (barras azuis) e nas 15 sessões anteriores à primeira irradiação (barras vinho), para os sujeitos no procedimento B. Os dados representam médias de três a quatro sessões em cada seqüência de aquisição e de 15 sessões de desempenho. As barras acima das colunas representam um DP.

dados apresentados nas Figuras 7 e 8 mostram que as diferentes seqüências utilizadas produziram diferentes desempenhos, o que sugere diferentes níveis de dificuldade entre elas.

A Figura 9 apresenta, para dois sujeitos no Procedimento A e dois sujeitos no Procedimento B, o desempenho intra-sessão na primeira e trigésima sessões do esquema múltiplo. As duas sessões apresentadas foram divididas em blocos de dois minutos, e a porcentagem de erros ($(\text{erros}/\text{total de respostas}) \times 100$) foi calculada para o componente de aquisição (blocos 1 a 15) e desempenho (blocos 16 a 30). A seqüência edc foi programada no componente de aquisição de ambas as sessões e a seqüência dce no componente de desempenho. Os pontos omitidos na apresentação dos dados dos Sujeitos B1 e B6 indicam pausas de respostas em alguns intervalos da sessão, o que não permitiu a computação da porcentagem de erros para aqueles intervalos. Os dados mostram uma clara redução de erros entre a primeira e a trigésima sessões, representadas pelas curvas de cor azul e rosa, respectivamente, para todos os sujeitos. Uma comparação entre os componentes de aquisição e desempenho mostra que enquanto para os sujeitos no Procedimento A houve uma diminuição no número de erros no componente de desempenho, tanto na primeira quanto na trigésima sessões, para os sujeitos no Procedimento B isso só pode ser observado na trigésima sessão. Por outro lado, a aprendizagem intra-sessão, no componente de aquisição, parece ser evidenciada apenas para os sujeitos no Procedimento A. Pode-se notar para esses sujeitos uma diminuição na porcentagem de erros ao longo da sessão. No componente de desempenho esse padrão pode também ser observado na primeira sessão. Para os sujeitos no Procedimento B, apesar de ter havido aprendizagem entre sessões, o mesmo não ocorreu intra-sessões, pelo menos para o componente de aquisição.

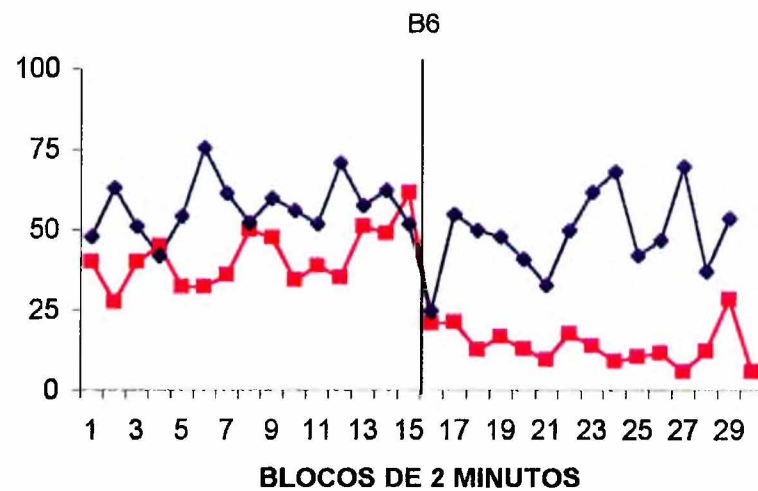
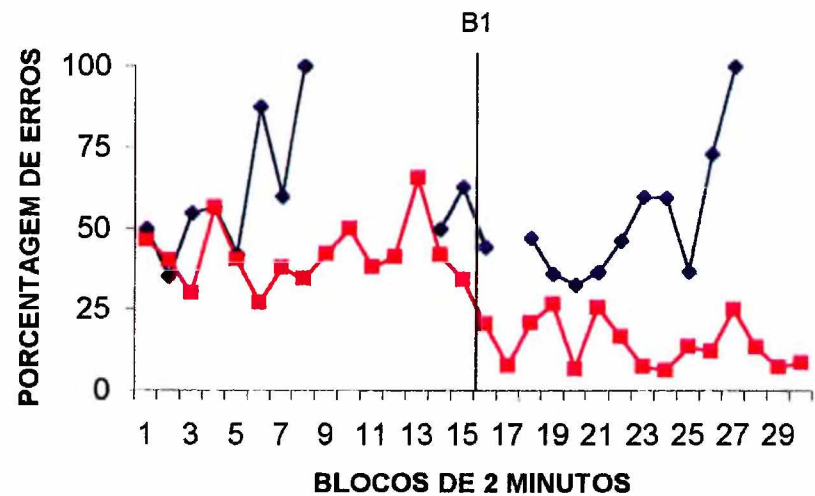
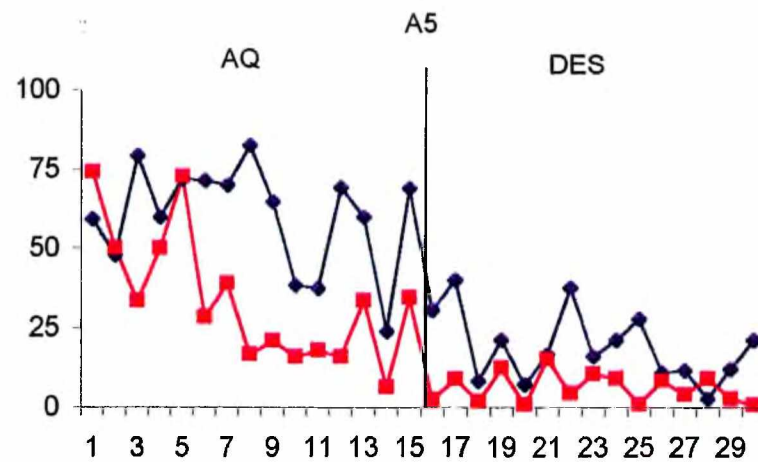
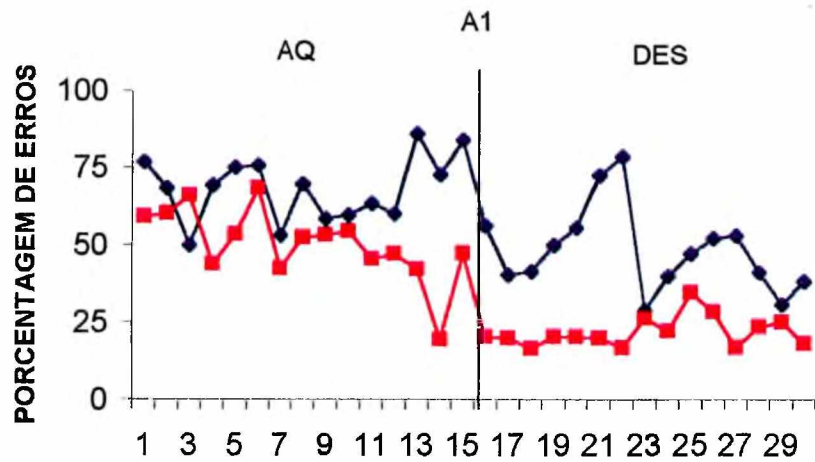


Figura 9. Porcentagem de erros nos componentes de aquisição e desempenho durante a primeira (losangos azuis) e a trigésima (quadrados rosas) sessões, para quatro sujeitos, dois em cada procedimento, A e B. Cada ponto representa dados de blocos de dois minutos ao longo da sessão.

Tendo em vista o diferente controle exercido pelos vários tipos de seqüência sobre o desempenho dos sujeitos, os efeitos das diferentes doses de radiação foram avaliadas tomando-se por linha de base sessões com o mesmo tipo de seqüência, isto é, os dados obtidos em cada sessão pós-radiação foram comparados com os dados obtidos em sessões pré-radiação que utilizaram o mesmo tipo de seqüência. Esse tipo de comparação teve como objetivo evitar o mascaramento dos possíveis efeitos da radiação, dados os diferentes desempenhos com diferentes seqüências nas sessões pré-radiação.

As quatro figuras que serão apresentadas a seguir mostram a medida de precisão (porcentagem de erros) nos componentes de aquisição e desempenho, 24 e 48 horas após as exposições a simulação (dose 0) e doses de radiação (3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy). A linha no eixo da ordenada no valor 100% representa a linha de base. Os valores de linha de base são médias de sessões em uma mesma seqüência que ocorreram no bloco de 15 sessões anteriores a cada dose de radiação. Assim, cada sessão pós-radiação é comparada com sessões da mesma seqüência. Os dados da radiação zero são médias em cada dose da simulação que ocorreu antes de cada exposição. A medida porcentagem de erros é apresentada nas figuras com o eixo da ordenada invertido para facilitar a leitura da figura em relação às outras que apresentam as medidas de taxa de respostas, seqüências sem erros e número de reforços obtidos. Isto é, pontos acima e abaixo da linha de base representam melhora e prejuízo no responder, respectivamente.

A Figura 10 mostra a porcentagem de erros nos componentes de aquisição e desempenho 24 horas após as exposições para os sujeitos no Procedimento A. A partir da Figura 10 não serão apresentados os dados para o Sujeito A5, que morreu antes da primeira exposição a radiação. Uma avaliação veterinária não detectou nenhuma causa específica para a morte desse sujeito. A porcentagem de erros 24 horas após a simulação (radiação zero) em ambos os componentes concentra-se ao redor da linha de base. No componente

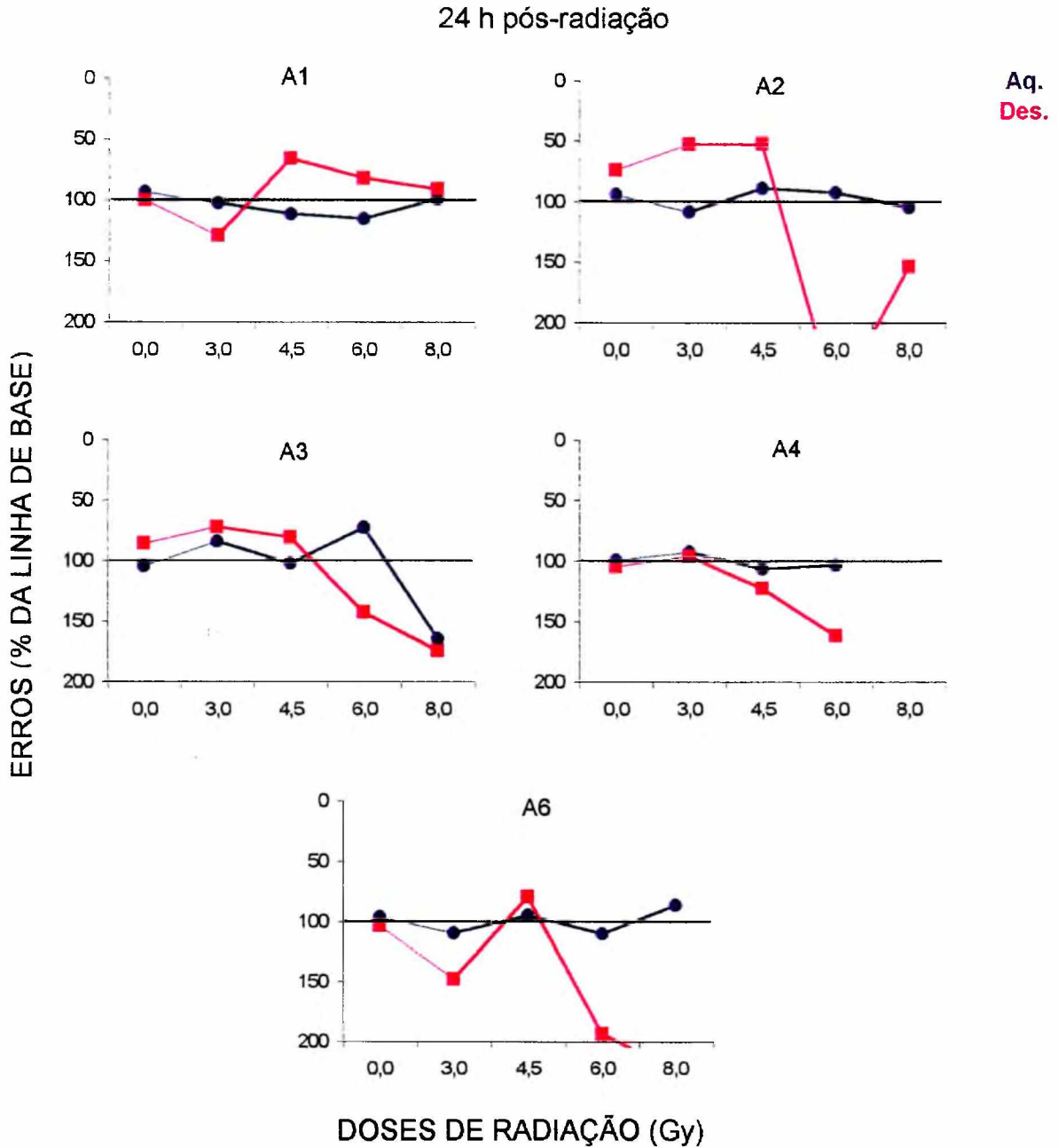


Figura 10. Erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

de aquisição, com exceção do Sujeito A3 com a dose de 8,0 Gy, não houve nenhuma alteração significativa em relação à linha de base, isto é, a porcentagem de erros não foi afetada pelas diferentes doses de radiação. No componente de desempenho, pode-se observar uma maior variação nos dados em relação à linha de base para todos os sujeitos, com as doses maiores (exceção para o Sujeito A1) produzindo um aumento na porcentagem de erros. A ausência de dados após 8,0 Gy para o Sujeito A4 se deveu à morte do sujeito após essa última exposição.

Os efeitos das diferentes doses de radiação sobre a porcentagem de erros 48 horas após as exposições é mostrada na Figura 11 para os sujeitos no Procedimento A. Após a radiação zero observa-se que os valores para ambos os componentes concentram-se ao redor da linha de base. No componente de aquisição, os dados para dois dos sujeitos (A2 e A4) mostram efeitos da radiação não observados 24 horas após as exposições, com aumento na porcentagem de erros após as doses de 3,0, 6,0 e 8,0 Gy (A2) e 6,0 Gy (A4). No componente de desempenho, observa-se o mesmo tipo de efeito encontrado após 24 horas, sendo que após 48 horas todos os sujeitos apresentaram aumento na porcentagem de erros, além desse aumento ter sido maior. Os dados nas Figuras 10 e 11 indicam, com o Procedimento A, um efeito diferencial da radiação sobre os dois componentes do esquema múltiplo. Indicam ainda uma intensificação do efeito da radiação 48 horas após as exposições em comparação com o efeito após 24 horas.

A Figura 12 apresenta a porcentagem de erros 24 horas após as sessões de simulação e radiação para os sujeitos no Procedimento B. Após a radiação zero as médias concentram-se ao redor da linha de base. No componente de aquisição, as diferentes doses de radiação parecem não ter produzido efeitos sobre a porcentagem de erros, uma vez que essa medida se manteve próxima do nível da linha de base para todos os sujeitos. No

48 h pós-irradiação

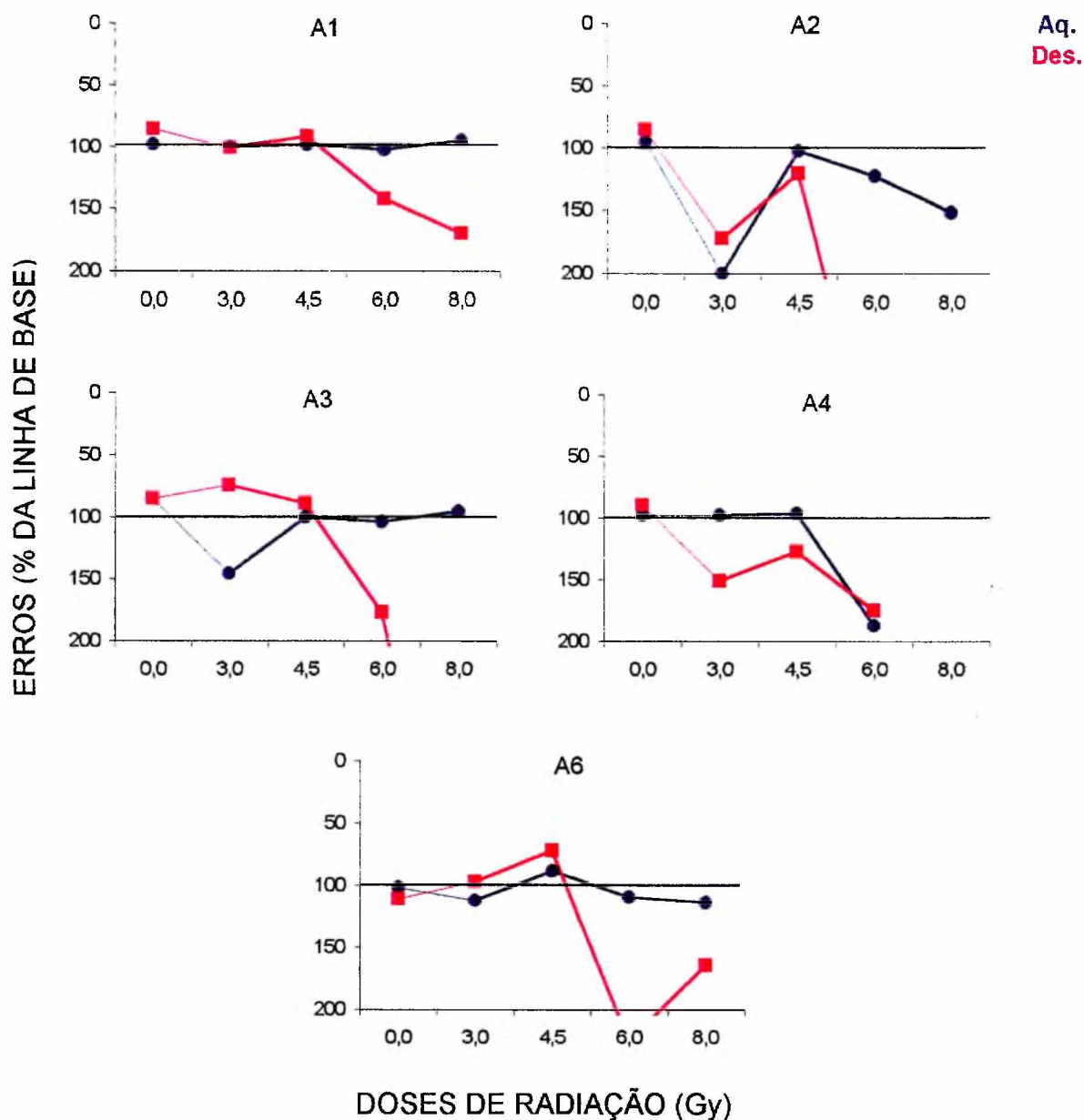


Figura 11. Erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

24 h pós-irradiação

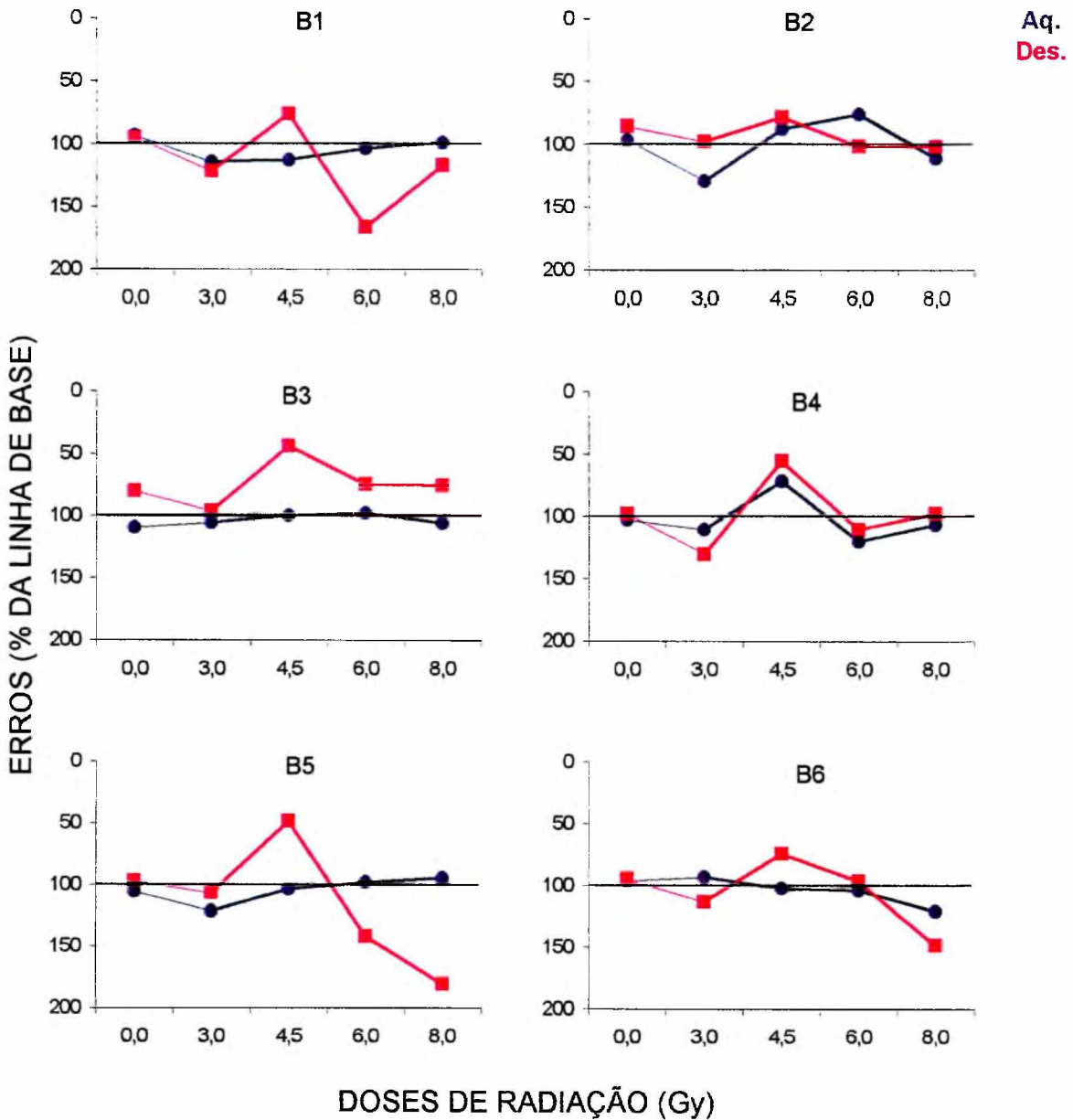


Figura 12. Erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

componente de desempenho, três dos sujeitos (B1, B5 e B6) apresentaram aumento na porcentagem de erros após as maiores doses.

A Figura 13 finaliza a apresentação da medida de porcentagem de erros com os dados dos sujeitos no Procedimento B, 48 horas após as exposições. No componente de aquisição, apenas um sujeito (B1) apresentou um aumento sistemático na porcentagem de erros após as doses de 6,0 e 8,0 Gy, tendo o Sujeito B6 apresentado esse aumento após a dose de 3,0 Gy. Os demais sujeitos mantiveram a porcentagem de erros próxima à linha de base. No componente de desempenho, três sujeitos (B1, B4 e B5) apresentaram um aumento na porcentagem de erros após as doses maiores de radiação (6,0 e 8,0 Gy) e o Sujeito B6 após 6,0 Gy. Dados para o Sujeito B2, não puderam ser obtidos para as doses de 6,0 e 8,0 Gy porque o sujeito não respondeu durante esse componente nas sessões realizadas 48 horas após essas exposições. No Procedimento B, pode-se também observar um efeito diferencial da radiação sobre os componentes do esquema múltiplo e também uma maior potencialização desses efeitos 48 horas após a radiação, em comparação com os efeitos observados após 24 horas. Uma comparação entre as doses apresentadas nas Figuras 10 e 11 (Procedimento A) e Figuras 12 e 13 (Procedimento B) indica que, em ambos os procedimentos, no componente de desempenho, os efeitos da radiação foram mais sistemáticos. Por outro lado, o componente de aquisição foi mais sensível para detectar efeitos da radiação quando apresentado no Procedimento A.

SEQÜÊNCIAS SEM ERROS.

As quatro figuras apresentadas a seguir mostram a medida de seqüências sem erros nos componentes de aquisição e desempenho obtidos 24 e 48 horas após as exposições às

48 h pós-irradiação

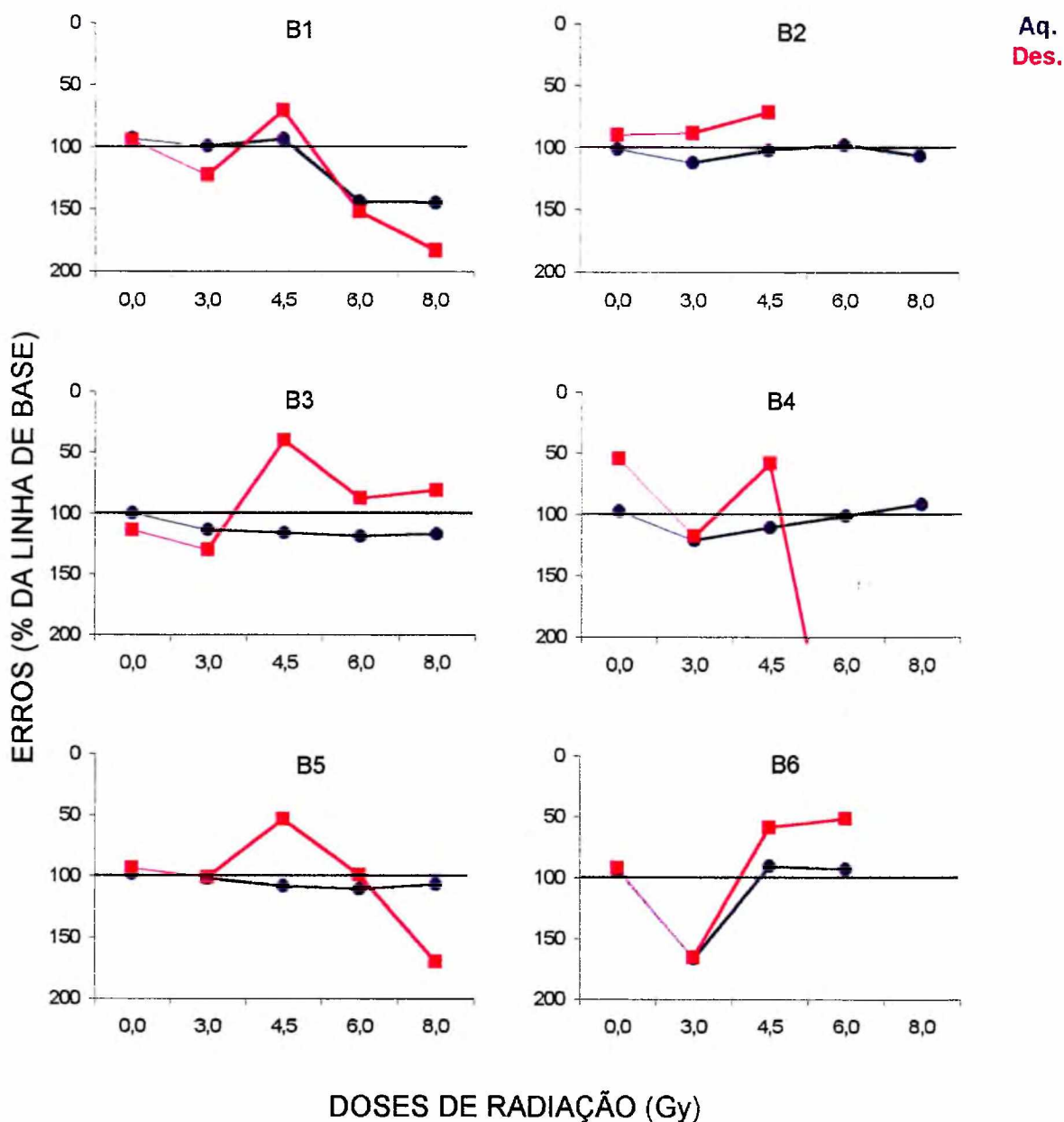


Figura 13. Erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

simulações (dose 0) e doses de radiação (3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy). As sessões analisadas, bem como as sessões de linha de base são as mesmas utilizadas para a análise de precisão.

A Figura 14 apresenta o número de seqüências sem erros 24 horas após as exposições, para os sujeitos no Procedimento A. Após a simulação (dose zero), o componente de desempenho mostra valores aproximadamente iguais à linha de base, enquanto, na aquisição, observa-se menor número de seqüências sem erros emitido por A1 e A3 e maior número de seqüências sem erros em A2. Em geral, o número de seqüências sem erros no componente de desempenho dce, é relativamente pouco alterado após as exposições e apresenta valores próximos à linha de base após todas as doses, exceto para o Sujeito A4 após 4,5 e 6,0 Gy com redução total do número de seqüências sem erros e para o Sujeito A6 após 8,0 Gy. Por outro lado, no componente de aquisição os dados mostram maior variação em relação à linha de base, para as diferentes doses. A diminuição mais acentuada do número de seqüências sem erros é observada após 3,0 Gy para o Sujeito A2 e após 4,5 Gy para os Sujeitos A1, A2, A3 e A6. A não apresentação dos dados para os Sujeitos A1, A3 e A4 deveu-se ao baixíssimo número de seqüências sem erros produzidas nas sessões de linha de base, o que tornou essa linha de base inadequada para avaliação dos efeitos da radiação sobre essa medida

O efeito das doses de radiação, em sessões 48 horas após as exposições, sobre a emissão de seqüências sem erros para os sujeitos no Procedimento A é apresentado na Figura 15. Os dados para 48 horas, no componente de desempenho, são semelhantes àqueles para 24 horas, com as doses de 3,0, 4,5 e 6,0 Gy. Com essas doses não se observam reduções no número de seqüências sem erros que apresenta, em geral, valores próximos à linha de base. Com exceção, mais uma vez, para o Sujeito A4. Os Sujeitos A2 e A3 apresentam também uma redução do número de seqüências sem erros após as doses de 8,0 Gy. No componente de aquisição, os dados após 48 horas também são semelhantes

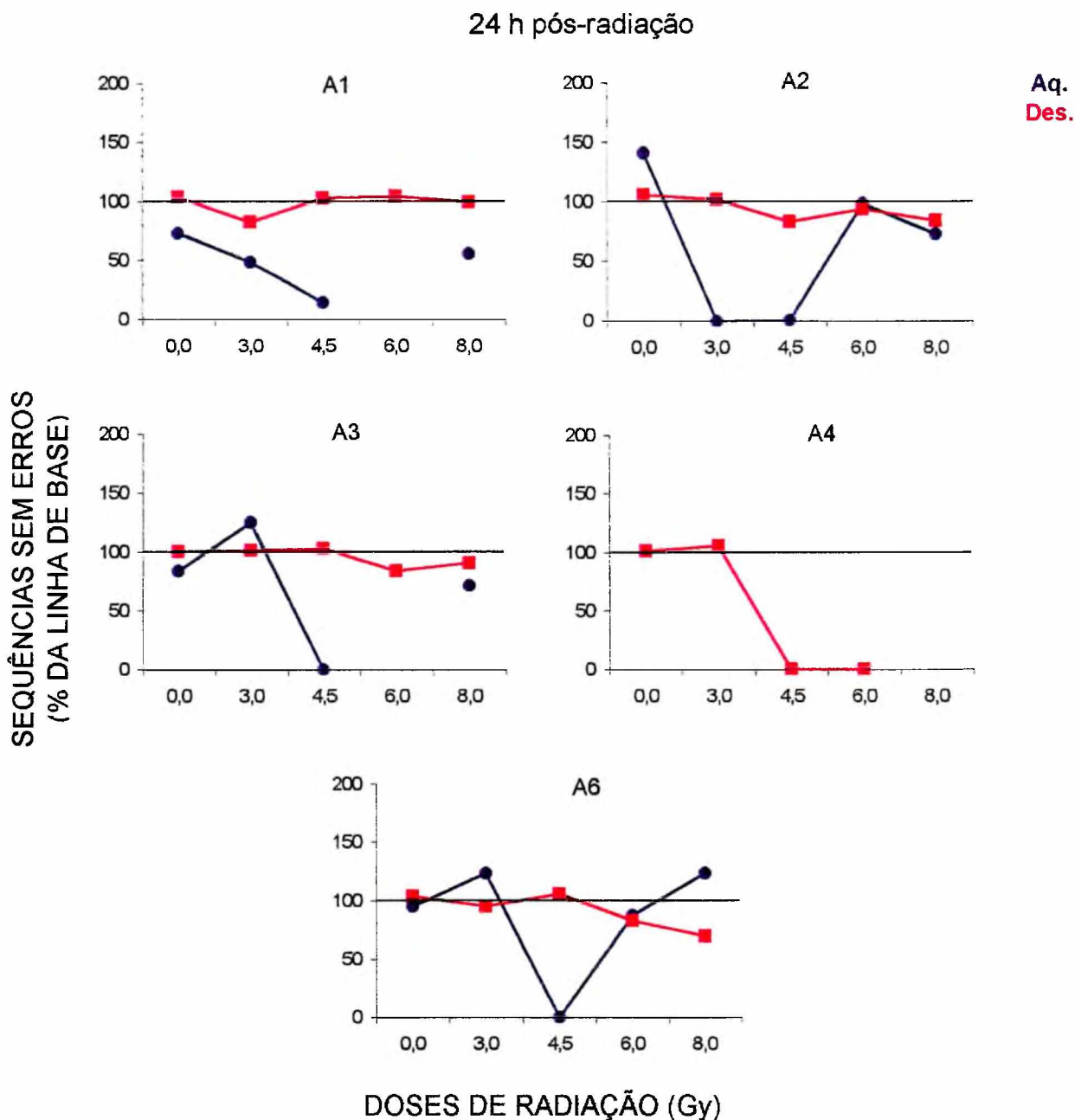
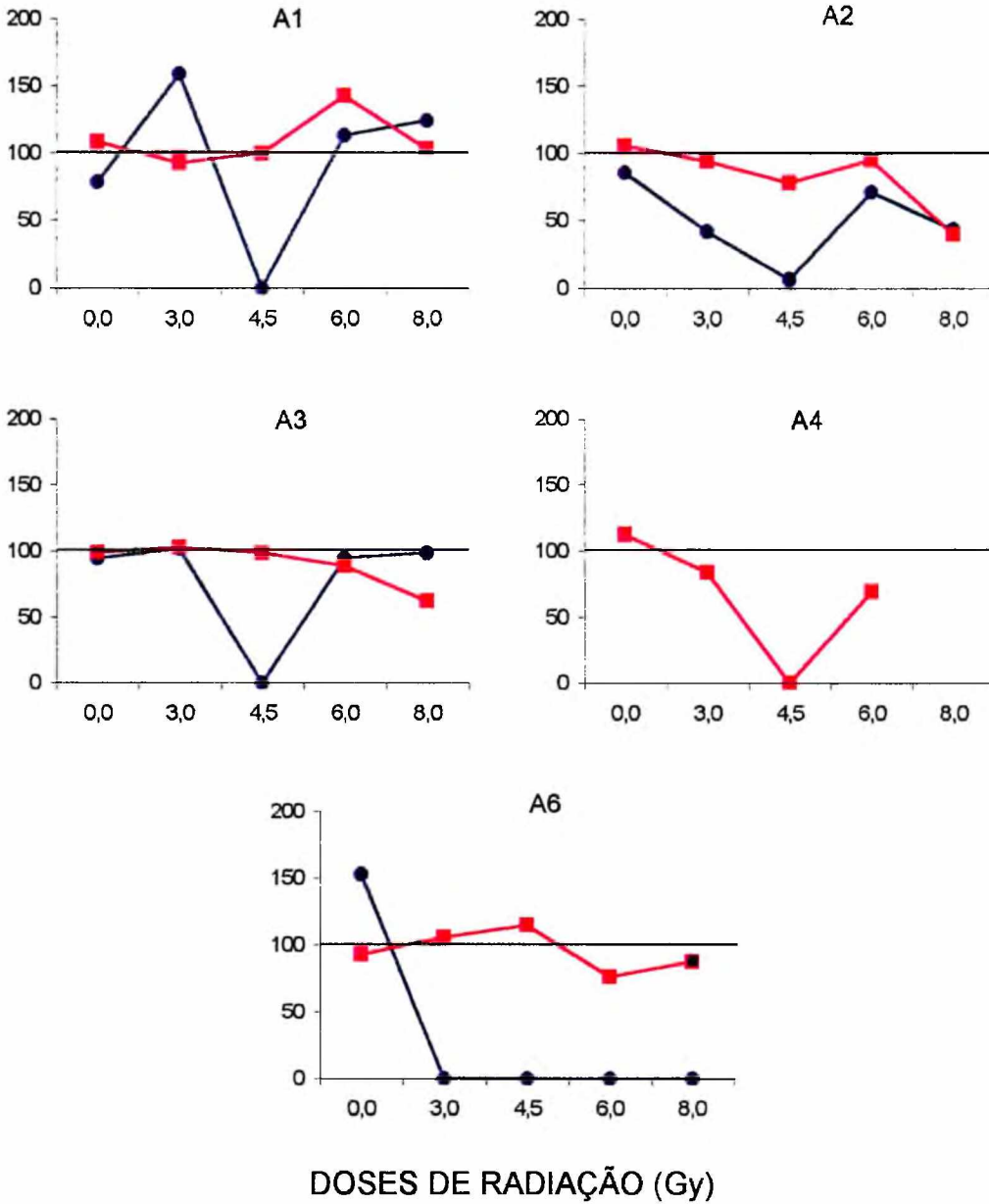


Figura 14. Sequências sem erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

SEQUÊNCIAS SEM ERROS
(% DA LINHA DE BASE)

48 h pós-irradiação



Aq.
Des.

Figura 15. Sequências sem erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

aos obtidos após 24 horas, com uma redução no número de seqüências sem erros para todos os sujeitos (com a dose de 4,5 Gy para os Sujeitos A1 e A3 e com todas as doses para os Sujeitos A2 e A6). Os dados para o Sujeito A4 não foram computados novamente devido à falta de uma linha de base confiável para essa medida.

A Figura 16 apresenta o número de seqüências sem erros para os sujeitos no Procedimento B nas sessões 24 horas após as exposições. O número de seqüências sem erros no componente de desempenho é aproximadamente igual à linha de base após todas as doses, para todos os sujeitos. Os dados para os Sujeitos B3 e B4 com a dose 4,5 Gy foram omitidos pela falta de uma linha de base confiável. O componente de aquisição mostra maior variação em relação à linha de base, resultado esse semelhante àquele observado para os sujeitos no Procedimento A. Os dados para o Sujeito B4 no componente de aquisição foram também omitidos por falta de linha de base confiável.

Concluindo a apresentação da medida de seqüências sem erros após todas as exposições, a Figura 17 mostra os dados dos sujeitos no Procedimento B48 horas após as exposições. Para todos os sujeitos, no componente de desempenho, a simulação bem como as doses de 3,0 e 4,5 Gy não produziram diminuição no número de seqüências sem erros, sendo que reduções foram observadas para os Sujeitos B1, B2 e B4, após doses de 6,0 e 8,0 Gy. Pelas mesmas razões expostas anteriormente, os dados para os Sujeitos B3 e B4 com a dose de 4,5 Gy foram omitidos. No componente de aquisição, mais uma vez pode-se observar uma maior variação entre sujeitos e entre doses no número de seqüências sem erros em relação à linha de base. Uma análise dos dados obtidos com a medida de seqüência sem erros mostra um efeito seletivo da radiação sobre os dois tipos de componentes utilizados no esquema múltiplo. Não ocorrem, entretanto, diferenças sistemáticas entre os dois tipos de procedimentos envolvendo diferentes contingências de aquisição repetida e desempenho.

24 h pós-irradiação

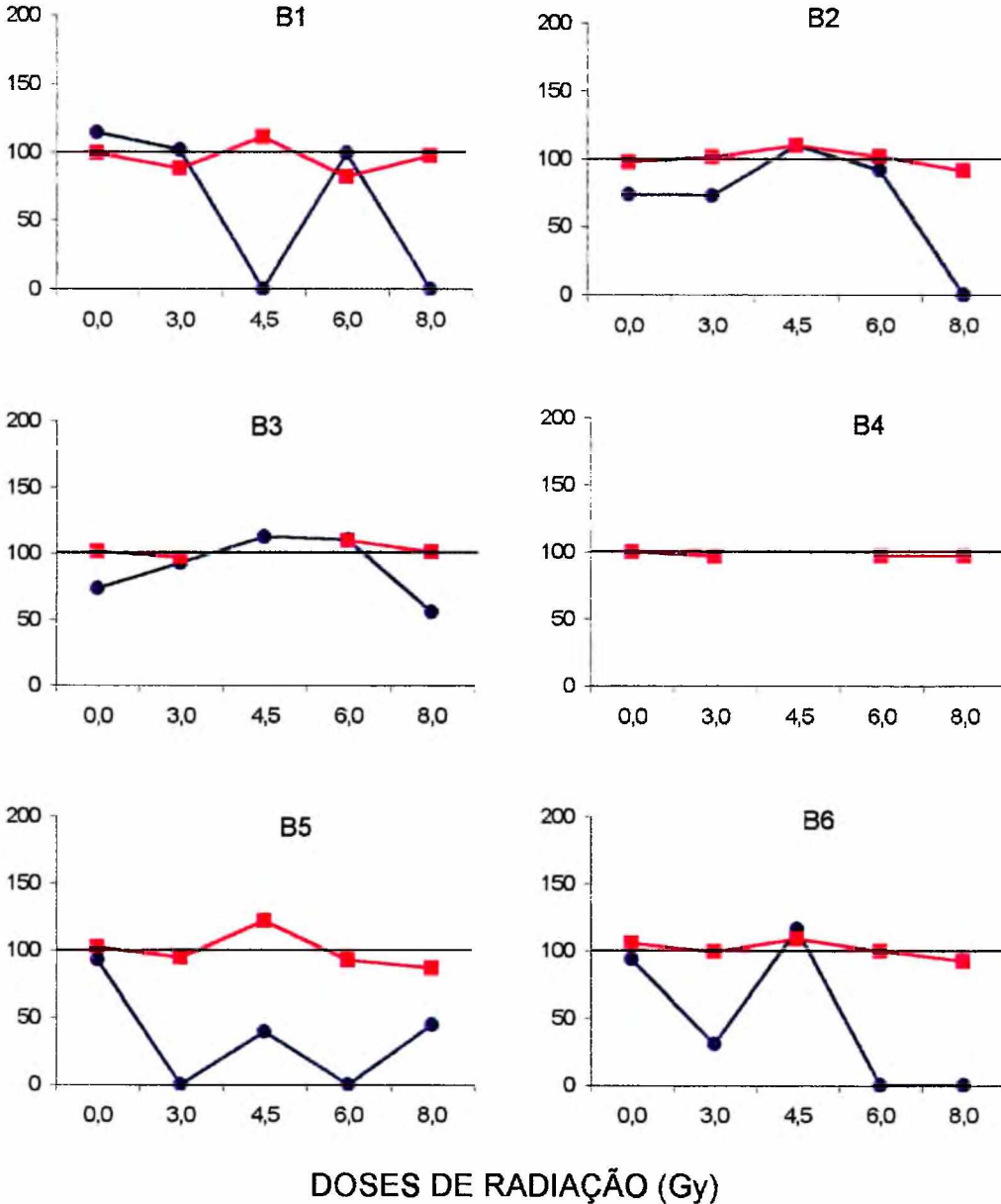
Aq.
Des.SEQUÊNCIAS SEM ERROS
(% DA LINHA DE BASE)

Figura 16. Sequências sem erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

SEQUÊNCIAS SEM ERROS
(% DA LINHA DE BASE)

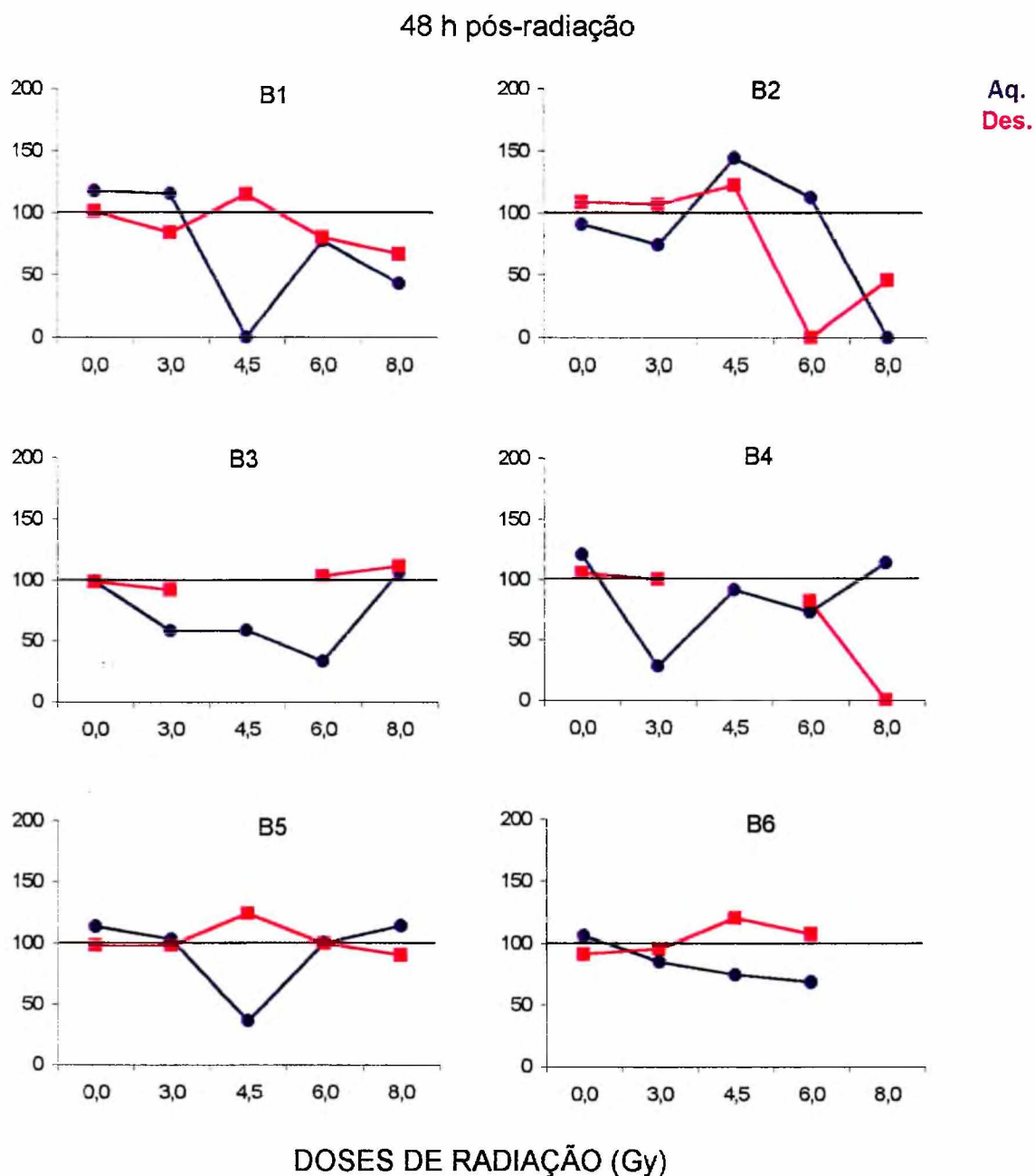


Figura 17. Sequências sem erros em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

DISTRIBUIÇÃO DE ERROS.

Os dados sobre a distribuição de erros dentro das seqüências apresenta a ocorrência de diferentes configurações de erros entre os sujeitos nos Procedimentos A e B. A Figura 18 mostra a proporção de erros nas três barras, esquerda, central e direita (erros em cada barra esquerda/total de erros) nas 15 primeiras sessões do esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho. Os dados da Figura 18 são para os Sujeitos A2 e B4, característicos dos sujeitos nos dois tipos de procedimento de aquisição e desempenho. O tipo de erro mais freqüente nas primeiras sessões foi responder na barra da seqüência com reforço programado, quando as duas respostas anteriores não tinham sido ainda emitidas. Com exceção da primeira sessão para o Sujeito A2, em todas as sessões o maior número de erros ocorreu na barra associada ao reforço. O mesmo ocorre no componente de desempenho, para ambos os sujeitos; maior número de erros é observado na barra esquerda na seqüência dce. Esses resultados observados nas primeiras sessões foram sistemáticos entre todos os sujeitos, em ambos os procedimentos.

As proporções de erros para o Sujeito A2, nas 15 sessões anteriores e nas sessões realizadas 24 e 48 horas após as doses de radiação, são apresentadas na Figura 19. Para as sessões pré-radiação, os histogramas representam o total proporcional de erros em três ou quatro sessões (dependendo do número de vezes que a seqüência apareceu no bloco de 15 sessões) para as seqüências do componente de aquisição e, em 15 sessões, para a seqüência do componente de desempenho. Observando-se a distribuição de erros no componente de aquisição nas sessões pré-radiação nota-se que o mesmo tipo de proporcionalidade continua a ocorrer em relação às 15 primeiras sessões (Figura 18); isto é, o maior número de erros ocorre na barra associada ao reforço. Por outro lado, esse tipo de distribuição de erros, que também foi observado no componente de desempenho nas 15 primeiras sessões,

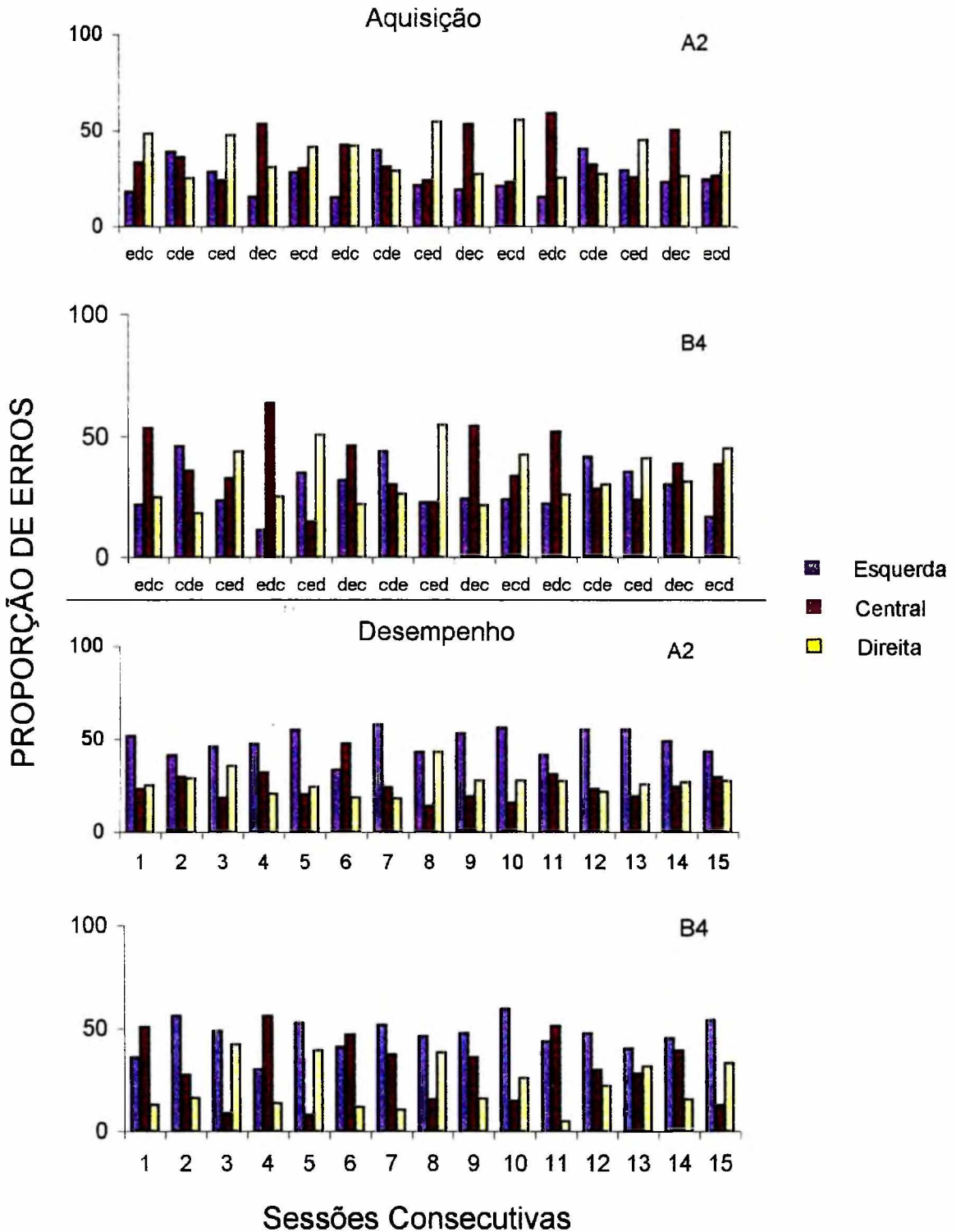


Figura 18. Proporção de erros nas três barras (esquerda, central e direita), em cada sequência nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce), para os sujeitos A2 e B4, nas 15 primeiras sessões.

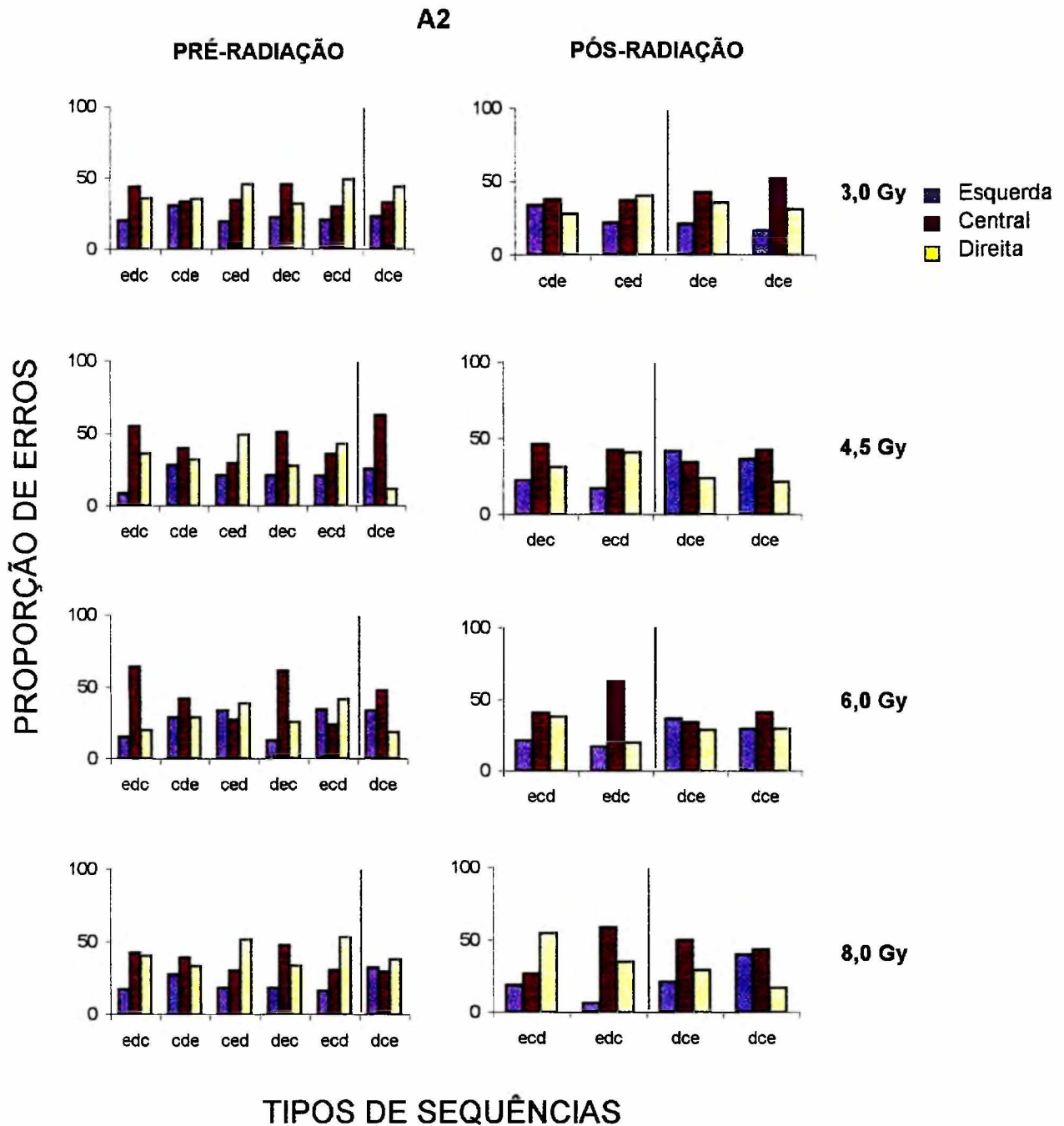


Figura 19. Proporção de erros nas três barras (esquerda, central e direita) em cada sequência nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce), pré-radiação e pós-radiação para cada dose. Os dados são do sujeito A2 e representam 15 sessões pré-radiação e as sessões 24 e 48 horas pós-radiação.

não se mantém. Nesse componente, a distribuição de erros independe da barra associada ao reforço. Uma comparação entre as sessões 24 e 48 horas pós-irradiação com suas respectivas linhas de base (sessões com a mesma seqüência) mostra que as diferentes doses de irradiação não produziram efeitos sistemáticos sobre a distribuição de erros, que mantém as mesmas características pré-irradiação. No componente desempenho, entretanto, todas as distribuições de erros na sessão 24 horas apresentam características diferentes da linha de base, o mesmo podendo ser observado em duas sessões 48 horas pós-irradiação (3,0 e 8,0 Gy).

A Figura 20 mostra a distribuição de erros nas sessões anteriores e posteriores a cada dose de irradiação para o Sujeito B4. Os dados foram organizados da mesma forma descrita na Figura 19. Os dados observados nas sessões pré-irradiação são semelhantes àqueles para o Sujeito A2, com os dois tipos de procedimentos produzindo o mesmo tipo de padrão de distribuição de erros. Uma comparação das sessões pós-irradiação com suas respectivas linhas de base, no componente aquisição, mostra que, nesse procedimento (B), as doses de 3,0 e 6,0 Gy produziram um maior efeito do que no Procedimento A. No componente de desempenho, os efeitos das doses são similares nos dois tipos de procedimento. Entretanto, tomados em conjunto, os dados apresentados nas Figuras 19 e 20 indicam também para essa medida uma maior sensibilidade do componente de desempenho às diferentes doses de irradiação utilizadas.

TAXA DE RESPOSTAS.

As quatro figuras que serão apresentadas a seguir mostram a medida de taxa de respostas nos componentes de aquisição e de desempenho 24 e 48 horas após as exposições às simulações (dose 0) e às doses de irradiação (3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy). A forma de

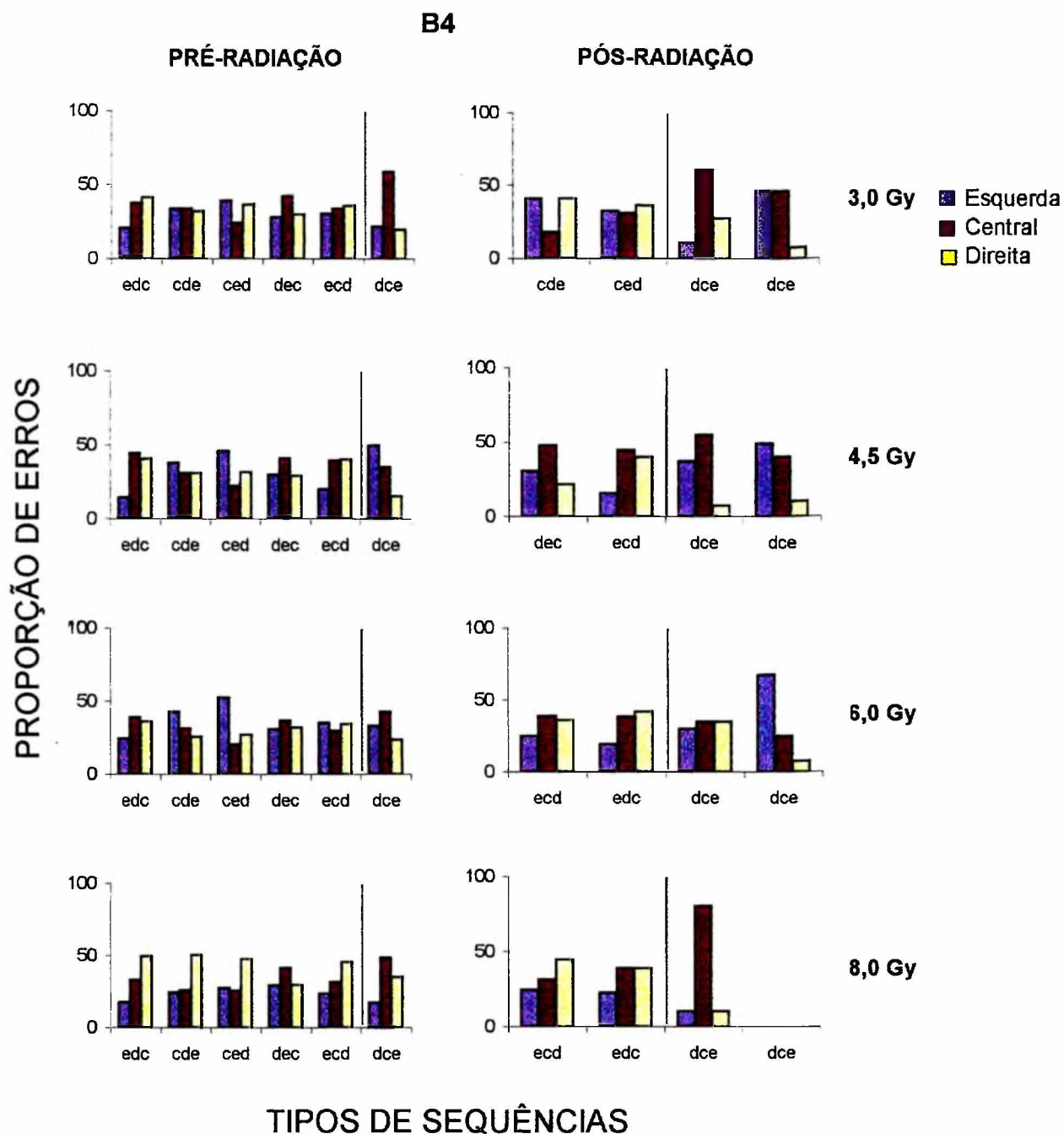


Figura 20. Proporção de erros nas três barras (esquerda, central e direita) em cada sequência nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce), pré-radiação e pós-radiação, para cada dose. Os dados são do sujeito B4 e representam 15 sessões pré-radiação e as sessões 24 e 48 horas pós-radiação.

apresentação desses dados é a mesma daquela descrita anteriormente para as medidas de precisão (porcentagem de erros) e seqüências sem erros.

A Figura 21 apresenta a taxa de respostas dos sujeitos no Procedimento A 24 horas após as exposições, nos componentes de aquisição e desempenho. A taxa de respostas em ambos os componentes após a dose zero é comparável à linha de base para todos os sujeitos. A partir da menor dose de 3,0 Gy observa-se diminuição na taxa de respostas para todos os sujeitos em ambos os componentes. Em geral, essa diminuição foi mais acentuada com aumentos da dose no componente de desempenho; curvas típicas de dose resposta podem ser observadas. No componente de aquisição, embora apresente ele uma menor sistematicidade entre as doses, curvas de dose resposta podem também ser observadas para quatro dos sujeitos (A1, A2, A3 e A4).

A taxa de respostas dos sujeitos no Procedimento A 48 horas após as exposições nos componentes de aquisição e desempenho são apresentadas na Figura 22. As taxas em ambos os componentes após a radiação zero concentram-se ao redor da linha de base e, a partir de 3,0 Gy, diminui de forma mais acentuada para todos os sujeitos no componente de desempenho. Mais uma vez, curvas típicas de dose resposta podem ser observadas para todos os sujeitos nesse componente. No componente de aquisição, da mesma forma que para os dados obtidos nas sessões de 24 horas, a relação entre taxa de respostas e dose é menos sistemática nesse componente do que no componente de desempenho.

A Figura 23 apresenta a taxa de respostas para os sujeitos no Procedimento B, 24 horas após as exposições. A dose zero mostra taxas próximas à linha de base em ambos os componentes. No componente de desempenho, apesar das doses de radiação terem produzido uma redução nas taxas de respostas, essa relação não apresenta curvas típicas de dose resposta, com exceção do Sujeito B6. No componente de aquisição os efeitos das

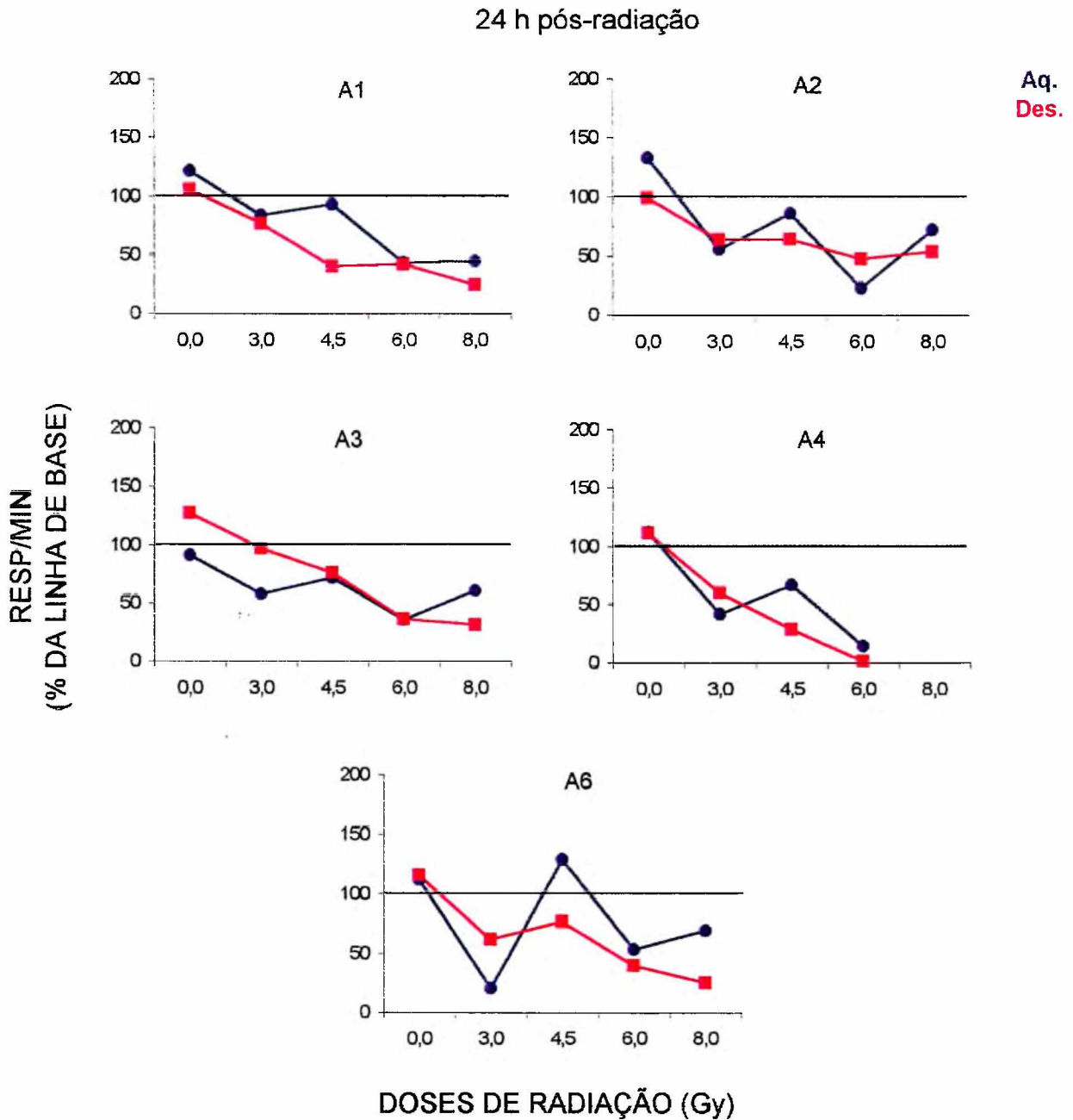


Figura 21. Taxa de respostas em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

48 h pós-irradiação

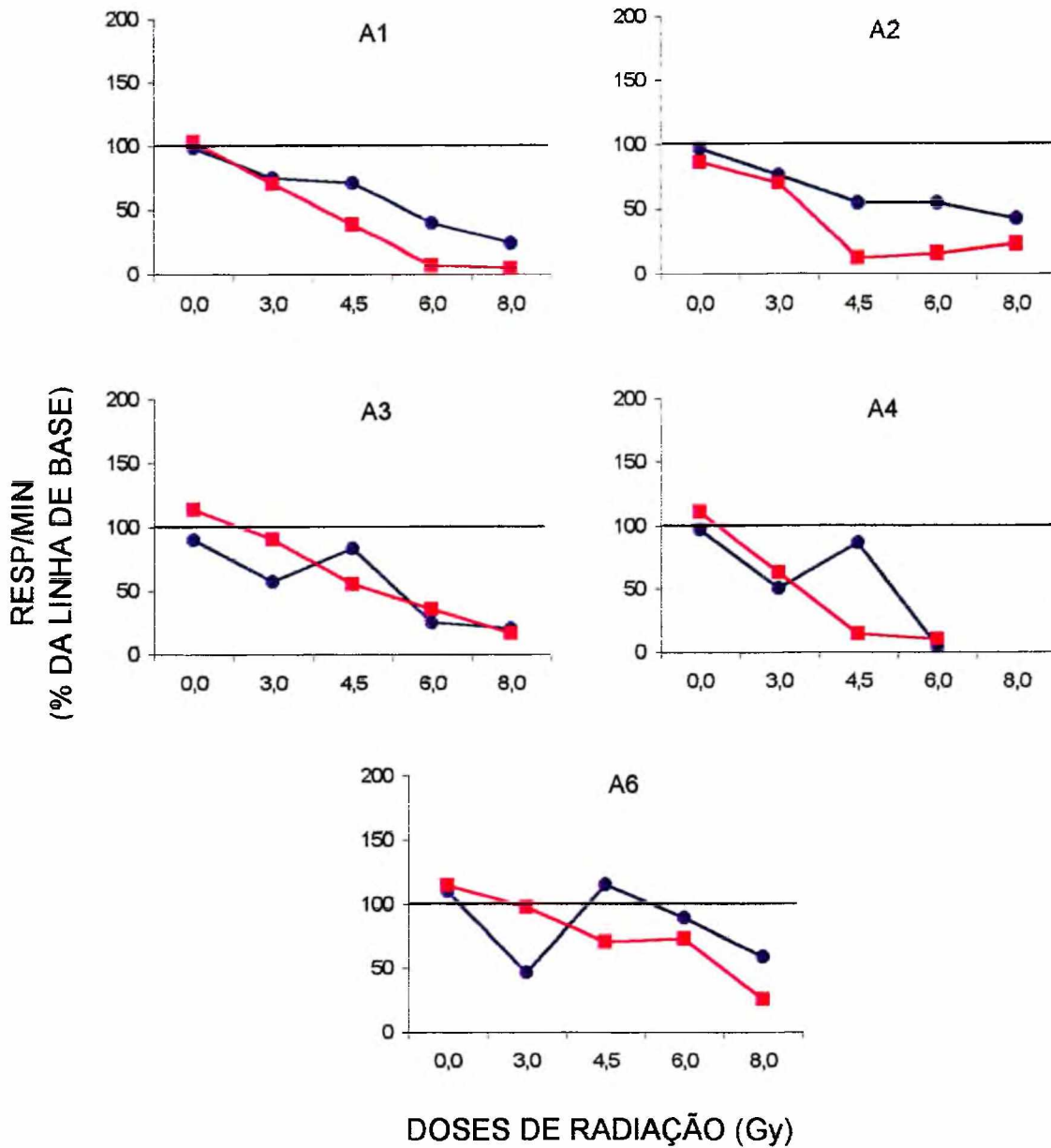
Aq.
Des.

Figura 22. Taxa de respostas em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

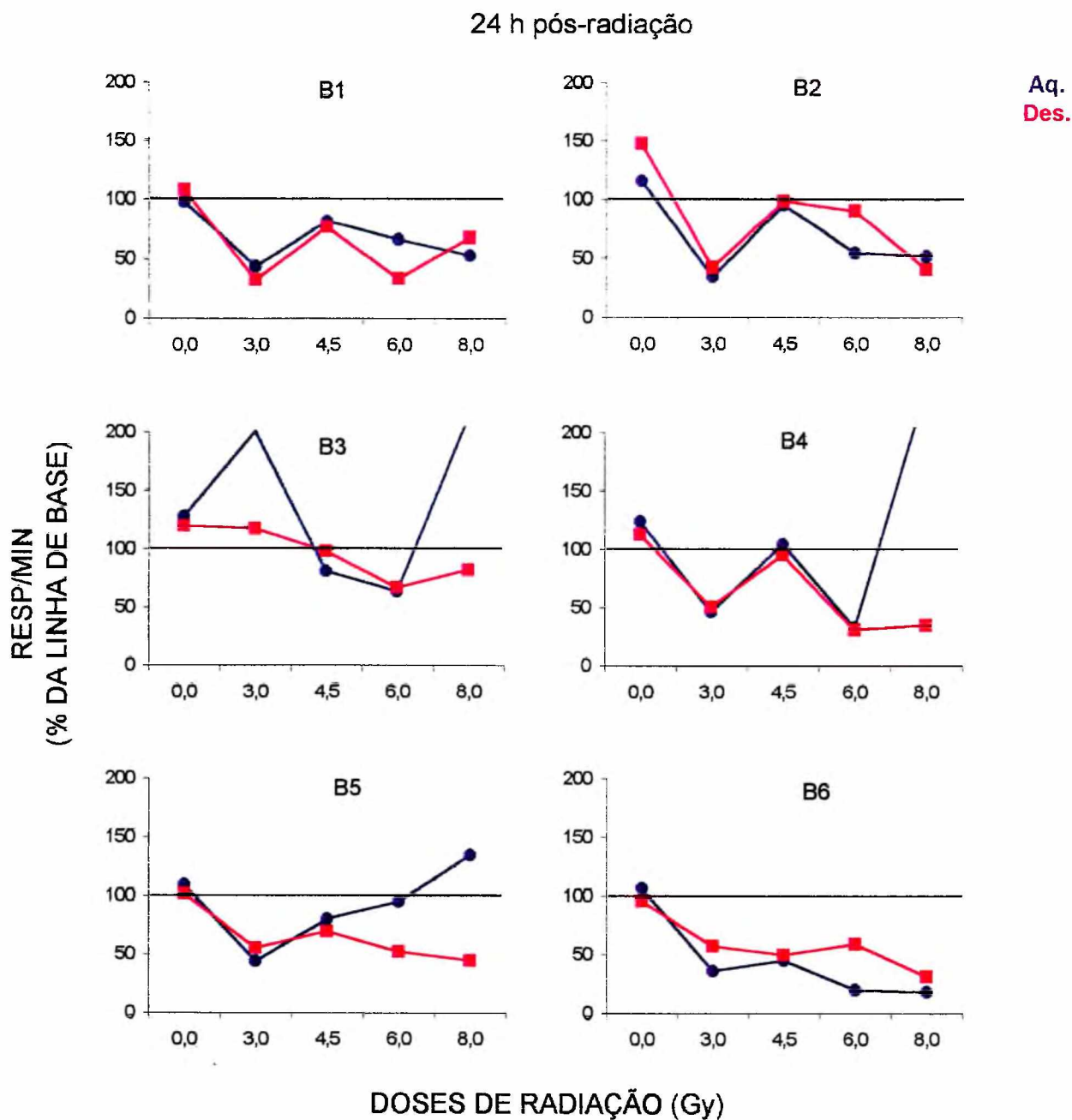


Figura 23. Taxa de respostas em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

diferentes doses de radiação são ainda mais assistemáticos, com a taxa de respostas apresentando uma grande variação em relação à linha de base.

Concluindo a apresentação da medida de taxa de respostas após todas as doses, a Figura 24 mostra os dados dos sujeitos no Procedimento B na sessão 48 horas após as exposições. A dose zero mostra taxas aproximadamente iguais à linha de base nos dois componentes. No componente de desempenho, a relação entre taxa de respostas e dose aparece de forma mais ordenada do que para 24 horas, com as curvas se assemelhando mais às curvas típicas de dose resposta. O mesmo acontece para o componente de aquisição, embora com menor sistematicidade. A maior ordenação, bem como maior redução na taxa de respostas observadas na Figura 24, evidenciam a potencialização dos efeitos da radiação após 48 horas da exposição, em relação aos efeitos observados em 24 horas. Analisados em conjunto, os dados apresentados nas Figuras 21, 22, 23 e 24 mostram um efeito diferencial das doses de radiação sobre as taxas de respostas nos dois tipos de procedimento utilizados, com os sujeitos no Procedimento A apresentando dados mais ordenados.

Ao considerar os efeitos de diferentes doses de radiação, uma das grandes vantagens observadas nas pesquisas com radiação ionizante que utilizam o paradigma operante é a característica de recuperação comportamental registrada após a exposição a doses não-letais. A recuperação permite o teste de uma dose alta, como no presente estudo de 21,5 Gy, programada de forma fracionada com intervalos que possibilitam a recuperação do organismo. A seguir serão apresentados os dados da recuperação comportamental por meio da taxa de respostas para dois sujeitos representativos dos sujeitos nos Procedimentos A e B. Os dados apresentados são para as 15 sessões imediatamente após a exposição a cada uma das doses de radiação utilizadas.

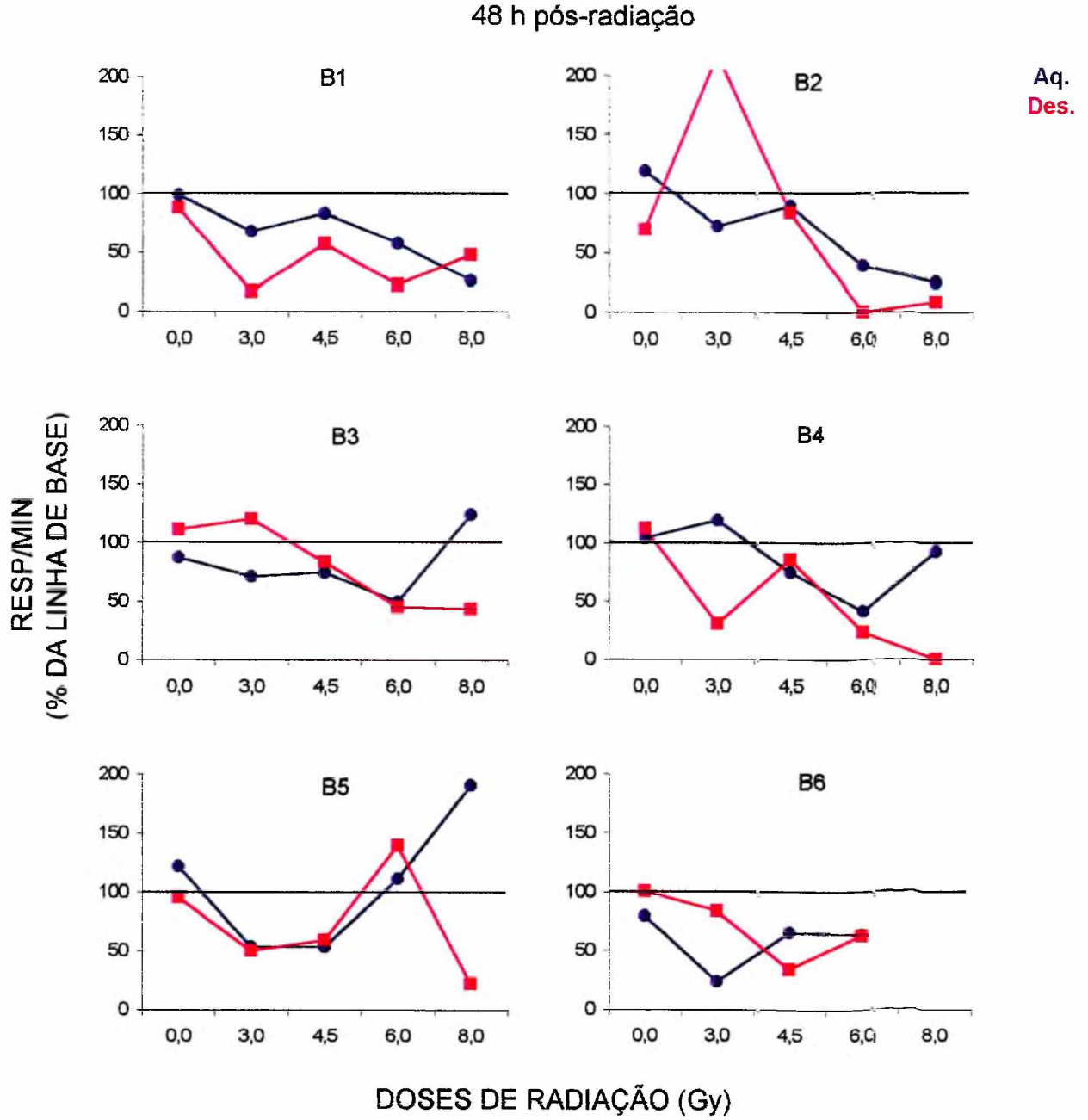


Figura 24. Taxa de respostas em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

A Figura 25 mostra os dados do Sujeito A2. As sessões são apresentadas consecutivamente e identificadas pela seqüência utilizada no componente de aquisição em cada sessão. As três primeiras sessões representam, portanto, dados obtidos 2, 24 e 48 horas após a radiação. Uma das características dos efeitos da radiação sobre a taxa de respostas pode ser observada na Figura 25, isto é, uma queda crescente nas taxas, após todas as doses, nas primeiras sessões, e uma posterior recuperação da taxa com valores que se aproximam da linha de base. Embora o efeito da radiação possa ser observado em ambos os componentes do esquema múltiplo, a relação é mais ordenada no componente de desempenho. Para a dose de 8,0 Gy (dose acumulada de 21,5 Gy), a taxa de respostas mostra uma diminuição crescente em ambos os componentes nas sessões que antecederam à morte do sujeito. O número de sessões para os sujeitos no Procedimento A após a maior dose variou de três a seis sessões.

A Figura 26 apresenta a taxa de respostas nas 15 sessões posteriores às doses de radiação para o Sujeito B1. A forma de organização dos dados é a mesma da Figura 25. O tipo de função observada com o Procedimento B é o mesmo daquele observado com o Procedimento A. Entretanto, observa-se uma maior variação nas taxas de respostas ao longo das sessões. Para a dose de 8,0 Gy (dose acumulada de 21,5 Gy), o número de sessões nesse procedimento após a exposição variou de três a oito sessões.

REFORÇOS OBTIDOS.

As quatro figuras apresentadas a seguir mostram a medida de reforços obtidos nos componentes de aquisição e desempenho, 24 e 48 horas após as exposições às simulações (dose 0) e às doses de radiação. A forma de organização dos dados nessas figuras é a mesma utilizada para os dados de precisão, seqüência sem erros e taxa de respostas.

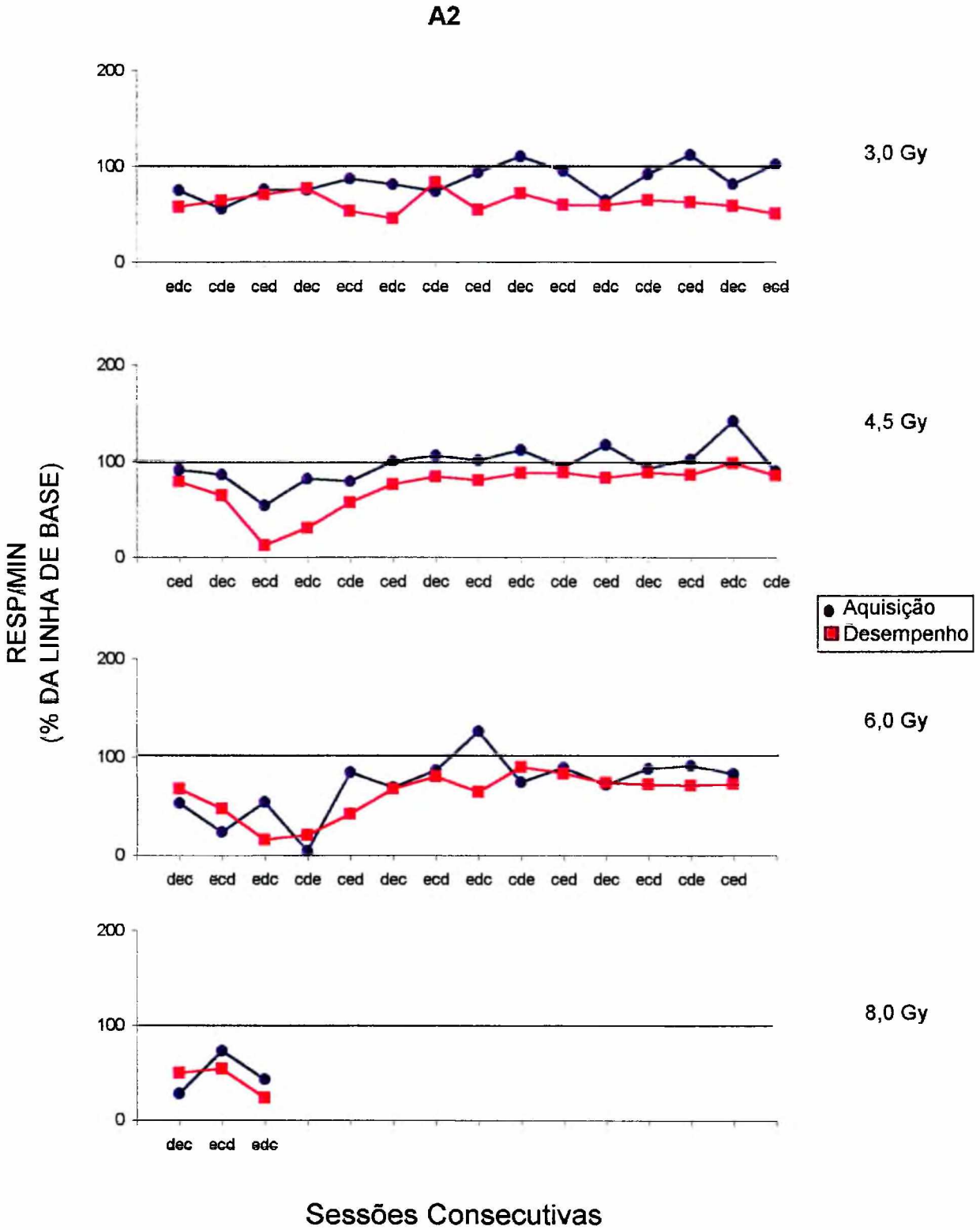


Figura 25. Taxa de respostas nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce) para o sujeito A2, nas 15 sessões pós-irradiação com cada uma das doses de 3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy. A linha de base representa a média das sessões de cada sequência dentro das 15 sessões anteriores à irradiação.

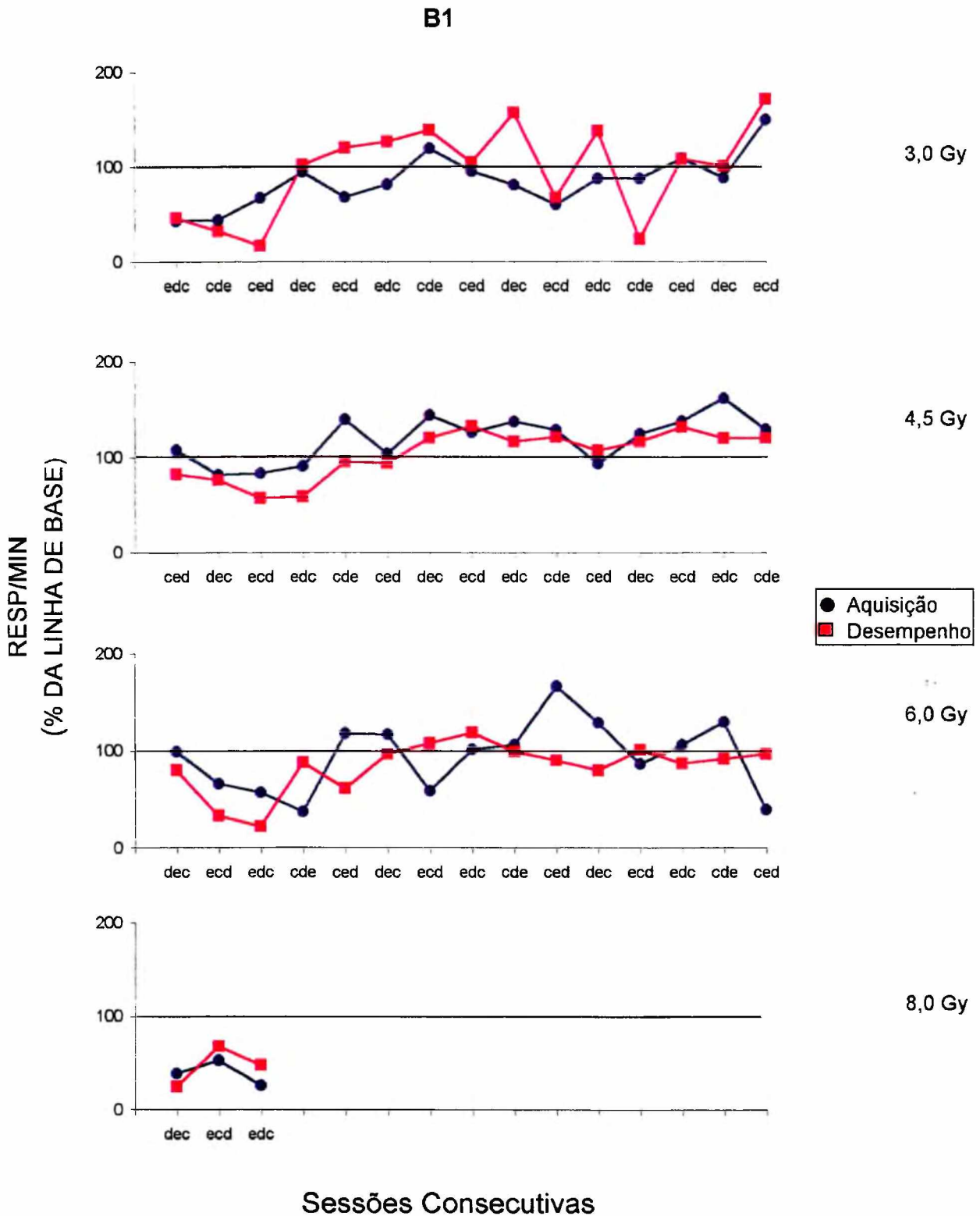


Figura 26. Taxa de respostas nos componentes de aquisição (edc, cde, ced, dec e ecd) e desempenho (dce) para o sujeito B1, nas 15 sessões pós-irradiação com cada uma das doses de 3,0, 4,5, 6,0 e 8,0 Gy. A linha de base representa a média das sessões de cada sequência dentro das 15 sessões anteriores à irradiação.

A Figura 27 mostra o número de reforços obtidos 24 h após as exposições de 0 a 8,0 Gy para os sujeitos no Procedimento A. Os dados mostram diminuição crescente do número de reforços obtidos com aumentos da dose. No componente desempenho todos os sujeitos apresentaram, em geral, curvas típicas de dose resposta. No componente de aquisição, apesar de a relação não ser tão ordenada, pode ser observada em três sujeitos. Comparando-se os reforços obtidos nos dois componentes pode-se observar uma maior redução no componente de desempenho.

O número de reforços obtidos em sessões 48 horas após as exposições para os sujeitos no Procedimento A é mostrado na Figura 28. A redução dos dados observada 48 horas após a radiação é a mesma daquela observada após 24 horas. O efeito da dose, entretanto, é potencializado após 48 horas, quando se observa uma maior redução dos reforços obtidos na comparação com a sessão realizada 24 horas após a radiação.

Os reforços obtidos para os sujeitos no Procedimento B, 24 e 48 horas após as exposições, são apresentados nas Figuras 29 e 30, respectivamente. Para os sujeitos nesse Procedimento A relação de dose resposta pode ser melhor observada no componente de desempenho com 48 horas após a exposição. Embora efeitos de doses possam ser observados no componente de aquisição, esses efeitos são menos sistemáticos, e apresentam uma maior variação quer entre sujeitos, quer entre doses. A potencialização do efeito após 48 horas pode também ser observada pela maior redução do número de reforços obtidos nessa sessão e uma maior ordenação dos dados em comparação com a sessão de 24 horas.

A comparação dos dados sobre reforços obtidos com os dados de taxa de respostas mostra uma relação direta das duas medidas. Em geral, as curvas mostram redução crescente em ambas as medidas com aumentos nas doses de radiação.

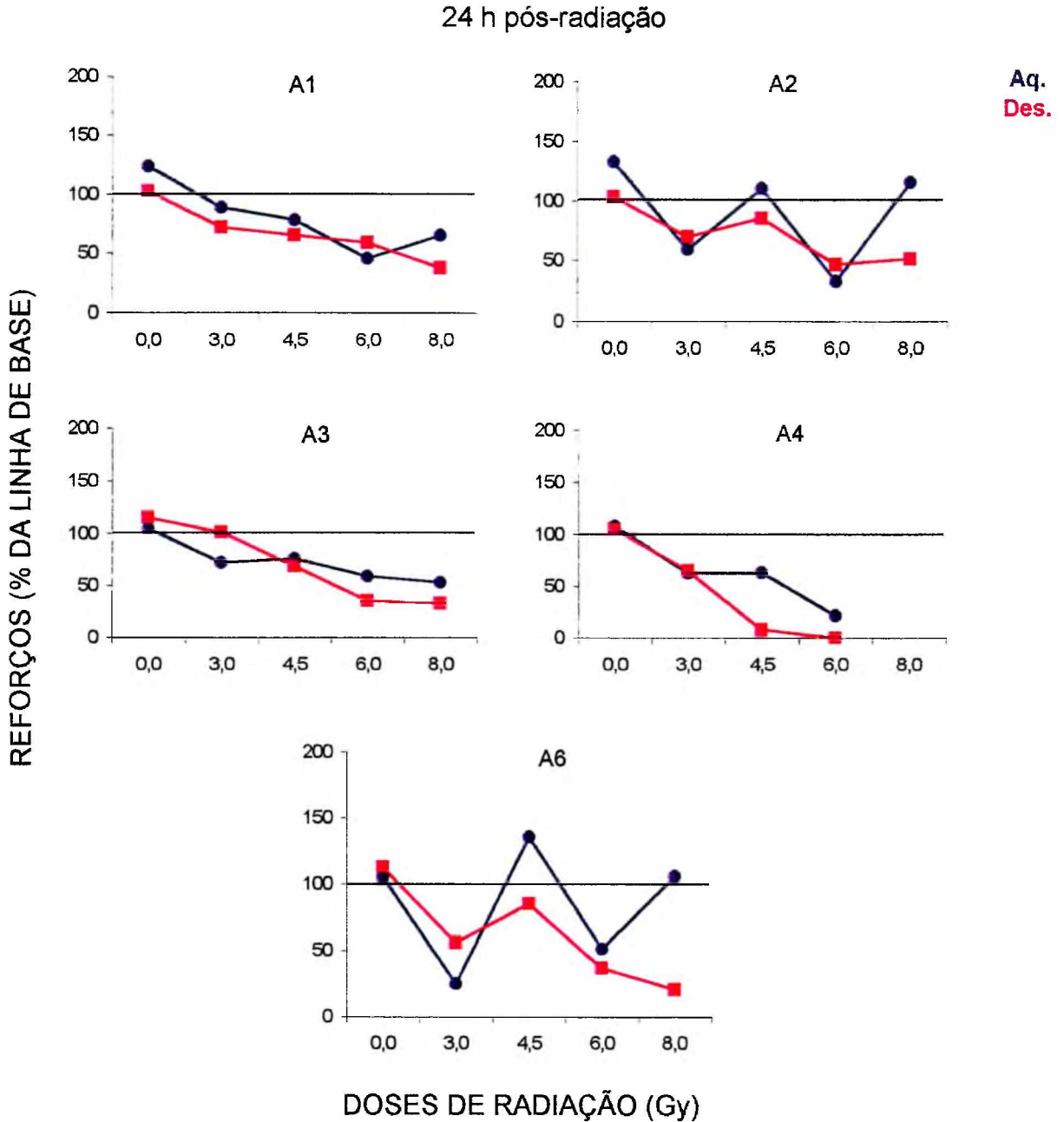


Figura 27. Reforços obtidos em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

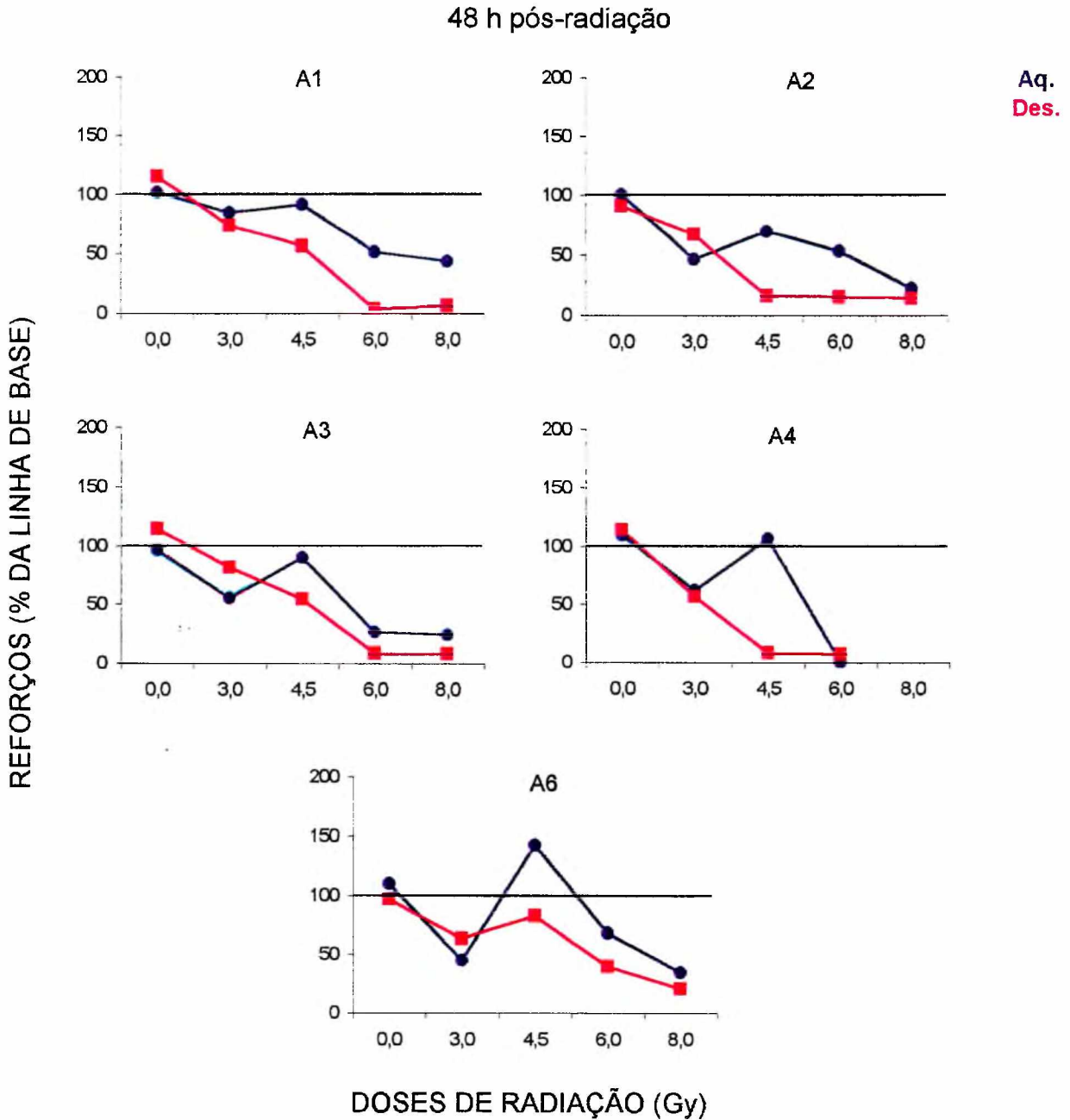


Figura 28. Reforços obtidos em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento A, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

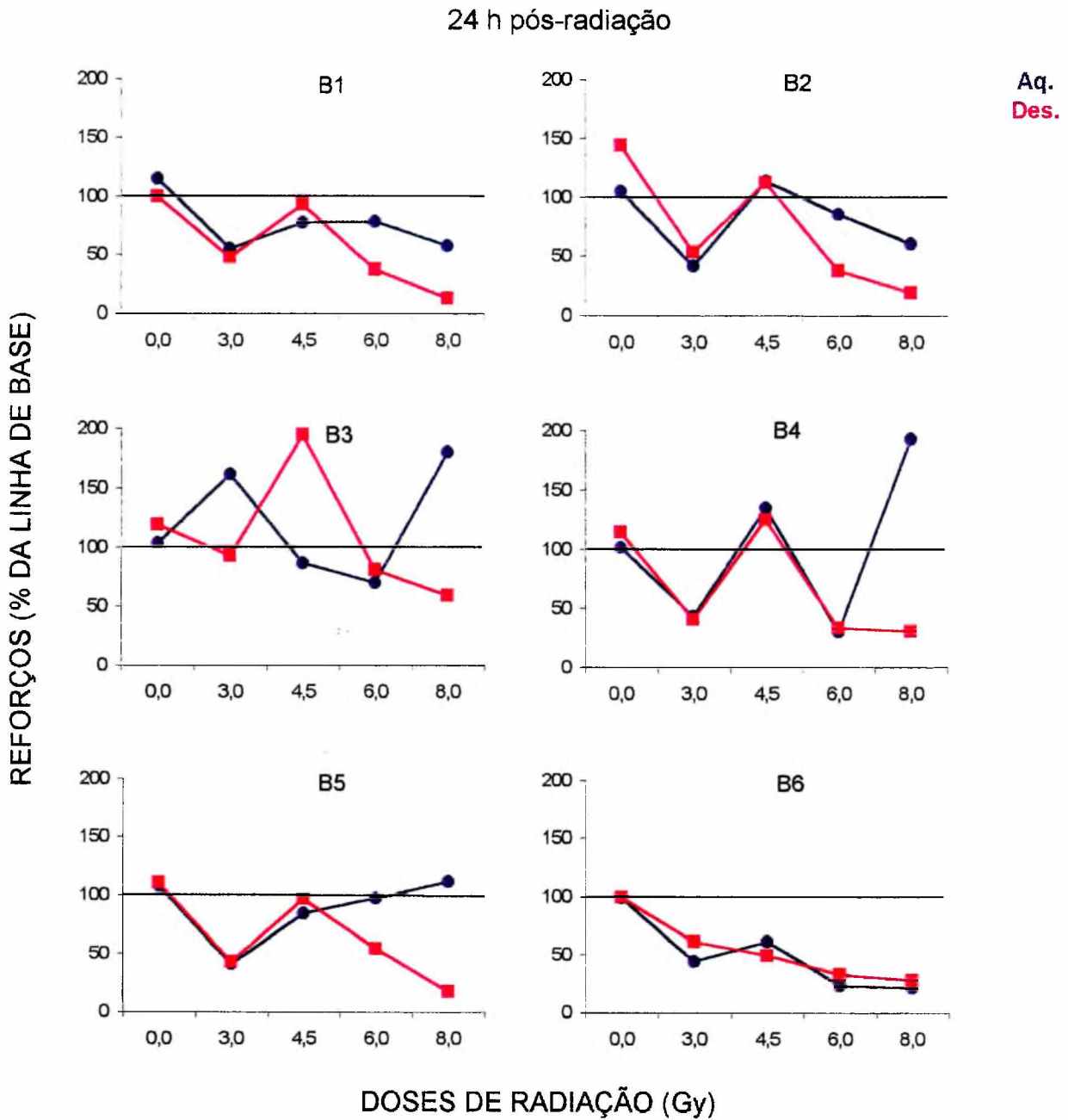


Figura 29. Reforços obtidos em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 24 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

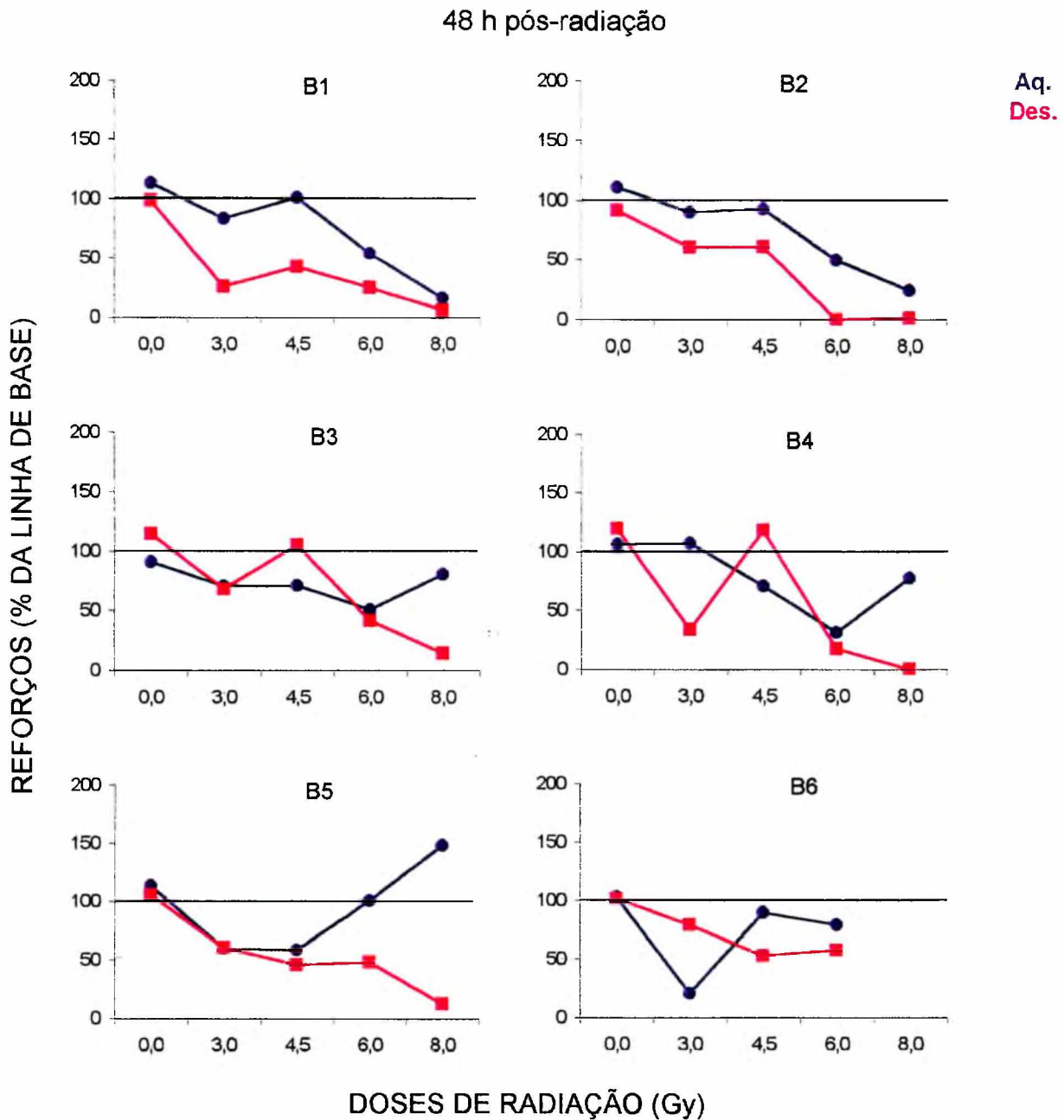


Figura 30. Reforços obtidos em função da dose de radiação, nos componentes de aquisição e desempenho, para os sujeitos no procedimento B, 48 horas após a irradiação. A linha de base (100%) para cada dose representa a média de três sessões com a mesma sequência daquela na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Os dados da dose zero representam a média de todas as sessões de simulação.

REGISTROS CUMULATIVOS

As Figuras 31 a 36 mostram alguns dos efeitos intra-sessão das doses de radiação 3,0 6,0 e 8,0 Gy para os Sujeitos A1 e B6, representativos dos sujeitos nos Procedimentos A e B. Por problemas técnicos não foi possível obter registros cumulativos para as sessões pré-irradiação e pós-irradiação com 4,5 Gy. Cada figura é formada por um painel de quatro registros cumulativos de duas sessões anteriores a cada exposição e das sessões realizadas 24 e 48 horas após as exposições. As duas sessões pré-irradiação foram selecionadas entre as últimas do bloco de 15 sessões que antecedeu cada exposição, e as seqüências de respostas utilizadas no componente de aquisição foram as mesmas programadas nas sessões 24 e 48 horas pós-irradiação, para cada dose. Os dois registros superiores em cada painel representam sessões pré-irradiação e os dois inferiores representam as sessões 24 e 48 horas pós-irradiação. Para cada registro cumulativo, os 30 primeiros minutos representam as respostas e reforços no componente de aquisição, e os 30 últimos minutos representam as respostas e reforços no componente de desempenho. As seqüências programadas para as sessões pré-irradiação e pós-irradiação em cada dose foram as seguintes: cde e ced (3,0 Gy) e ecd e edc (6,0 e 8,0 Gy).

A Figura 31 apresenta os registros cumulativos das sessões pré-irradiação e pós-irradiação com a dose de 3,0 Gy, para o Sujeito A1. As duas sessões pré-irradiação apresentam padrões de respostas e taxas semelhantes, tanto no componente de aquisição quanto no componente de desempenho. Uma análise quantitativa mostrou que, para a sessão pré-irradiação com a seqüência cde no componente de aquisição, não houve redução de erros ao longo do componente. Por outro lado, a característica de aquisição repetida aparece na sessão pré-irradiação com a seqüência ced no componente de aquisição. Comparando a precisão no bloco das 60 respostas iniciais e das 60 respostas finais há uma redução de 85 para 40% de erros. Os dados apresentados anteriormente na Figura 7

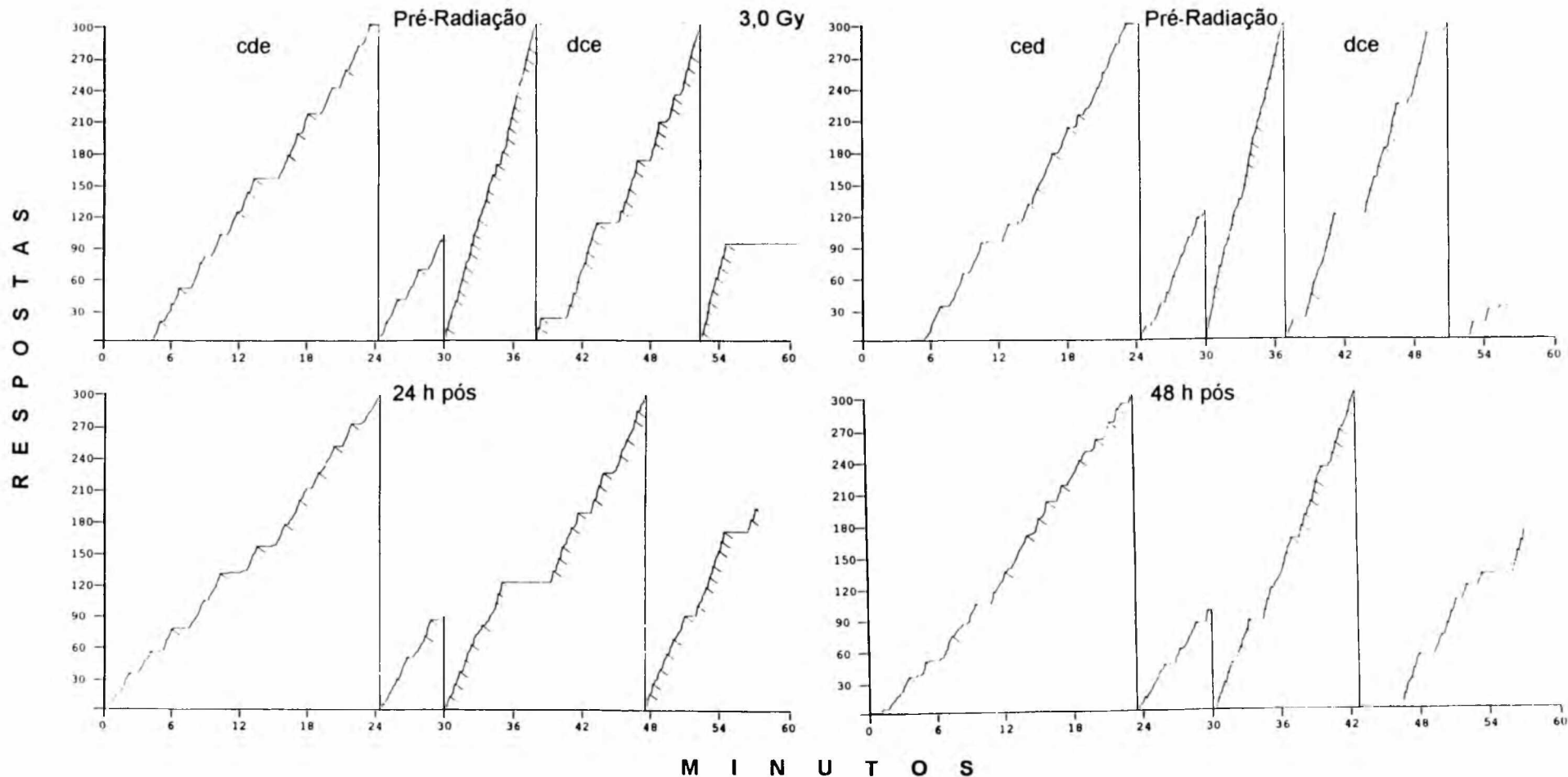


Figura 31. Registro cumulativo das sessões pré-irradiação e 24 e 48 horas pós-irradiação com a dose de 3,0 Gy, para o sujeito A1. Os painéis superiores são de sessões pré-irradiação com a mesma configuração de sequências das sessões pós-irradiação (painéis inferiores). Os 30 minutos iniciais são de aquisição e os 30 minutos finais, de desempenho.

sugerem que essas duas seqüências têm níveis diferentes de dificuldade; com a seqüência cde é gerado um maior número de erros do que com a seqüência ced. Para os componentes de desempenho, nas duas sessões, não há diferenças em precisão no início e no final do componente. Os registros das sessões pós-irradiação mostram que, com a dose de 3,0 Gy, os padrões gerais de resposta se mantiveram, com uma redução moderada na taxa de respostas, principalmente no componente de desempenho. No componente de aquisição (cde), na sessão realizada 24 após a irradiação, aparece a redução de erros do início (70%) para o fim do componente (40%). Esse tipo de redução também se manteve na sessão realizada 48 horas após a irradiação, com a seqüência ced no componente de aquisição. As porcentagens de erros nesse componente foram 73 e 39% para o início e final do componente. Para o componente de desempenho a precisão se manteve estável em ambas as sessões pós-irradiação.

A Figura 32 apresenta os registros cumulativos das sessões pré-irradiação e pós-irradiação com a dose de 6,0 Gy, para o Sujeito A1. Uma comparação entre essas sessões mostra que, com a dose de 6,0 Gy, ocorre uma maior redução na taxa de respostas bem como alteração no padrão de respostas, efeitos evidenciados no componente de desempenho e na sessão realizada 48 horas após a irradiação. A redução na quantidade de erros aparece nos componentes de aquisição em ambas as sessões pré-irradiação com os valores de 70 e 55% (seqüência ecd) e 68 e 25% (seqüência edc). Nos componentes de desempenho, a precisão permaneceu estável em ambas as sessões. Na sessão pós-irradiação o padrão de erros ao longo do componente de aquisição se manteve na sessão realizada após 48 horas (55 e 10%) mas foi abolido na sessão realizada 24 horas após a irradiação, com igual ocorrência de erros no início e no final da sessão (\cong 56%). Quanto ao componente de desempenho, na sessão 24 horas pós-irradiação o padrão de erros se

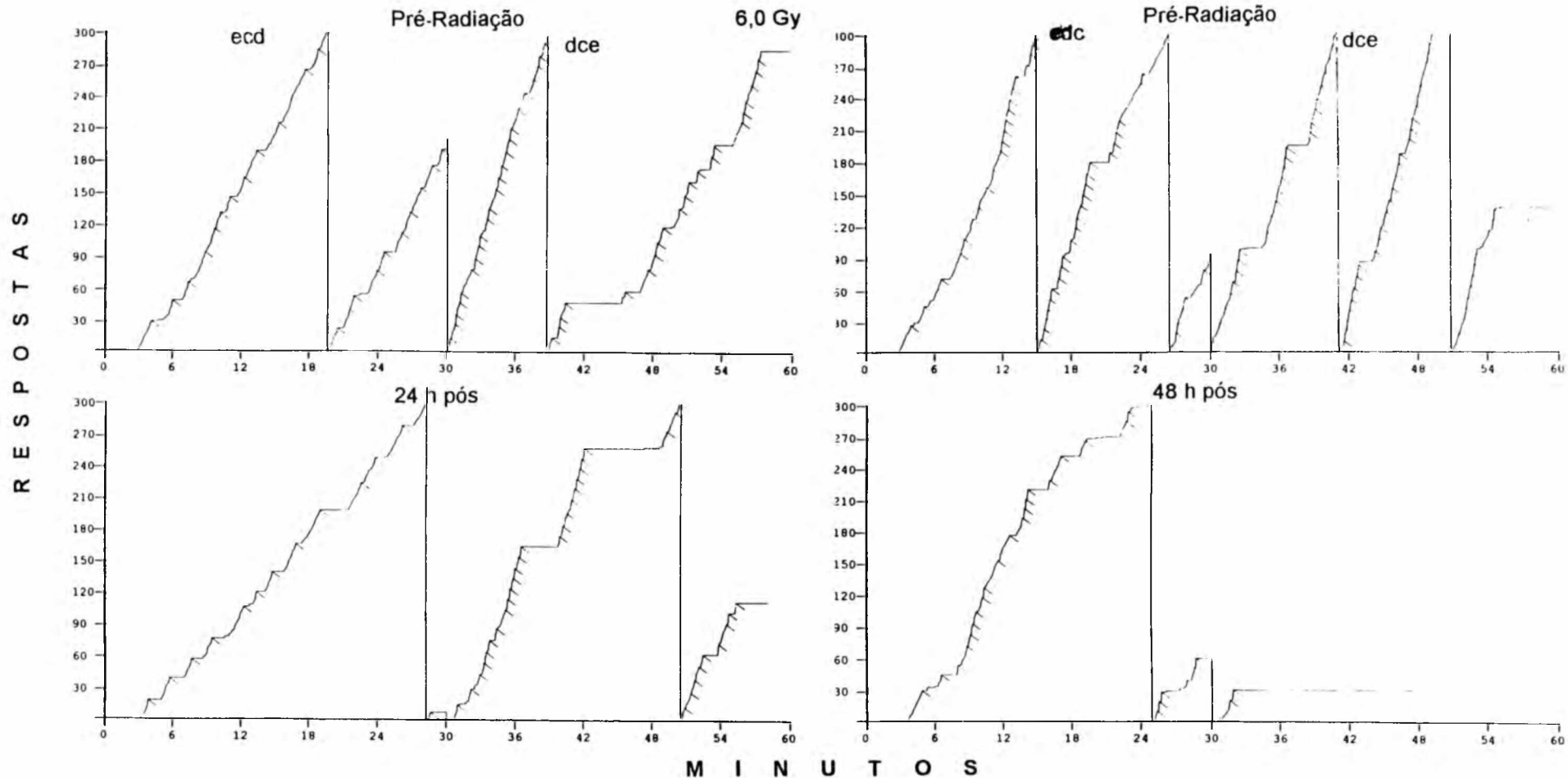


Figura 32. Registro cumulativo das sessões pré-irradiação e 24 e 48 horas pós-irradiação com a dose de 6,0 Gy, para o sujeito A1. Os painéis superiores são de sessões pré-irradiação com a mesma configuração de sequências das sessões pós-irradiação (painéis inferiores). Os 30 minutos iniciais são de aquisição e os 30 minutos finais, de desempenho.

manteve, mas não foi possível fazer essa avaliação para a sessão 48 horas pós-irradiação, uma vez que o sujeito parou de responder logo no início do componente.

Os dados para o Sujeito A1 nas sessões pré-irradiação e pós-irradiação com a dose de 8,0 Gy são apresentados na Figura 33. Os registros obtidos com a dose de 8,0 Gy são semelhantes àqueles obtidos com 6,0 Gy, isto é, observa-se uma redução acentuada nas taxas de respostas bem como uma alteração no padrão de respostas. Além disso, essas alterações são mais acentuadas no componente de desempenho e, principalmente, na sessão realizada 48 horas após a irradiação. Mais uma vez a redução de erros ao longo do componente de aquisição aparece nas duas sessões pré-irradiação (70 e 55% com a seqüência ecd e 72 e 40% com a seqüência edc). Esse padrão somente se alterou na sessão 24 horas pós-irradiação, com novos valores de 30 e 40%. No componente de desempenho, o padrão de erros se manteve estável, exceto para a sessão 48 horas pós-irradiação, cuja avaliação dos erros não foi possível em razão do baixo número de respostas emitidas.

As Figuras 34, 35 e 36 apresentam os registros cumulativos das sessões pré-irradiação e pós-irradiação, com as doses de 3,0, 6,0 e 8,0 Gy, respectivamente, para o Sujeito B6. Com a dose de 3,0 Gy (Figura 34), ocorreram tanto uma redução na taxa de respostas quanto uma alteração no padrão geral de respostas. Essas alterações ocorreram de forma semelhante nos componentes de aquisição e de desempenho. Nas sessões pré-irradiação, a redução de erros ao longo do componente de aquisição se deu somente na sessão com a seqüência cde (40 e 25% no início e final do componente). No componente de aquisição ced na outra sessão e nos componentes de desempenho em ambas as sessões, esse padrão de erros se manteve estável. Nas sessões pós-irradiação, os padrões de erros permaneceram os mesmos. Houve uma redução de erros do início para o final do componente de aquisição na sessão 24 horas pós-irradiação (seqüência cde; 55 e 26%) e a manutenção do padrão de

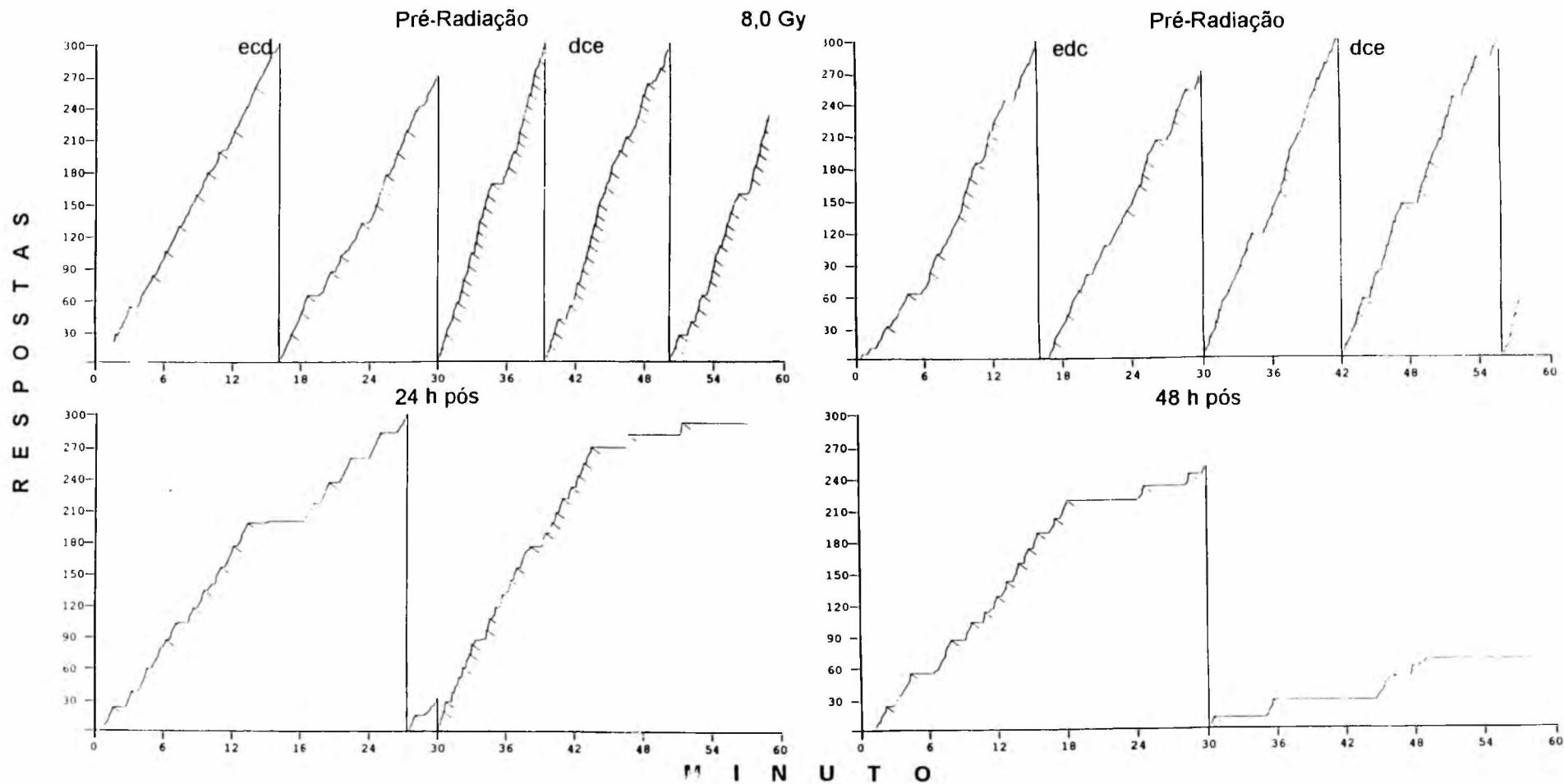


Figura 33. Registro cumulativo das sessões para o sujeito A1. Os painéis superiores são das sessões pré-irradiação e os inferiores das sessões pós-irradiação (painéis iniciais e finais, de desempenho).

irradiação e 24 e 48 horas
sessões pré-irradiação com
sessões). Os 30 minutos iniciais

irradiação com a dose de 8,0 Gy,
uma configuração de sequên-
de aquisição e os 30 minutos

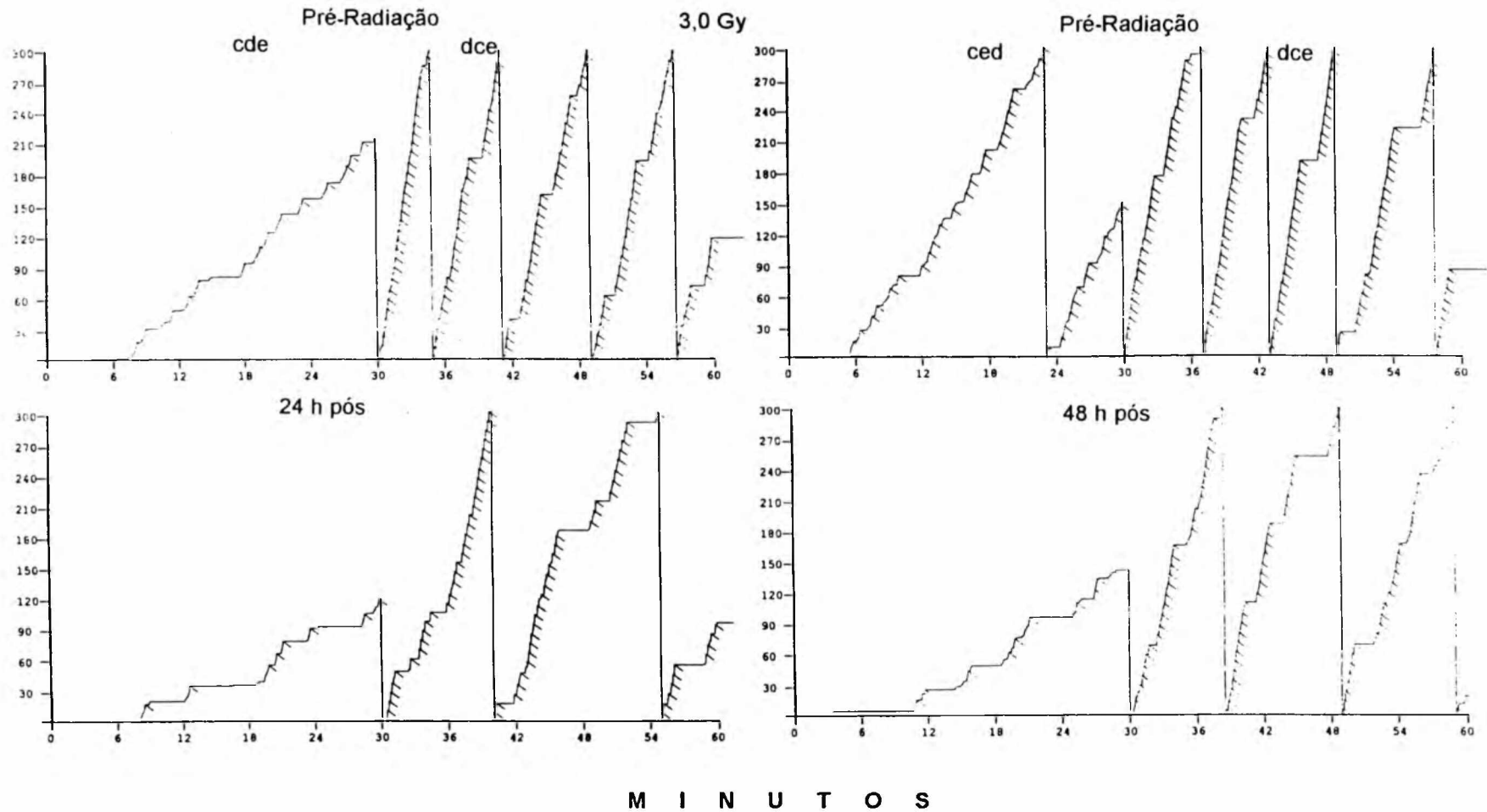


Figura 34. Registro cumulativo das sessões pré-irradiação e 24 e 48 horas pós-irradiação com a dose de 3,0 Gy, para o sujeito B6. Os painéis superiores são de sessões pré-irradiação com a mesma configuração de sequências das sessões pós-irradiação (painéis inferiores). Os 30 minutos iniciais são de aquisição e os 30 minutos finais, de desempenho.

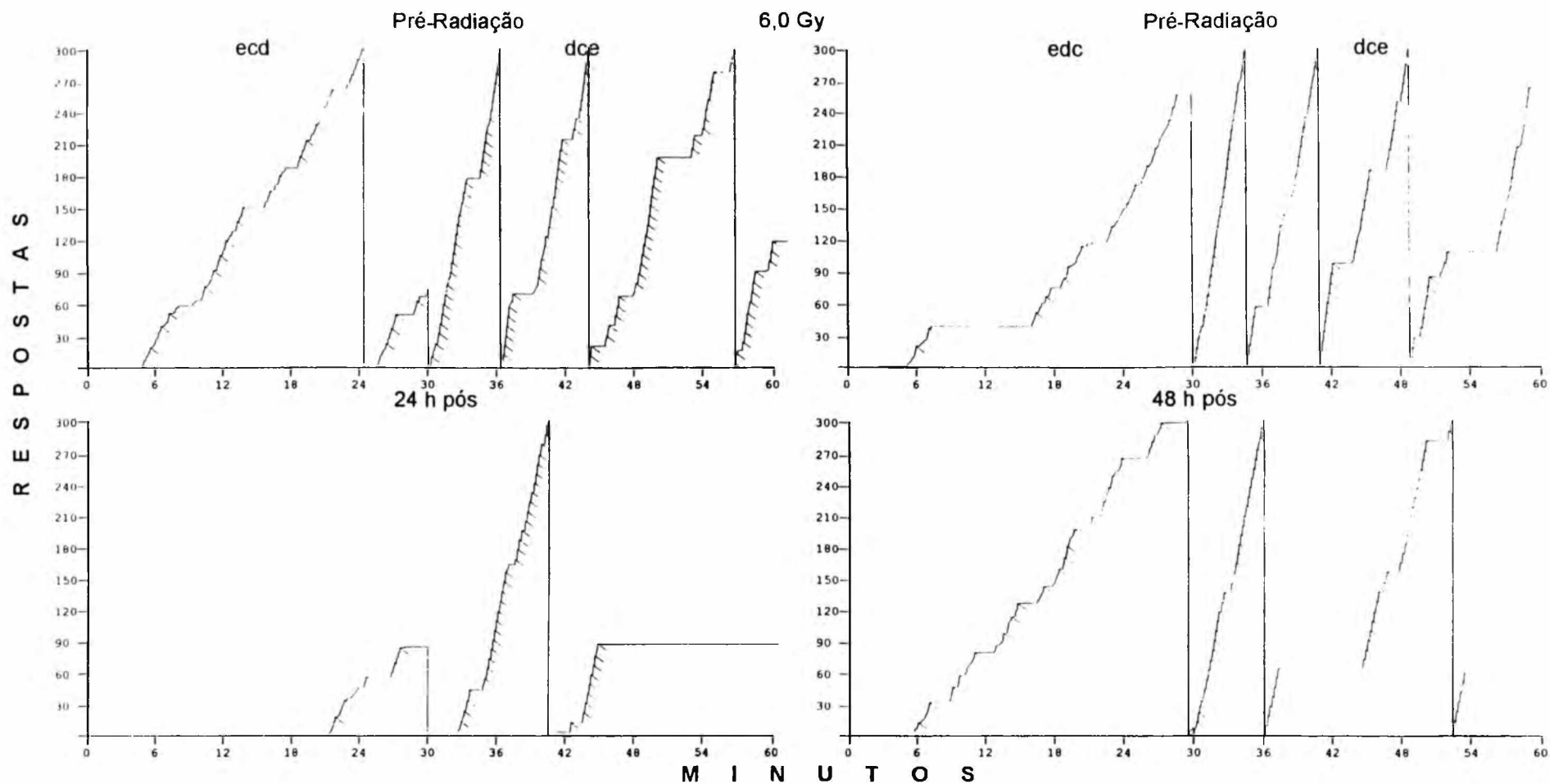


Figura 35. Registro cumulativo das sessões pré-irradiação e 24 e 48 horas pós-irradiação com a dose de 6,0 Gy, para o sujeito B6 Os painéis superiores são de sessões pré-irradiação com a mesma configuração de seqüências das sessões pós-irradiação (painéis inferiores). Os 30 minutos iniciais são de aquisição e os 30 minutos finais, de desempenho.

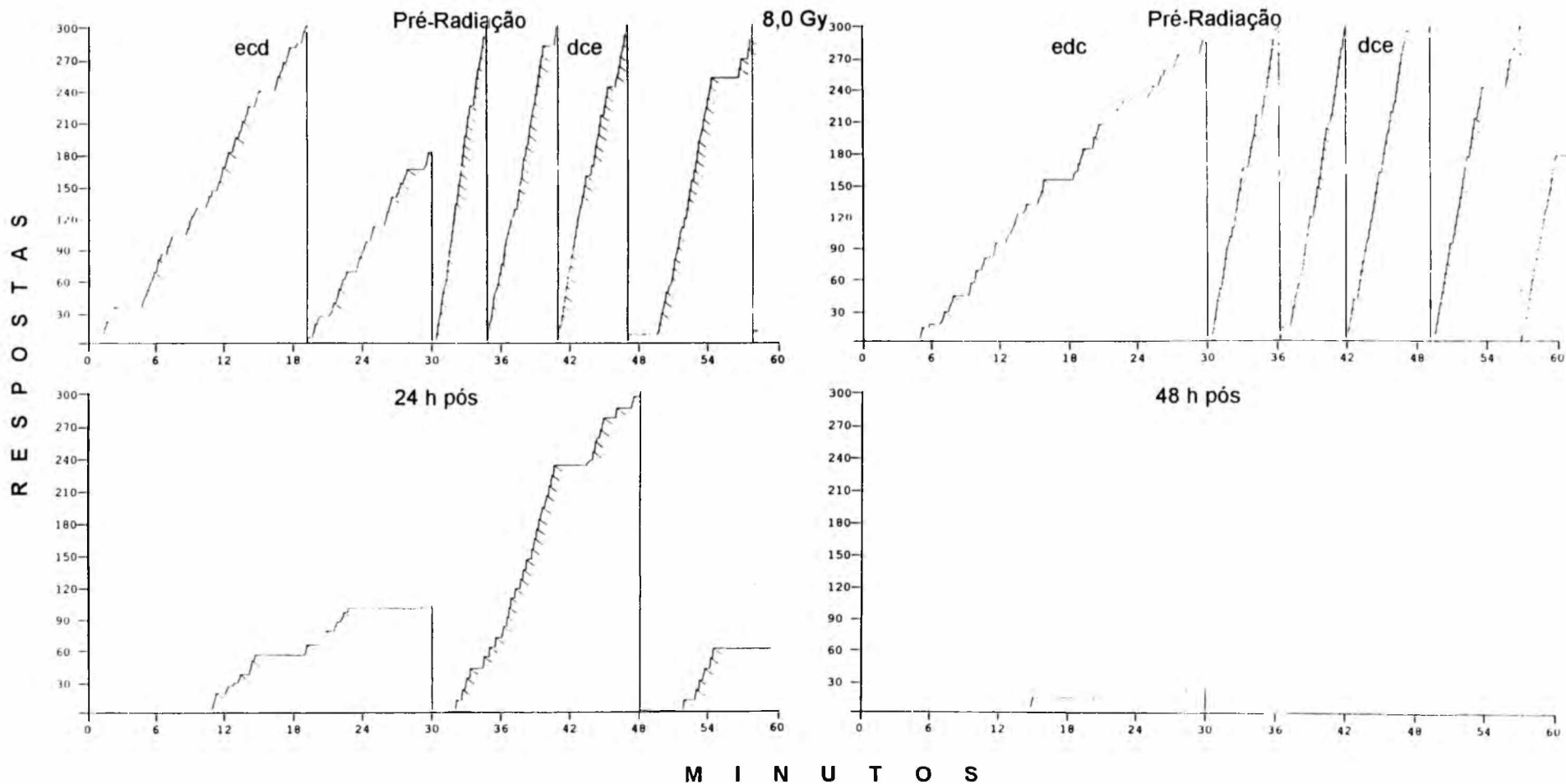


Figura 36. Registro cumulativo das sessões pré-irradiação e 24 e 48 horas pós-irradiação com a dose de 8,0 Gy, para o sujeito B6. Os painéis superiores são de sessões pré-irradiação com a mesma configuração de sequências das sessões pós-irradiação (painéis inferiores). Os 30 minutos iniciais são de aquisição e os 30 minutos finais, de desempenho.

erros no componente de aquisição da sessão 48 horas pós-irradiação (seqüência ced) e nos componentes de desempenho em ambas as sessões.

Os efeitos de redução na taxa de respostas e alteração no padrão geral de respostas pode também ser observado para o Sujeito B6 com a dose de 6,0 Gy (Figura 35). Com essa dose os efeitos foram mais potentes na sessão realizada 24 horas após a irradiação. Nas duas sessões pré-irradiação ocorreram redução de erros ao longo do componente de aquisição (56 e 38% na seqüência ecd; 55 e 41% na seqüência edc). Nos componentes de desempenho, nas sessões pré-irradiação, a precisão permaneceu a mesma ao longo do componente. Nas sessões pós-irradiação, enquanto não houve alteração no padrão de erros nos componentes de desempenho, a redução de erros ao longo do desempenho de aquisição foi abolida nas duas sessões.

Com a dose de 8,0 Gy (Figura 36), os registros do Sujeito B6 mostram que, no componente de aquisição, na sessão pré-irradiação com a seqüência ecd, houve uma redução de erros ao longo do componente, com valores de 55 e 25% no início e no final do componente. O mesmo padrão de erros não foi observado no componente de aquisição na sessão com a seqüência edc nem nos componentes de desempenho em ambas as sessões. Na sessão realizada 24 horas após a irradiação, observa-se uma queda acentuada na taxa de respostas nos dois componentes, com padrões de erros semelhantes no início e final dos componentes. Na sessão realizada 48 horas após a irradiação, a dose de 80 Gy produziu uma redução quase total na taxa de respostas. Nessa sessão o sujeito não obteve nenhum reforço durante o componente de aquisição e não emitiu nenhuma resposta no componente de desempenho.

Os registros cumulativos apresentados mostram que, em nove das doze sessões pré-irradiação, foi observado o padrão de erros característico da aquisição repetida, isto é, uma redução na quantidade de erros ao longo da sessão. Esses registros mostram, também, que,

para doses mais altas (6,0 e 8,0 Gy), esse padrão de erros foi mais afetado para o sujeito no Procedimento B.

Uma comparação entre os registros obtidos no Procedimento A(Sujeito A1) e no Procedimento B(Sujeito B6) mostra uma maior ordenação com o Procedimento A na relação entre doses e taxas de respostas. Uma outra observação que pode ser feita a partir desses registros é que, apesar de em ambos os procedimentos as respostas no componente de desempenho terem sido mais afetadas nas suas taxas e no padrão geral (corridas e pausas), as respostas no componente de aquisição sofreram maiores alterações no Procedimento B do que no Procedimento A. Finalmente, os registros mostraram que, no componente de aquisição, as taxas de respostas foram mais altas para o sujeito no Procedimento A, enquanto no componente de desempenho as taxas de respostas são mais altas para o sujeito no Procedimento B. Essas observações indicam uma interação entre os tipos de procedimento e tipos de componente do esquema múltiplo.

ERROS POR SEQUÊNCIAS

A Figura 37 apresenta dados de número de erros por sequência de três respostas, para todos os sujeitos, nos dois componentes do esquema múltiplo e nos dois tipos de procedimento utilizados. Esses dados representam o desempenho médio de cada sujeito em 45 sessões de linha de base, ou seja, nas 15 sessões anteriores a cada uma das três últimas exposições à radiação. Os dados são apresentados para as 45 sessões, pois uma inspeção desses mesmos dados calculados para os três agrupamentos de 15 sessões não mostraram nenhuma relação específica entre o desempenho dos sujeitos e a ordem temporal desses agrupamentos. Pode-se observar, na Figura 37, que o número de erros por sequência de três respostas foi substancialmente maior durante os componentes de aquisição do que durante os componentes de desempenho. Uma comparação entre os dados obtidos no

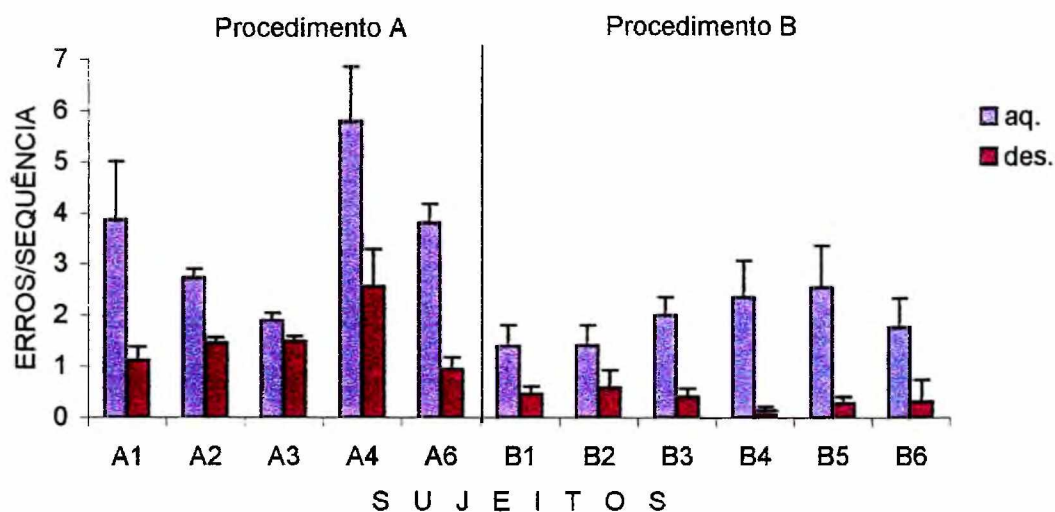


Figura 37. Erros por seqüência de três respostas nos componentes de de aquisição e desempenho, para todos os sujeitos, nos dois tipos de procedimento. Os dados representam média e desvio padrão de 45 sessões (15 sessões anteriores a cada uma das três últimas irradiações).

Procedimento A com aqueles obtidos no Procedimento B mostra um menor número de erros por seqüência para os sujeitos no Procedimento B, em ambos os componentes. Apesar de haver uma pequena sobreposição entre alguns sujeitos dos dois procedimentos, no componente de aquisição, os dados nos dois procedimentos constituem duas distribuições distintas. No componente de desempenho, a diferença entre os dois procedimentos é bem mais acentuada. Todos os sujeitos no Procedimento B apresentam menos do que um erro por seqüência, ao passo que, no Procedimento A, há uma variação de 1 a 2,5 no número de erros por seqüência.

Os dados de erros apresentados acima sugerem níveis diferentes de dificuldade entre os dois procedimentos de seqüências de respostas: o Procedimento B pode ser considerado mais fácil do que o Procedimento A. Em outras palavras, os sujeitos completaram as tarefas para obtenção do reforço com um menor número de erros no Procedimento B. Esses dados são de interesse, também, para a discussão sobre dificuldade *versus* complexidade. No presente estudo, as tarefas nos dois procedimentos eram compostas de um mesmo número de passos (nove respostas eram necessárias para a obtenção do reforço). Entretanto, os dois procedimentos tinham diferentes graus de complexidade. No Procedimento A, as respostas ocorriam numa única dimensão (sempre uma seqüência de três respostas sendo uma em cada barra – seqüências interbarras) e, no Procedimento B, em duas dimensões (uma seqüência de três respostas numa mesma barra seguida de três respostas em cada uma das outras duas barras – seqüências intrabarra e interbarras) (cf. Goldiamond, 1966). Os dados obtidos apoiam a noção de independência entre complexidade e dificuldade, isto é, a noção de que tarefas mais complexas não são necessariamente mais difíceis.

ANÁLISE HISTOLÓGICA

A seguir são apresentados os resultados das análises histológicas de todos os sujeitos após a exposição à dose total de 21,5 Gy. Foi utilizado o método semi-quantitativo na análise das lâminas, feita por inspeção visual. A avaliação considerou três parâmetros: alterações discretas (até 33%), moderadas, (entre 33 e 66%), e acentuadas (maior do que 66%). Os resultados são apresentados para o sistema nervoso, medula óssea, fígado, baço, tubo digestivo e testículos. As análises foram feitas para os sujeitos expostos aos Procedimentos A e B de aquisição repetida e de desempenho e para os Sujeitos B7, B8 e I1 utilizados como controle para as condições de saúde dos sujeitos experimentais.

Sistema Nervoso Central (SNC).

A análise histológica do SNC não mostrou diferença entre os sujeitos irradiados e os de controle. As únicas alterações encontradas no SNC referem-se a hiperemia passiva, ou acúmulo de sangue nos vasos, de natureza não-inflamatória. Essas alterações foram, provavelmente, causadas por falência cardíaca quando da morte dos sujeitos.

Medula Óssea.

A análise da medula óssea demonstrou alterações consistentes em todos os sujeitos expostos à radiação. Essas alterações consistiram em rarefação do tecido hematopoético, com um nível moderado para um sujeito e nível acentuado para os demais sujeitos. Para os sujeitos utilizados como controle, a análise apresentou resultados normais.

Fígado e Baço.

Os resultados da análise mostraram a existência de esteatose hepática tipo B para os 11 sujeitos irradiados, com níveis acentuados (cinco sujeitos), moderados (cinco sujeitos) ou discretos (um sujeito). A degeneração hepática do tipo B, ou acúmulo de gordura recente, é formada por pequenos vacúolos carregados de gordura que deslocam o núcleo da célula. Essa alteração é comum quando o organismo sofreu algum tipo de agressão como,

por exemplo, exposição à radiação. A análise realizada para os sujeitos de controle mostrou a ocorrência de degeneração hepática em nível discreto para um dos sujeitos; os demais apresentaram resultados normais. Apesar de um dos sujeitos de controle ter apresentado comprometimento hepático discreto, os sujeitos irradiados apresentaram esse comprometimento em níveis mais elevados.

A análise do baço mostrou hipotrofia dos folículos linfóides, com níveis moderados para dez dos sujeitos irradiados. Os folículos linfóides contêm células do sistema imunológico. Outra alteração encontrada no baço foi a hemossiderose, ou acúmulo de ferro, que, indiretamente, indica a ocorrência de hemólise moderada e acentuada, isto é, a destruição das hemáceas pelo fígado, o qual tira da circulação hemáceas com algum tipo de problema. Cinco sujeitos mostraram hemossiderose moderada enquanto dois mostraram níveis acentuados.

Tubo Digestivo.

As análises dos intestinos mostraram que, em seis dos sujeitos expostos à radiação, foi encontrada atrofia da mucosa do intestino delgado em níveis moderados. Um desses sujeitos, e mais um sétimo, também irradiado, mostraram, ainda, atrofia da mucosa do intestino grosso.

Testículos.

Não foi possível a realização da análise dos testículos, em todos os sujeitos, devido a problemas nos procedimentos de necrópsia ou no preparo das lâminas. Porém, é importante destacar que todos os sujeitos do grupo controle mostraram normalidade. Dois sujeitos que foram irradiados mostraram níveis discretos de atrofia dos túbulos seminíferos (*AT*) e atrofia das células intersticiais (*AI*), enquanto outros dois sujeitos, também irradiados, mostraram níveis moderados de *AT* e *AI*. A alteração *AT* está associada às

células germinais enquanto que a alteração AI está associada as células de Leydig, produtoras de testosterona.

Em resumo, os resultados obtidos a partir da análise histológica demonstram que, no rato adulto, o SNC tem uma alta resistência à radiação, dados os parâmetros de radiação utilizados no presente estudo. Por outro lado, os sistemas hematopoético, hepático, digestivo e reprodutivo são radiosensíveis. Os sujeitos expostos à radiação apresentaram comprometimento em alguns dos órgãos desses sistemas.

DISCUSSÃO

A radiobiologia comportamental tem mostrado que os efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento operante são determinados tanto por variáveis radiológicas quanto por variáveis comportamentais. As variáveis radiológicas se referem ao tipo de radiação, dose e história de exposição. As variáveis comportamentais incluem a taxa de respostas emitida na pré-exposição, o esquema de reforçamento, estímulos discriminativos externos, tipo de reforço, entre outras (Gimenes & Vasconcelos, 1997a; Mickley, Bogo, Landauer & Mele, 1988).

A medida taxa de respostas tem se mostrado sensível a doses baixas de radiação e, em geral, apresenta maiores efeitos depressores após maiores doses de radiação. Esses efeitos podem ser observados em procedimentos de esquemas simples de intervalo fixo (Gimenes et al, 1991; Mele et al, 1988), em esquemas simples de intervalo variável (Vasconcelos et al., 1993), em esquema múltiplo de razão fixa e intervalo fixo (Mele & McDonough, 1995), em esquemas concorrentes de intervalo variável (Vasconcelos et al., 1995), em aquisição repetida (Winsauer & Mele, 1993) e em esquema múltiplo de aquisição repetida (Gimenes et al., 1997).

Os diferentes procedimentos de aquisição repetida e desempenho programados no presente estudo (Procedimentos A e B) foram investigados pela primeira vez em um estudo que utilizou um esquema múltiplo de aquisição repetida com dois componentes de aquisição similares aos do Procedimentos A e B (Vasconcelos & Gimenes, 1996). A taxa de respostas, o número de seqüências completas e, conseqüentemente, o número de reforços obtidos foram sistematicamente mais altos no componente de aquisição B. Quanto à medida de precisão, observou-se um menor número de erros emitidos nesse componente. O número de seqüências completadas sem erros no componente de aquisição B foi maior e

mostrou sucessivos aumentos nas várias sessões, enquanto no componente de aquisição A, o número de seqüências sem erros permaneceu baixo ao longo das sessões. Portanto, as medidas de porcentagem de erros, bem como de número de seqüências completas sem erros, refletem os diferentes níveis de dificuldade dos dois procedimentos de aquisição repetida utilizados.

Num segundo estudo exploratório, Gimenes et al. (1997) investigaram os efeitos da radiação sobre comportamentos mantidos por dois tipos diferentes de aquisição de seqüências de três respostas em um esquema múltiplo aquisição e desempenho. Os diferentes procedimentos de aquisição repetida e desempenho eram similares aos utilizados no presente estudo. Novamente, os dados obtidos nas sessões pré-irradiação apontam para diferentes níveis de dificuldade entre os dois tipos de procedimentos de aquisição repetida e desempenho, com menor número de erros no Procedimento B, em ambos os componentes. Apesar das diferenças nas taxas de respostas pré-irradiação nos dois procedimentos (maior taxa no Procedimento B), a dose de radiação utilizada, de 4,5 Gy, afetou similarmente essa medida comportamental. Os dados pós-irradiação demonstraram um decréscimo na taxa de respostas, com retorno aos níveis pré-irradiação após aproximadamente cinco dias. Por outro lado, independente do nível de dificuldade dos dois procedimentos, a radiação não afetou diferentemente a ocorrência de erros nesses procedimentos, isto é, para ambos os componentes, em ambos os procedimentos, não foram observadas diferenças apreciáveis entre os dados pré-irradiação e pós-irradiação (Gimenes et al, 1997).

Esquemas múltiplos de reforçamento possibilitam o estudo de diferentes taxas e padrões de respostas de um único sujeito em um período relativamente curto de tempo bem como a interação entre os diferentes componentes, uma vez que mudanças nas conseqüências do comportamento em um componente do esquema podem alterar o

comportamento mantido pelo outro componente (Barrett, 1984). Em um estudo em que foi utilizado um esquema múltiplo, FI 2 min FR 50, quatro grupos de ratos expostos a doses de radiação de 2,25, 4,5, 6,75 ou 9,0 Gy mostraram efeitos diferentes entre os esquemas de reforçamento utilizados (Mele & McDonough, 1995). A taxa de respostas mostrou decréscimos a partir da dose de 4,5 Gy em ambos os componentes e com maior redução no esquema de intervalo fixo, embora o padrão de respostas em FI não tenha sido alterado pelas doses de radiação. A interação entre os dois componentes do esquema múltiplo de razão fixa e intervalo fixo aumentou a sensibilidade à radiação gama da resposta mantida pelo esquema de intervalo, quando comparado a um esquema simples de intervalo fixo. A taxa de respostas em FI no esquema múltiplo foi aumentada após a introdução do componente de FR e se manteve mais alta do que em esquema simples de intervalo fixo (Mele et al., 1988; Mele & McDonough, 1995). Esquemas simples de intervalo fixo produzem diferentes sensibilidades à radiação, dependendo da taxa de respostas. Sujeitos que respondem com uma taxa mais alta nesses esquemas, durante a linha de base, apresentam uma maior redução na taxa de respostas após a irradiação (Gimenes et al, 1991).

Esses dados indicam que os efeitos da radiação são modulados pela taxa de respostas e pelo esquema de reforçamento na linha de base. No estudo de Mele et al. (1988), altas taxas de respostas foram mantidas em FR 50, o qual também mostrou as maiores reduções no responder, após a dose de 6,5 Gy. Entretanto, além da taxa de respostas, o próprio esquema de reforçamento pode modular os efeitos da radiação. Em intervalo fixo, decréscimos na taxa de respostas em relação à linha de base não alteraram o padrão de resposta característico do esquema. Por outro lado, a redução nas taxas de respostas em razão fixa foi ocasionada por aumentos da pausa pós-reforço.

Efeitos da radiação modulados por diferentes taxas de respostas foram também observados em esquemas simples de intervalo variável assim como em esquemas concorrentes. Em um esquema de VI 120 seg, os sujeitos que emitiram taxas mais altas de respostas mostraram maiores reduções na taxa após as doses de 4,5 e 6,0 Gy, com uma posterior recuperação mais rápida do que os sujeitos que apresentaram taxas de respostas mais baixas (Vasconcelos et al., 1993). Esquemas concorrentes de intervalo variável-intervalo variável também mostraram relações importantes entre taxa de respostas e efeitos da radiação. Após exposição a uma dose de 4,5 Gy, a distribuição de reforços não mostrou alterações em relação à linha de base, porém a taxa de respostas diminuiu no esquema de menor densidade do reforço ocasionando alterações na proporção de respostas entre os dois componentes (Vasconcelos et al., 1995).

A redução da taxa de respostas produzida pela exposição à radiação está associada aos efeitos anoréxicos assim como à perda de peso e à redução no consumo de alimento. A radiação ionizante induz a redução do consumo de alimento em várias espécies, incluindo o homem, e a duração e intensidade do efeito dependem da dose total administrada (Winsauer, Verrees, O'Halloran, Bixler & Mele, 1994). Uma dose por volta de 50% do LD⁵⁰ para uma espécie é considerada uma baixa dose de radiação e é seguida por uma recuperação total dos efeitos da exposição (Kohn & Kallman, 1957). Entretanto, se a dose exceder a metade da dose especificada pelo LD⁵⁰ para uma espécie, a recuperação é incompleta, diminuindo o valor do LD⁵⁰ em outras doses aplicadas, isto é, diminuindo a resistência do organismo nas demais exposições a doses subletais. Portanto, para o rato, uma dose de 3,0 Gy pode ser considerada baixa, enquanto uma dose de 4,5 Gy pode ser considerada intermediária e doses acima de 6,0 Gy, altas.

No presente estudo, durante todo o transcorrer do mesmo, ao pesar os animais no início da manhã, verificava-se também o consumo da ração fornecida no dia anterior, após

as sessões experimentais. Caso houvesse sobras de alimento, a parte da ração não consumida era pesada e retirada da gaiola viveiro. Após as doses de 3,0 e 4,5 Gy, a ração foi inteiramente consumida por todos os sujeitos. Entretanto, alterações no consumo de alimento foram registradas com 48 a 72 horas após a exposição de 6,0 Gy para quatro sujeitos no Procedimento A, que não consumiram entre 10 e 50% da ração fornecida após as sessões experimentais. Reduções mais intensas e duradouras foram observadas após a exposição de 8,0 Gy. No período inicial de 24 a 48 horas após a irradiação, quatro sujeitos no Procedimento B não consumiram toda a ração (sobras entre 10 e 50%); após 48 horas e durante todo o período de sobrevivência, todos os sujeitos deixaram de consumir a ração diária na sua totalidade (sobras entre 30 e 100%). A perda de peso dos sujeitos foi relativamente pequena após as menores doses e aumentou com aumentos na dose de radiação de forma semelhante para todos os sujeitos. Portanto, o comportamento alimentar observado após exposição às menores doses não sugere efeitos anoréxicos da radiação com essas doses, considerando que houve completo consumo da ração e uma perda de peso relativamente pequena, não diferente de variações observadas durante a linha de base. Por outro lado, estes efeitos anoréxicos foram observados com maior intensidade após 6,0 Gy, com recuperação do peso num período de, aproximadamente, dez dias após a irradiação. Com 8,0 Gy, a diminuição no consumo de alimento e a perda de peso se mantiveram até a morte dos animais.

Um único estudo avaliou a relação entre consumo de alimento pelos ratos após a exposição à radiação e a ingestão de drogas que atuam no mecanismo envolvido no comportamento alimentar, isto é, drogas que atuam em sistemas de neurotransmissores e receptores nele envolvidos (Winsauer et al., 1994). A exposição à dose de 4,5 Gy reduziu, significativamente, o consumo da ração durante um teste de 60 min de apresentação de alimento, efeito que ainda foi observado 24 horas após a irradiação, durante um novo

período de alimentação. Por outro lado, a administração das drogas³ aumentou o consumo de alimento nos grupos irradiados e não-irradiados. Os resultados sugerem que os efeitos anoréxicos da radiação não foram devido a danos provocados nos mecanismos envolvidos no comportamento alimentar, os quais mostraram o funcionamento esperado após as doses das drogas testadas. Outros fatores que podem contribuir para os efeitos anoréxicos ainda precisam ser investigados. Entretanto, irritação do trato alimentar parece não estar envolvida nesses efeitos, considerando-se os aumentos do consumo de alimento induzidos pelas drogas (Winsauer et al., 1994).

A recuperação da perda de peso dos animais após as doses de 3,0, 4,5 e 6,0 Gy no presente estudo foi acompanhada também pela recuperação da taxa de respostas de todos os sujeitos. As sessões experimentais realizadas 2, 24 e 48 horas após as exposições mostraram a diminuição da taxa de respostas com posterior recuperação, que alcançaram valores aproximadamente iguais aos da linha de base. Entretanto, como ocorreu com o consumo de alimento, após a dose de 8,0 Gy, observou-se uma acentuada redução da taxa de respostas, a qual se manteve baixa até a morte dos animais.

Apesar da ocorrência de perda de peso e dependendo da dose de radiação utilizada, os animais não consumiram o total de ração fornecida após as sessões experimentais, o que caracteriza o efeito anoréxico da radiação, que não foi observado em relação aos reforços obtidos na sessão experimental. Isto é, os sujeitos consomem todos os reforços obtidos na sessão, mesmo que tenham deixado de consumir a ração na gaiola viveiro. Além disso, os dados disponíveis mostram uma relação entre redução na taxa de respostas e reforços obtidos em esquemas simples de intervalo, isto é, a redução é mais acentuada quando não produz diminuição no número de reforços programados e obtidos (Gimenes et al, 1991;

³ Clordiazepóxido (um protótipo agonista benzodiazepínico) e 8-OH-DPAT (um protótipo agonista 5-HT_{1A}).

Vasconcelos et al, 1993). É possível que essa diferença entre consumo na gaiola viveiro e sessão experimental esteja relacionada com a qualidade dos dois alimentos utilizados nessas duas situações. Uma comparação entre os componentes da ração utilizada na gaiola viveiro e das pelotas utilizadas como reforço sugere que estas últimas possam ser mais palatáveis. Assim, existiria uma interação entre os efeitos anoréxicos (ou motivacionais) produzidos pela radiação e a qualidade dos alimentos utilizados para manutenção na gaiola viveiro e para reforçamento nas sessões experimentais. (cf. Gimenes & Vasconcelos, 1997a).

A seletividade dos efeitos anoréxicos em relação ao tipo de alimentação é também amplamente conhecida a partir dos estudos de lesões da área lateral do hipotálamo, LH, também conhecida como “centro de alimentação” (Teitelbaum & Epstein, 1962; Teitelbaum & Stellar, 1954). Animais lesionados nessa área só recuperam o comportamento alimentar se forem tratados com dietas especiais. Os estudos com lesões de estruturas cerebrais indicam também uma relação entre o comportamento alimentar e o sistema motor, com sujeitos lesionados no LH apresentando dificuldades motoras (Teitelbaum, 1971). Por outro lado, sujeitos lesionados em áreas relacionadas ao sistema motor apresentam características de comportamento alimentar similares àqueles com lesão no LH (Fibiger, Zis & Mcgeer, 1973). Assim, a anorexia observada após exposições à radiação pode ser uma consequência da diminuição no comportamento motor dos sujeitos e não o contrário, ou ainda, os dois tipos de comportamentos envolvidos podem ser afetados de formas independentes pela radiação.

É importante enfatizar que os efeitos da radiação sobre a redução da taxa de respostas não foram generalizados entre os componentes e os tipos de procedimento de aquisição e desempenho, no presente estudo. As maiores reduções nessa medida foram observadas no componente de desempenho, com resultados mais ordenados entre os

sujeitos expostos ao Procedimento A. Os efeitos das diferentes doses de radiação sobre a taxa de respostas foram semelhantes aos efeitos observados sobre a medida de número de reforços obtidos. Diminuições crescentes no número de reforços obtidos foram também observadas com doses de 3,0 a 8,0 Gy e, de forma mais ordenada, no componente de desempenho para os sujeitos no Procedimento A.

A utilização de um procedimento de aquisição repetida, ao possibilitar a análise de precisão das respostas, contribui com informações importantes sobre os efeitos da radiação ionizante sobre o comportamento operante. A diminuição da motivação não parece ser uma condição necessária para se produzir déficit na aprendizagem induzido pela radiação. A porcentagem de erros observada após as exposições à radiação, no presente estudo, mostra que as maiores doses produziram aumentos no número de erros, em relação à linha de base, no componente de desempenho nos Procedimentos A e B, em comparação com o componente de aquisição. O aumento de erros durante o componente de aquisição, quando foi observado, ocorreu em maior proporção no Procedimento A. Portanto, os efeitos da radiação foram maiores e mais consistentes no componente de desempenho ou sobre o comportamento adquirido nas primeiras sessões do experimento e mantido durante todo o estudo. O componente de desempenho pode ter se tornado mais sensível aos efeitos da radiação por estar associado a um baixo e estável número de erros, em que pequenas variações são mais facilmente detectadas. Por outro lado, o componente de aquisição esteve sempre associado a um maior número de erros e maior variação nessa medida, ao longo das sessões, o que requer um efeito mais robusto para ser detectado.

Segundo uma definição encontrada em Goldiamond (1966), o nível de dificuldade de uma tarefa pode ser definida pelo número de passos necessários para completá-la, enquanto o nível de complexidade da tarefa pode ser definido pelo número de dimensões envolvidas. Portanto, segundo essa definição, o Procedimento B representou uma tarefa

com um nível maior de complexidade por envolver duas dimensões, respostas intrabarras e interbarras, enquanto que o Procedimento A envolveu somente uma dimensão, respostas inter-barras. Por outro lado, a determinação do nível de dificuldade só pode ser aferido a partir do desempenho dos sujeitos. Dessa forma, apesar de o Procedimento B representar a tarefa mais complexa, os sujeitos apresentaram um menor número de erros em ambos os componentes, comparados aos sujeitos no Procedimento A. Estes resultados são interessantes porque mostram que a complexidade da tarefa não é necessariamente acompanhada por maior dificuldade. Assim, os dados obtidos com os dois tipos de procedimentos aqui utilizados podem contribuir para a discussão envolvendo os conceitos de complexidade e dificuldade.

A história de exposição ao esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho também alterou o tipo de erro emitido pelos sujeitos. Inicialmente, o maior número de erros, para todos os sujeitos, foi registrado na barra associada ao reforço programado em cada seqüência, independente do tipo de procedimento de aquisição e desempenho nas primeiras sessões de exposição ao esquema múltiplo. Esse tipo de erro foi claramente alterado no componente de desempenho em grande parte das sessões pré-irradiação e pós-irradiação. Um maior número de erros passou a ser emitido nas barras não associadas ao reforço programado, no caso do componente de desempenho, nas barras direita e central. A alteração do tipo de erro não parece estar associada à história de exposição às doses de irradiação, mas sim à história de exposição às contingências de esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho. É interessante notar que o Procedimento B envolveu uma história de reforçamento de perseveração de respostas ou seqüências contendo uma série repetitiva de respostas em uma mesma barra. Entretanto, esse procedimento não aumentou erros caracterizados por respostas de perseverar em cada barra; as proporções de erros na

pré-irradiação, nas três barras de respostas, foram semelhantes entre os sujeitos expostos aos Procedimentos A e B.

Outra análise importante no presente estudo é a comparação dos desempenhos produzidos por diferentes seqüências e a comparação de uma seqüência com ela mesma na linha de base após a exposição à radiação. A precisão em cada seqüência programada mostrou um menor número de erros nas seqüências edc e ced para os sujeitos nos Procedimentos A e B no período inicial de exposição ao esquema múltiplo. É possível que a explicação desses resultados esteja na circularidade de algumas seqüências da aquisição com a seqüência do desempenho. As seqüências edc e ced são encontradas dentro da seqüência programada no componente de desempenho dce. Isto é, ao repetir duas vezes a seqüência dce, encontra-se dentro da cadeia de respostas as seqüências edc e ced. Esses resultados foram encontrados também por Cohn, Cox e Cory-Slechta (1993) em um estudo sobre os efeitos da exposição ao chumbo em um esquema múltiplo de aquisição repetida e desempenho. Com a programação da seqüência ecd no componente de desempenho, os resultados mostraram maiores porcentagens de acertos no componente de aquisição com as seqüências dec e cde. Isso mostra, novamente, a interação entre os componentes de aquisição repetida e desempenho do esquema múltiplo de reforçamento. Além dos resultados ordenados sobre as seqüências circulares (edc, ced e dce) no presente estudo, destacam-se, também, os dados obtidos com a seqüência cde, que mostra, em geral, as maiores porcentagens de erros. Portanto, os diferentes resultados obtidos com algumas seqüências mostram a importância de se considerarem as medidas em cada seqüência programada, analisando-se os efeitos da manipulação experimental numa dada seqüência em comparação com os dados de linha de base na mesma seqüência.

Outra medida de erro utilizada foi o número de seqüências completadas sem erros. Essa medida é importante quando se consideram as conseqüências programadas para os

erros. No presente estudo, um erro não reiniciava a seqüência, que era retomada após o *timeout* no mesmo ponto que o erro fora emitido. Nesse caso, uma mesma seqüência pode ser reforçada com ou sem a presença de erros entre as respostas corretas. Por exemplo, a seqüência $E \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \text{Ref}$ pode ser completada por três respostas corretas ou pode ser completada com respostas que contenham erros, por exemplo, $E \rightarrow E(\text{erro}) D(\text{erro}) C \rightarrow C(\text{erro}), E(\text{erro}) D \rightarrow \text{Ref}$, em que, após cada uma das duas primeiras respostas corretas da seqüência, observa-se a ocorrência de erros. Em geral, a medida de número de seqüências sem erros no componente de desempenho mostrou valores próximos à linha de base, após as menores doses e diminuição após as doses de 6,0 e 8,0 Gy, em ambos os procedimentos de aquisição repetida e desempenho. A medida de seqüências sem erros pode acrescentar informações sobre o padrão de erros. O aumento das porcentagens de erros no componente de desempenho observado após as maiores doses de radiação foi acompanhado, também, por redução do número de seqüências completadas sem erros, associadas a essas doses. Isso sugere que os novos erros ocorreram dentro de um número maior de seqüências completadas após as doses de 6,0 e 8,0 Gy no componente de desempenho, mantendo-se assim o padrão de erros dentro da seqüência. Por outro lado, no componente de aquisição, a redução do número de seqüências sem erros não foi acompanhada por aumento das porcentagens de erros. Isso mostra que, diferentemente dos dados observados no componente de desempenho com altas doses, no componente de aquisição repetida, a radiação produziu uma alteração no padrão de erros dentro da seqüência. Isto é, parece ter havido uma distribuição dos erros entre um maior número de seqüências.

Entretanto, os acentuados efeitos das menores doses sobre a porcentagem de erros e o número de seqüências completadas sem erros, observados em alguns sujeitos, merecem estudos adicionais. Os aumentos observados na porcentagem de erros após a dose de 3,0 Gy, comparada com a dose de 4,5 Gy, podem ter ocorrido devido à história de

exposição à radiação dos sujeitos, com uma dose total acumulada de 13,5 Gy comparada à primeira exposição programada de 4,5 Gy.

O tipo de procedimento utilizado no presente estudo pode ter facilitado a ocorrência de um grande número de erros. Apesar de haver conseqüências para os erros (*timeout*), as seqüências não eram reiniciadas após cada erro, isto é, erros podiam ocorrer entre respostas corretas sem comprometer a conclusão da seqüência. Uma alternativa a esse procedimento é a utilização de um procedimento de correção, em que um erro, além de produzir um *timeout*, reinicia a seqüência, que só pode ser completada se não houver erros entre a primeira e a última resposta da seqüência.

Os dados obtidos no presente estudo não devem, entretanto, ter sido influenciados pelo procedimento de conseqüenciação dos erros. Muitos estudos com o procedimento de aquisição repetida não utilizam procedimento de correção. Esses procedimentos tem sido realizados com macacos, pombos e ratos, podendo ocorrer isoladamente ou em esquemas múltiplos (e.g. Boren & Devine, 1968; Schrot, Thomas & Banvard, 1980; Thompson, 1970;1971;1973; Thompson & Moerschbaecher, 1979a; 1980; Thompson, Moerschbaecher & Winsauer, 1983; Winsauer e Mele, 1993; Winsauer, Thompson & Moerschbaecher, 1985).

Harting & McMillan (1976), utilizando pombos em esquemas encadeados e tandem de aquisição repetida, compararam o desempenho dos sujeitos em procedimentos com e sem correção. Apesar dos resultados mostrarem uma diminuição mais rápida no número de erros intra-sessão, a notável e imediata mudança de estímulos associada ao *timeout* que se segue aos erros parece ser suficiente na aquisição das seqüências de respostas, diminuindo o número de erros. Um *timeout* para uma resposta errada pode funcionar como um estímulo para respostas de mudança ou ainda como um estímulo aversivo que sinaliza o atraso do reforço (cf. Boren, 1969; Moerschbaecher, Boren & Schrot, 1978). A importância

do controle de estímulos nos procedimentos de aquisição repetida foi também enfatizada por Cohn et al. (1993) na avaliação dos efeitos da intoxicação por chumbo sobre o desempenho e aquisição de seqüências de respostas.

As diferenças observadas nas comparações entre os padrões de comportamento produzidos nos procedimentos de aquisição repetida e desempenho têm sido atribuídas a diferenças nos esquemas de reforçamento, nas taxas de respostas, na densidade do reforço e no controle de estímulos. Uma das sugestões apresentadas pelos estudos que utilizam o procedimento de aquisição repetida e desempenho é que o comportamento mantido no componente de desempenho esteja sob um forte controle de estímulos, à medida que uma seqüência de respostas se repete em várias sessões experimentais. A menor sensibilidade do comportamento no componente de desempenho aos efeitos de drogas, por exemplo, seria ocasionada pelo alto grau de controle de estímulos nesse componente em comparação com o controle de estímulos existente no componente de aquisição (cf. Thompson, 1978; Thompson & Moerschbaecher, 1979b;).

Os resultados do presente estudo mostraram, entretanto, que o comportamento nos componentes de desempenho foi, de forma geral, mais afetado pela radiação ionizante. Esse efeitos diferentes da radiação observados nos dois componentes podem, no entanto, estar relacionados ao alto índice de precisão (baixo número de erros) nos componentes de desempenho. Assim, a linha de base produzida pelo componente de desempenho seria uma linha de base mais sensível a pequenas variações no padrão de respostas do que a linha de base produzida pelo componente de aquisição.

* O papel do controle de estímulos e sua relação com os efeitos da radiação ionizante, com a utilização de contingências operantes, requer ainda investigações adicionais. O papel de estímulos discriminativos como moduladores dos efeitos da radiação ainda não foi adequadamente explorado. Por outro lado, alguns dados mostram uma alta resistência à

radiação do controle de estímulos desenvolvido em uma situação operante de discriminação simples. Em um estudo realizado por Gimenes et al (1998), ratos aprenderam a discriminar entre uma luz intermitente e uma luz estável, apresentadas simultaneamente em duas chaves translúcidas. Respostas na chave correta eram seguidas por alimento, e respostas na chave errada eram seguidas por *timeout*. Após a obtenção de um índice discriminativo acima de 90%, os sujeitos foram expostos a duas doses de radiação de 4,5 e 6,0 Gy. Os resultados mostraram que, enquanto as taxas de respostas foram afetadas pelas duas doses de radiação (redução nas taxas), o desempenho discriminativo se manteve intacto para todos os sujeitos.

Os resultados do presente estudo são consistentes com os dados obtidos por Winsauer & Mele (1993). Os efeitos da radiação gama sobre a aquisição repetida mostram reduções nas taxas de respostas a partir de doses baixas, como 3,0 Gy, e aumento na porcentagem de erros em doses que reduzem significativamente a taxa de respostas, como as doses de 6,0 e 8,0 Gy. Winsauer & Mele (1993) destacam que seus resultados confirmam a maior sensibilidade à radiação do comportamento mantido em tarefas complexas, aumentando a generalidade dos resultados obtidos nos estudos sobre os efeitos de drogas. Os resultados do presente estudo adicionam, entretanto, novas informações em relação à variável complexidade da tarefa. Ao comparar os procedimentos de aquisição repetida e desempenho com diferentes níveis de complexidade observou-se que o procedimento menos complexo foi mais sensível aos efeitos da radiação. Tanto o componente de aquisição como o componente de desempenho mostraram efeitos mais ordenados das diferentes doses de radiação no Procedimento A. Enquanto o nível de complexidade da tarefa é definido pelo procedimento, o nível de dificuldade só pode ser inferido a partir do comportamento dos sujeitos ao desempenharem a tarefa. No presente caso, observações do desempenho dos sujeitos durante os períodos de linha de base

mostraram um menor número de erros no Procedimento B, o que pode defini-lo como sendo constituído de uma tarefa mais fácil do que a do Procedimento A. Assim, o que pode estar determinando a sensibilidade de diferentes procedimentos de linhas de base aos efeitos da radiação e outros agentes tóxicos é o nível de dificuldade da tarefa envolvida e não a sua complexidade.

Quanto à análise histológica do presente estudo, realizada após a exposição à dose acumulada total de 21,5 Gy, os resultados confirmam os dados radiobiológicos disponíveis. O sistema nervoso central mostra radiorresistência a repetidas exposições a doses subletais de radiação ionizante comparado a outros sistemas. O tecido neural adulto é relativamente insensível a radiação ionizante em termos anatômicos e fisiológicos (Harlow, 1962).

Por outro lado, as maiores alterações provocadas por doses subletais de radiação ionizante são encontrados na medula óssea (cf. Mele & McDonough, 1995; Rugh, Isaac & Leary, 1962). Os danos causados ao sistema hemolinfopoético (sistema formador do sangue) é um dos principais efeitos de repetidas exposições a doses subletais de radiação. O número de leucócitos e hemácias apresentam significativa redução, em geral, 24 horas após a exposição à radiação, sendo este efeito acompanhado de um rebaixamento de atividade geral do organismo. Maier & Landauer (1989) mostram que exposições a doses de 5 a 10 Gy diminuem todos os elementos constituintes do sangue resultando em anemia e supressão comportamental até que as células do sangue se recuperem. Além disso, os efeitos adversos no mecanismo imunológico impedem que o organismo gere anticorpos contra possíveis infecções oportunistas, uma das causas que pode provocar morte após o organismo ser irradiado (Fields, 1957).

Os efeitos observados no tubo digestivo são também consistentes com a literatura radiobiológica, que mostra que a exposição a doses acima do $LD^{50/30}$ podem provocar danos nos sistema digestivo (Henshaw, 1962). Um dos principais efeitos produzidos pela

radiação é conhecido como “síndrome generalizada da radiação”, caracterizada por sintomas tais como diarreia, mudança celular sanguínea ou patologia gastrointestinal, como, por exemplo, hemorragia intestinal (Haley & Snider, 1962).

As alterações observadas nos testículos dos animais utilizados no presente estudo refletem informações conhecidas sobre o efeito da radiação no sistema reprodutivo humano. No homem, entre os efeitos determinísticos da exposição aguda à radiação gama, está a esterilidade total provocada pela exposição localizada nos testículos (de 3,5 a 6,0 Gy) e nos ovários de (2,5 a 6,0 Gy). Cabe lembrar que o $LD^{50/60}$ para o homem é de 4,5 Gy, enquanto para o rato $LD^{50/30}$ varia entre 7,5 a 9,5 Gy (ICRP 60, 1990; Mickley et al., 1988).

As alterações que a exposição de corpo inteiro à radiação produz em diferentes sistemas do organismo impõem dificuldades adicionais ao estudo dos efeitos radiológicos sobre a aprendizagem ou desempenho de tarefas. Nesse sentido, a sofisticação cada vez maior de procedimentos se faz necessária para que se possam diferenciar os efeitos da radiação envolvidos no processo comportamental daqueles produzidos por alterações no funcionamento do organismo, que envolvem, por exemplo, o sistema motor.

Os dados até agora existentes, embora não conclusivos, mostram relações sugestivas de uma alta resistência do organismo adulto aos efeitos da radiação sobre a aprendizagem. No entanto, com exceção dos procedimentos de aquisição repetida, os procedimentos mais frequentemente utilizados não permitem uma clara distinção entre aprendizagem e desempenho.

A continuação das pesquisas para avaliar os diferentes parâmetros radiológicos, ambientais e comportamentais envolvidos nos efeitos da radiação ionizante buscam contribuir para aumentar o ainda escasso banco de dados sobre esses efeitos no comportamento operante, seja no nível humano ou seja no infra-humano. No âmbito dos

parâmetros experimentais envolvidos no presente estudo, sugere-se uma manipulação diferente na distribuição dos componentes de aquisição e desempenho. Em algumas sessões, após altas doses de radiação, alguns sujeitos quase não emitiram respostas na parte final da sessão, provavelmente devido aos efeitos anoréxicos e alterações motoras. Assim, a programação do componente de desempenho no início da sessão permitirá uma melhor avaliação dos efeitos da radiação nesse componente, mesmo com doses altas. A repetição dos componentes na sessão permitirá também uma melhor avaliação das interações entre os componentes e das relações dessas interações com os efeitos da radiação.

Outras pesquisas poderão também investigar a relação do efeito anoréxico produzido pela radiação com os comportamentos governados por esquemas de reforçamento, comparando o desempenho pós-radiação em sistemas alimentares de economia aberta ou fechada. No sistema de economia aberta, o sujeito tem acesso a alimentos tanto na sessão experimental quanto na gaiola viveiro, enquanto no sistema de economia fechada toda a ração alimentar deve ser obtida durante as sessões experimentais. Dados obtidos com esse tipo de arranjo experimental podem contribuir para a discussão sobre os efeitos anoréxicos relacionados à radiação, uma vez que os estudos nessa área têm utilizado apenas sistemas de economia aberta.

Todos os trabalhos até aqui realizados com o paradigma operante utilizaram, como forma de exposição, a radiação de corpo inteiro. Esse tipo de exposição, no entanto, pode produzir alterações em vários sistemas do organismo. Pesquisas futuras deveriam, também, avaliar os efeitos da radiação quando a exposição é localizada numa região específica do corpo, por exemplo, cabeça versus abdômen. Essas avaliações poderão contribuir para a identificação das diferentes modulações por parte dos diferentes sistemas dos efeitos da radiação sobre os comportamentos em estudo.

Além da pesquisa animal, estudos serão desenvolvidos com crianças com história de exposição à radiação. Um dos problemas apresentados pelas famílias envolvidas no incidente radioativo de Goiânia refere-se à readaptação das crianças na escola ou à sua “capacidade de aprendizagem”. A utilização de um procedimento de aquisição repetida a ser aplicado nesse grupo de crianças poderá oferecer informações importantes a serem comparadas com a auto-avaliação das crianças ou com a avaliação dos pais sobre a capacidade de aprender de seus filhos. Esses estudos poderão contribuir em um contexto em que as pesquisas utilizam, em geral, medidas de auto-relato e observações clínicas, geralmente realizadas em situações que facilitam o controle do comportamento queixoso por variáveis sociais (cf. Gimenes & Vasconcelos, 1997b).

Os indivíduos com história de envolvimento em acidentes radioativos devem ser acompanhados ao longo da vida quanto ao seu estado geral de saúde. Inúmeras variáveis estão envolvidas entre a exposição à radiação e o surgimento de doenças como o câncer. As condições gerais de saúde do indivíduo exposto, o tipo de radiação e a dose da exposição são algumas das variáveis a serem consideradas. A relação probabilística existente entre a exposição à radiação e a contração de uma grave doença parece ser um estímulo discriminativo importante na manutenção de padrões específicos de comportamentos que merecem mais estudo. Alguns indivíduos podem apresentar padrões de comportamentos que caracterizam a síndrome da resposta à radiação (Vyner, 1983) e que, ao longo dos anos, podem trazer sérios problemas adaptativos. Estudos que analisem comportamentos emitidos pelos indivíduos envolvidos em procedimentos de descontaminação de áreas em acidentes radioativos também merecem mais atenção.

As pesquisas experimentais, além de identificarem e determinarem a relação dos diversos parâmetros envolvidos nos efeitos da radiação ionizante, têm como objetivo contribuir para uma maior compreensão das alterações comportamentais observadas após

um evento radioativo. Num momento em que a utilização da energia nuclear se difunde cada vez mais, precisamos estar preparados não só para avaliar os danos causados pela radiação mas também para desenvolver estratégias de intervenção que possam minimizar esses danos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ader, R., & Deitchman, R. (1972). Prenatal maternal X-irradiation: Maternal and offspring effects. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 78, 202-207.
- Aptekar, L., & Boore, J.A. (1990). The emotional effects of disaster on children: A review of the literature. *International Journal of Mental Health*, 19, 77-90.
- Arbit, J. (1961). Emotionality and avoidance conditioning to X radiation. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 54, 653-657.
- Barrett, J.E. (1984). Behavioural principles in psychopharmacology. In D.J. Sanger & D.E. Blackman, *Psychology in Progress. Aspects of Psychopharmacology* (pp.20-56). London: Methuen.
- Baum, A., Gatchel, R.J., & Schaeffer, M.A. (1983). Emotional, behavioral, and physiological effects of chronic stress at Three Mile Island. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 51, 565-572.
- Baum, A., Schaeffer, M.A., Lake, C.R., Fleming, R., & Collins, D.L. (1985). Psychological and endocrinological correlates of chronic stress at Three Mile Island. *Perspectives on Behavioral Medicine*, 2, 201-217.
- Berren, M.R., Beigel, A., & Ghertner, S. (1980). A typology for the classification of disasters. *Community Mental Health Journal*, 16, 103-111.
- Blackman, D.E., & Pellon, R. (1993). The contributions of B.F. Skinner to the interdisciplinary science of behavioral pharmacology. *British Journal of Psychology*, 84, 1-25.
- Boren, J.J. (1969). Some variables affecting the superstitious chaining of responses. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 959-969.

- Boren, J.J., & Devine, D.D. (1968). The repeated acquisition of behavioral chains. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*, 651-660.
- Bromet, E.J. (1989). The nature and effects of technological failures. In R. Gist & B. Lubin (Eds.), *Psychological Aspects of Disaster* (pp. 120-139). New York: Wiley.
- Carroll, M.E., Dinc., H.I., Levy, C.J., & Smith, J.C. (1975). Demonstrations of neophobia and enhanced neophobia in the albino rat. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *89* 457-467.
- Casarett, A.P. (1973). Swim-tank measurement of radiation- induced behavioral incapacitation. *Psychological Reports*, *33*, 731-736.
- Collins, D.L., & Carvalho, A.B. (1993). Chronic stress from the Goiania ¹³⁷Cs radiation accident. *Behavioral Medicine*, *18*, 149-157.
- Cohn, J., Cox, C., & Cory-Slechta, D.A. (1993). The effects of lead exposure on learning in a multiple repeated acquisition and performance schedule. *Neurotoxicology*, *14*, 329-346.
- Davidson, L.M., & Baum, A. (1986). Chronic stress and posttraumatic stress disorders. *Journal of Consulting Clinical Psychology*, *54*, 303-308.
- Davidson, L.M., Baum, A., & Collins, D.L. (1982). Stress and control-related problems at Three Mile Island. *Journal of Applied Social Psychology*, *12*, 349-359.
- Dohrenwend, B.P., Dohrenwend, B.S., Warheit, G.J.; Bartlett, G.S., Goldsteen, R.L., Goldsteen, K., & Martin, J.L. (1981). Stress in the community: A report to the president's commission on the accident at Three Mile Island. *Annals New York Academy Sciences*, *365*, 159-174.

- Fibiger, H.C., Zis, A.P., & McGeer, E.G. (1973). Feeding and drinking deficits after 6-hydroxydopamine administration in the rat: Similarities to the lateral hypothalamic syndrome. *Brain Research*, *55*, 135-148.
- Fields, P.E. (1957). The effects of whole-body X radiation upon activity drum, straightaway, and maze performances of white rats. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *50*, 386-391.
- Furchgott, E. (1963). Behavioral effects of ionizing radiations: 1955-1961. *Psychological Bulletin*, *60*, 157-199.
- Furchtgott, E., & Wechkin, S. (1962). Avoidance conditioning as a function of prenatal X-irradiation and age. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *55*, 69-72.
- Furchtgott, E., Echols, M., & Openshaw, J.W. (1958). Maze learning in pre and neonatally X-irradiated rats. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *51*, 178-180.
- Garcia, J., & Kimeldorf, D.J. (1960). Some factors which influence radiation-conditioned behavior in rats. *Radiation Research*, *12*, 719-727.
- Garcia, J., Kimeldorf, F.J., & Koelling, R.A. (1955). Conditioned aversion to saccharin resulting from exposure to gamma radiation. *Science*, *122*, 157-158.
- Gazarra, R.A., & Altman, J. (1981). Early postnatal X-irradiation of the hippocampus and discrimination learning in adult rats. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *95*, 484-495.

- Gimenes, L.S., Guimarães, A.E.R., Bastos, J.C.M., Rodrigues, A.V., Brandão, A.M., & Caballero, K.C. (1998, novembro). *Effects of ionizing radiation on simple visual discrimination in rats*. Trabalho apresentado no IV International Congress on Behaviorism and the Sciences of Behavior, Sevilha, Espanha.
- Gimenes, L.S., & Vasconcelos, L.A. (1992, outubro). *Radiação ionizante e contingências operantes*. Trabalho apresentado na XXII Reunião de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia, Ribeirão Preto, SP.
- Gimenes, L.S., & Vasconcelos, L.A. (1997a, outubro). *Toxicologia comportamental: contribuições dos estudos com radiação ionizante*. Trabalho apresentado na XXVII Reunião de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia, Ribeirão Preto, SP.
- Gimenes, L.S., & Vasconcelos, L.A. (1997b). Los desastres radiactivos y sus efectos a largo plazo: El caso Césio-137. *Desastres & Sociedad*, 8, 55-62.
- Gimenes, L.S., Vasconcelos, L.A., Brandão, A.M., Tubino, C.A., Nogueira, T.N. & Caballero, K.C.S. (1997, outubro). *Desempenho e aquisição repetida de seqüências de respostas em ratos: Alguns efeitos da radiação ionizante*. Trabalho apresentado na XXVII Reunião de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia, Ribeirão Preto, SP.
- Gimenes, L.S., Vasconcelos, L.A., & Goulart, F.B. (1991, May). *Effects of ionizing radiation on operant performance by rats under interval schedules of reinforcement*. Trabalho apresentado na XVII Annual Convention of the Association for Behavior Analysis, Atlanta, GA.
- Gist, R., & Lubin, B. (1989). *Psychosocial aspects of disaster*. New York: Wiley.

- Goldiamond, I. (1966) Perception, language, and conceptualization rules. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem Solving* (pp. 183-224). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Haley, T.J., & Snider, R.S. (1962). *Response of the nervous system to ionizing radiation*. New York: Academic Press.
- Harlow, H.F. (1962). Effects of radiation on the central nervous system and on behavior- General survey. In T.J. Haley & R.S., Snider (Eds.), *Response of the nervous system to ionizing radiation* (pp.627-644). New York: Academic press.
- Harlow, H.F., Schrier, A.M., & Simons, D.G. (1956). Exposure of primates to cosmic radiation above 90,000 feet. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *49*, 195-200.
- Harting, J., & McMillan, D.E. (1976). Repeated acquisition of response sequences by pigeons under chained and tandem schedules with reset and non-reset contingencies. *The Psychological Record*, *26*, 361-367.
- Hartsough, D.M., & Savitsky, J.C. (1984). Psychology and Environmental policy at *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *49*, 60-65. a crossroads. *American Psychologist*, *39*, 1113-1122.
- Hendee, W.R. (1996). *Radiation Therapy Physics*. St. Louis: Mosby.
- Henshaw, P.S. (1962). General survey-Functional changes in the nervous system induced by ionizing radiations. In T.J. Haley & R.S., Snider (Eds.), *Response of the nervous system to ionizing radiation* (pp.489-502). New York: Academic press.
- Hicks, S.P (1958). Radiation as an experimental tool in mammalian developmental neurology. *Physiological Reviews*, *38*, 337-356.

- Hunt, W.A. (1983). A comparative effects of exposure to high-energy electrons and gamma radiation on active avoidance behavior. *International Journal of Radiation Biology*, 44, 257-260.
- ICRP 60 (1990). *1990 Recommendations of the international commission on radiological protection*. Oxford: Pergamon Press.
- International Atomic Energy Agency-IAEA (1987). *Absorbed doses determination in photon and electron beams* (Technical Reports series 277). Vienna: IAEA.
- Johns, H.E. (1983). *The Physics of radiology*. Springfield: Charles C. Thomas.
- Kohn, H.I., & Kallman, R.F. (1957). Acute lethality studies with the rat: The LD50, death rate, and recovery rate. *Radiation Research*, 7, 85-97.
- Lamson, B.G., Billings, M.S., Gambino, J.J., & Bennett, L.R. (1963). Effect of single and divided doses of X-irradiation on longevity in rats. *Radiation Research*, 18, 255-264.
- Lipetz, L.E. (1962). Effects of ionizing radiation on visual function. In T.J. Haley & R.S., Snider (Eds.), *Response of the nervous system to ionizing radiation* (pp.533-542). New York: Academic press.
- Maier, D.M., & Landauer, M.R. (1989). Effects of acute sublethal gamma radiation exposure on aggressive behavior in male mice: A dose-response study. *Aerospace Medical Association*, august, 774-778.
- Martin, J.C. (1968). Saccharin preference and aversion as a function of irradiation and supplier in the albino rat. *Psychonomic Science*, 13, 251-252.
- McDowell, A.A. (1958). Comparisons of distractability in irradiated and nonirradiated monkeys. *The Journal of Genetic Psychology*, 93, 63-72.

- McDowell, A.A. (1960). Transfer by normal and chronic whole-body irradiated monkeys of a single learned discrimination along a peripheral cue gradient. *The Journal of Genetic Psychology, 97*, 41-58.
- McDowell, A.A., & Brown, W.L. (1959). Latent effects of chronic whole-body irradiation upon the performance of monkeys on the spatial delayed-response problem. *The Journal of Genetic Psychology, 61*, 61-64.
- McDowell, A.A., Davis, R.T., & Steele, J.P. (1956). Application of systematic direct observational methods to analysis of the radiation syndrome in monkeys. *Perceptual and Motor Skills, 6*, 117-130.
- McDowell, A.A., White, R.K., Gallo, K.M., & Brown, W.L. (1965). A possible artifact in cyclic variations in radiosensitivity. *Perceptual and Motor Skills, 20*, 46.
- McLaurin, W.A. (1964). Post irradiation saccharin avoidance in rats as a function of the interval between ingestion and exposure. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology, 57*, 316-317.
- McLaurin, W.A., Farley, J.A., & Scarborough, B. (1963). Inhibitory effect of pre irradiation saccharin habituation on conditioned avoidance behavior. *Radiation Research, 18*, 473-478.
- Mele, P.C., Franz, C.G., & Harrison, J.R. (1988). Effects of sublethal doses of ionizing radiation on schedule-controlled performance in rats. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior, 30*, 1007-1014.
- Mele, P.C., Franz, C.G., & Harrison, J.R. (1990). Effects of ionizing radiation on fixed-ratio escape performance in rats. *Neurotoxicology and Teratology, 12*, 367-373.
- Mele, P.C., & McDonough, J.H. (1995). Gamma radiation-induced disruption in schedule-controlled performance in rats. *Neurotoxicology, 16*, 497-510.

- Mickley, G.A. (1980). Behavioral and Physiological changes produced by a supralethal dose of ionizing radiation: Evidence for hormone-influenced sex differences in the rat. *Radiation Research*, *81*, 48-75.
- Mickley, G.A. (1991) Can animals serve as useful models for research on the psychological effects of radiation exposure? In R.C., Ricks, M.E., Berger, & F.M., O'Hara Jr. (Eds.), *The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness III. The Psychological Perspective* (pp. 25-38). New York: Elsevier.
- Mickley, G.A., Bogo, V., Landauer, M.R., & Mele, P.C. (1988). Current trends in behavioral radiobiology. In: P.D., McCormack, C.E., Swenberg, & H. Bucker (Eds.), *Terrestrial Space Radiation and its Biological Effects* (pp. 517-536). Plenum Publishing Corporation.
- Mickley, G.A., Ferguson, J.L., Mulvihill, M.A., & Nemeth, T.J. (1989). Progressive behavioral changes during the maturation of rats with early radiation-induced hypoplasia of fascia dentata granule cells. *Neurotoxicology and Teratology*, *11*, 385-393.
- Mickley, G.A., & Teitelbaum, H. (1978). Persistence of lateral hypothalamic-mediated behaviors after a supralethal dose of ionizing radiation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *49*, 868-873.
- Mickley, G.A., Teitelbaum, H., Parker, G.A., Vieras, F., Dennison, B.A., & Bonney, C.H. (1982). Radiogenic changes in the behavior and physiology of the spontaneously hypertensive rat: Evidence for a dissociation between acute hypotension and incapacitation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *53*, 633-638.

- Minamisawa, T., Hirokaga, K., Sasaki, S., & Noda, Y. (1992). Effects of fetal exposure to gamma rays on aggressive behavior in adult male mice. *Journal of Radiation Research, 33*, 243-249.
- Morerschbaecher, J.M., Boren, J.J., & Schrot, J. (1978). Repeated acquisition of conditional discriminations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 29*, 225-232.
- Murphy, B.C., Ellis, P., & Greenberg, S. (1990). Atomic veterans and their families: Responses to radiation exposure. *American Journal of Orthopsychiatric, 60*, 418-427.
- National Research Council (1996). *Guide for the care and use of laboratory animals*. Washington: National Academy Press.
- Okuno, E. (1988). *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*. São Paulo: Harbra.
- O'Boyle, M. (1976). Suppression of mouse-killing in rats following irradiation. *Perceptual and Motor Skills, 42*, 511-514.
- Pereira, E.B. (1992). A radioatividade atmosférica natural. *Ciência Hoje, 14*, 42-50.
- Pizzarello, D.J., Witcofski, R.L., & Lyons, E.A. (1963). Variations in survival time after whole-body radiation at 2 times of day. *Science, 139*, 349.
- Reitan, J. (1993). Assessing complex radiation risks in Norway. In S. Stephens (Ed.), *Children and Radiation. Conference Report* (pp. 11-14). Trondheim, Norway: The Norwegian Centre for Child Research.
- Revusky, S.H. (1968). Aversion to sucrose produced by contingent X-irradiation: Temporal and dosage parameters. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology, 65*, 17-22.

- Richardson, R.B. (1990). Past and revised risk estimates for cancer induced by irradiation and their influence on dose limits. *The British Journal of Radiology*, 63, 235-245.
- Richelle, M.N. (1991). Behavioral pharmacology in continental Europe: A personal account of its origin and development. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 56, 415-423.
- Rugh, T.C., Isaac, W., & Leary, R.W. (1962). Behavioral and correlated hematologic effects of sublethal whole body irradiation. In T.J. Haley & R.S., Snider (Eds.), *Response of the nervous system to ionizing radiation* (pp.691-703). New York: Academic press.
- Sandman, P.M., Weinstein, N.D., & Klotz, M.L. (1987). Public response to the risk from geological radon. *Journal of Communication*, 37, 93-108.
- Sanger, D.J., & Blackman, D.E. (1984). Contemporary psychopharmacology: a review. In D.J. Sanger & D.E. Blackman (Eds.), *Psychology in Progress. Aspects of Psychopharmacology* (pp.200-216). London: Metthuen.
- Sasaki, S. (1992). Influence of dose and age of radiation exposure on attributable risk in mice. International conference on radiation effects and protection. *Comissão Nacional de Energia Nuclear-INIS-JP-008*, 223-228.
- Scaff, L.A.M. (1997). *Física da Radioterapia*. São Paulo: Sarvier.
- Schmidt, S.L. (1992). Anormalidades cerebrais induzidas pela irradiação gama no período pré-natal. *Comissão Nacional de Energia Nuclear-INIS-BR-3008*, 1-153.
- Schrot, J., Thomas, J.R., & Banvard, R.A. (1980). Repeated acquisition of four-member response sequences in rats. *Psychological Reports*, 47, 503-509.

- Sharp, J.C. (1961). Effects of fetal X irradiation on maze learning ability and motor coordination in albino rats. *The Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *54*, 127-129.
- Sienkiewicz, Z.J., Saunders, R.D., & Butland, B.K. (1992). Prenatal irradiation and spatial memory in mice: investigation of critical period. *International Journal of Radiation Biology*, *62*, 211-219.
- Silini, G. (1991). The problems of establishing a biological basis for the assessment of radiation risks. France, Paris: Organization for Economic Co-operation and development. *NEA Seminar*, *2*, 33-46.
- Smith, W.W., Higman, B.J., Mitchell, J.R. & Blount Jr., H.C. (1949). Effect of environmental temperature on the response of mice to whole-body Roentgen Radiation. *Science*, *110*, 498-501.
- Smith, J.C., Hollander, G.R., & Spector, A.C. (1981). Taste aversions conditioned with partial body radiation exposures. *Physiology and Behavior*, *27*, 903-913.
- Spector, A.C., Smith, J.C., & Hollander, G.R. (1981). A comparison of dependent measures used to quantify radiation-induced taste aversion. *Physiology and Behavior*, *27*, 887-901.
- Spector, A.C., Smith, J.C., & Hollander, G.R. (1983). The effect of postconditioning CS experience on recovery from radiation-induced taste aversion. *Physiology and Behavior*, *30*, 647-649.
- Stahl, W.R. (1960). Recent soviet work on reactions of the central nervous system to ionizing radiation. *Journal of Nervous and Mental Diseases*, *131*, 213-233.

- Stahl, W.R. (1962). Review of neurophysiologic and psychologic research on irradiation injury in the U.S.S.R. In T.J. Haley & R.S., Snider (Eds.), *Response of the nervous system to ionizing radiation* (pp.469-488). New York: Academic press.
- Tamaki, Y., & Inouye, M. (1976). Brightness discrimination learning in a Skinner box in prenatally X-irradiated rats. *Physiology and Behavior*, *16*, 343-348.
- Tamaki, Y., & Inouye, M. (1979). Avoidance of and anticipatory responses to shock in prenatally X-irradiated rats. *Physiology and Behavior*, *22*, 701-705.
- Tamaki, Y., & Inouye, M. (1981). Avoidance learning under delayed shock termination in prenatally X-irradiated rats. *Developmental Psychobiology*, *14*, 95-99.
- Tauhata, L., & Almeida, E.S. (1984). *Radiações Nucleares*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- Teitelbaum, P. (1971). The encephalization of hunger. In E. Stellar & J.M. Sprague (Eds.), *Progress in Physiological Psychology*, vol. 4 (pp. 319-350).
- Teitelbaum, P., & Epstein, A.N. (1962). The lateral hypothalamic syndrome: Recovery of feeding and drinking after lateral hypothalamic lesions. *Psychological Review*, *69*, 74-90.
- Teitelbaum, P., & Stellar, E. (1954). Recovery from the failure to eat produced by hypothalamic lesions. *Science*, *120*, 894-895.
- Tizard, B. (1986). The impact of the nuclear threat on children's development. In M. Richards & P. Light, *Children of Social Worlds* (pp. 236-256). Cambridge: Polity.
- Thompson, D.M. (1970). Repeated acquisition as a behavioral baseline. *Psychonomic Science*, *21*, 156-157.
- Thompson, D.M. (1971). Transition to a steady state of repeated acquisition. *Psychonomic Science*, *24*, 236-238.

- Thompson, D.M. (1973). Repeated acquisition as a behavioral baseline for studying drug effects. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, *184*, 506-514.
- Thompson, D.M. (1975). Repeated acquisition of response sequences: Stimulus control and drugs. *Journal of the Experimental analysis of Behavior*, *23*, 429-436.
- Thompson, D.M. (1978). Stimulus control and drug effects. In: D.E., Blackman & D.J., Sanger (Eds.), *Contemporary Research in Behavioral Pharmacology* (pp.159-207). New York: Plenum Press.
- Thompson, D.M., & Moerschbaeche, J.M. (1979a). An experimental analysis of the effects of d-amphetamine and cocaine on the acquisition and performance of response chains in monkeys. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *32*, 433-444.
- Thompson, D.M., & Moerschbaeche, J.M. (1979b). Drug effects on repeated acquisition. In T. Thompson & P.B. Dews (Eds.), *Advances in behavioral pharmacology: Vol.2* (pp. 229-259). New York: Academic Press.
- Thompson, D.M., & Moerschbaeche, J.M. (1980). Effects of d-Amphetamine and cocaine on strained ratio behavior in a repeated-acquisition task. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *33*, 141-148.
- Thompson, D.M., Moerschbaeche, J.M., & Winsauer, P.J. (1983). Drug effects on repeated acquisition: Comparison of cumulative and non-cumulative dosing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *39*, 175-184.
- Tsai, L.S., & Chandler, F. (1971). Effects of cranial X-irradiation upon one-trial reversal learning in white rats. *Psychological Reports*, *29*, 1327-1334.

- Upton, A.C. (1957). Ionizing radiation and the aging process. *Journal of Gerontology*, 12, 303-313.
- Urner, A.H. & Brown, W.L. (1960). The effect of gamma radiation on the reorganization of a complex maze habit. *The Journal of Genetic Psychology*, 97, 67-76.
- Vasconcelos, L.A.(1995). Considerações sobre eventos radioativos e seus efeitos psicossociais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 11, 243-248.
- Vasconcelos, L.A., & Gimenes, L.S. (1996, outubro). *Aquisição repetida: desempenho em esquema múltiplo aquisição-aquisição*. Trabalho apresentado na XXVI Reunião Anual de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia. Ribeirão Preto, SP.
- Vasconcelos, L.A., Gimenes, L.S., Brandão, A.M., Bezerra, A.C.A., Dacanal, J.N., Campos, L.M., & Goulart, F.B. (1995, outubro). *Irradiação ionizante e o desempenho de ratos sob esquema concorrente VI-VI*. Trabalho apresentado na XXV Reunião Anual de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia. Ribeirão Preto, SP.
- Vasconcelos, L.A., Gimenes, L.S., Magalhães, E.R., Santos, A.C.D., Macedo, J.L., Brandão, A., & Goulart, F.B. (1993, outubro). *Efeitos de doses subletais de irradiação ionizante sobre o desempenho em intervalo variável em ratos*. Trabalho apresentado na XXIII Reunião Anual de Psicologia, da Sociedade Brasileira de Psicologia. Ribeirão Preto, SP.
- Vasconcelos, L.A., Gimenes, L.S., & Todorov, J.C. (1993, dezembro). *Participação em evento radioativo: um estudo experimental dos efeitos sobre tomada de decisão em situação de risco*. Trabalho apresentado no II Simpósio Internacional sobre o Acidente Radioativo com Césio-137, Goiânia, GO.

- Vyner, H.M. (1983). The psychological effects of ionizing radiation. *Culture, Medicine and Psychiatry*, 7, 241-261.
- Vyner, H.M. (1988). The psychological dimensions of health care for patients exposed to radiation and the other invisible environmental contaminants. *Social Science Medical*, 27, 1097-1103.
- Yochmowitz, M.G., & Brown, G.C. (1977). Performance in a 12-hour, 300-Rad profile. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 48, 241-247.
- Wahlström, B. (1992). Radiation and health: Some facts about radiation. Bangkok, Thailand: Highlights of proceedings from IAEA Public information Regional Seminars. *Comissão Nacional de Energia Nuclear - INIS-mf-13369*, 33-39.
- Winsauer, P.J., & Mele, P.C. (1993). Effects of sublethal doses of ionizing radiation on repeated acquisition in rats. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 44, 809-814.
- Winsauer, P.J., Thompson, D.M., & Moerschbaecher, J.M. (1985). Comparison of drug effects on fixed-ratio performance and chain performance maintained under a second-order fixed-ratio schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 44, 367-376.
- Winsauer, P.J., Verrees, J.F., O'Halloran, K.P., Bixler, M.A., & Mele, P.C. (1994). Effects of chlordizepoxide, 8-OH-DPAT and ondansetron on radiation-induced decreases in food intake in rats. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 270, 142-149.
- World Health Organization-WHO (1992). *Psychological consequences of disasters-prevention and management*. Geneva: Division of mental health.