



COPPE/UFRJ

UMA TAREFA DE ATENÇÃO PODE CONDUZIR INVOLUNTARIAMENTE O
RITMO RESPIRATÓRIO?

Ana Lúcia Nunes Diniz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadores: Frederico Caetano Jandre de Assis
Tavares
Antonio Giannella Neto

Rio de Janeiro
Junho de 2010

UMA TAREFA DE ATENÇÃO PODE CONDUZIR INVOLUNTARIAMENTE O
RITMO RESPIRATÓRIO?

Ana Lúcia Nunes Diniz

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

Examinada por:

Prof. Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares, D.Sc.

Prof. Antonio Giannella Neto, D.Sc.

Prof. Jurandir Nadal, D.Sc.

Prof. Walter Machado-Pinheiro, D.Sc.

Prof.^a Gabriela Guerra Leal de Souza, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2010

Diniz, Ana Lúcia Nunes

Uma Tarefa de Atenção Pode Conduzir Involuntariamente o Ritmo Respiratório?/Ana Lúcia Nunes Diniz. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIII, 100 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Frederico Caetano Jandre de Assis
Tavares

Antonio Giannella-Neto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Biomédica, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 75-81.

1. Interações Cardiorrespiratórias. 2. Arritmia Sinusal Respiratória. 3. Tarefas de Atenção. I. Tavares, Frederico Caetano Jandre de Assis *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Biomédica. III. Título.

DEDICATÒRIA

Dedico esse trabalho a todos que eu amo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para que eu alcançasse o meu objetivo.

Agradeço aos meus familiares, mãe, Xande, Paty, pelo apoio, carinho e compreensão durante todos esses anos, ao meu pai, o Júnior e a Déia que apesar da distância, sempre estiveram ao meu lado. Aos meus avôs, tios, tias e primos.

Agradeço as minhas “amigas irmãs” e ao Rafael, por estarem sempre ao meu lado, com a Aninha “nerd” e a Aninha “festeira”. E me incentivarem nos momentos difíceis, afinal no fim tudo dá certo!

Agradeço aos meus companheiros da turma PEB-2007, principalmente, a Fê, Gabi, Carol, Beta e o Ângelo, a companhia de vocês acrescentou muita na minha trajetória. Aos amigos do LEP, Fabiana, Camila, Patrícia, Thiago (Obrigada pela ajuda nas rotinas do MatLab), Marcelo, Bruno, Jesus, Gabriel, Léo, Neto, Edil. Ao Luciano, obrigada pela ajuda na instrumentação, com os computadores, o ECG e outros equipamentos que resolveram não funcionar na hora do experimento, e sempre tentando me explicar o que escangalhou!!!!

Agradeço ao Prof. Walter pela paciência, calma, e disposição e na colaboração para a realização do protocolo experimental e sempre disponível a me ajudar. Aos alunos e professores do LABNEC na UFF, pela agradável companhia que desfrutei durante alguns meses!

Agradeço aos professores e orientadores Giannella e Fred, pela sabedoria e orientação e por aguçar a minha curiosidade de pesquisar.

Agradeço ao Alessandro Beda por ter desenvolvido o *video game*, e pelo acompanhamento no início do projeto.

A todos os professores do PEB, pelo conhecimento compartilhado e por tentarem ensinar a “engenharia e matemática”, para os alunos da “saúde”.

Agradeço ao CNPQ pela bolsa de estudos.

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

UMA TAREFA DE ATENÇÃO PODE CONDUZIR INVOLUNTARIAMENTE O RITMO RESPIRATÓRIO?

Ana Lúcia Nunes Diniz

Junho/2010

Orientadores: Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares

Antonio Giannella Neto

Programa: Engenharia Biomédica

A arritmia sinusal respiratória (ASR) é empregada como um índice autonômico da atividade vagal cardíaca. As variações da ventilação pulmonar, particularmente do período respiratório (PR), podem gerar vieses nas estimativas e na interpretação do índice. Usualmente, a ventilação educada é empregada para limitar esse efeito e permitir a comparação inter e intra-individual, o que demanda porém controle voluntário da ventilação e consequente esforço mental suplementar e possivelmente alterações no controle autonômico cardíaco. O objetivo desse estudo foi investigar se uma tarefa de atenção repetida periodicamente poderia conduzir PR para um período similar, sem a alocação voluntária da atenção. Vinte voluntários participaram de um protocolo experimental intercalando blocos de repouso e de uma tarefa de atenção e tempo de reação. Observou-se redução no PR médio (4,0 s para 3,2 s), na variabilidade do PR (desvio-padrão de 1,2 para 0,5) e na amplitude média da ASR (76,1 ms para 59,4 ms), comparando-se tarefa e repouso. Como a ASR e o PR reduziram, não foi possível esclarecer o efeito da tarefa na ASR. Não houve a condução do PR pela periodicidade da tarefa de atenção, mas o padrão ventilatório tornou-se mais regular sugerindo que o emprego da tarefa de atenção propicia menor influência da ventilação na investigação da atividade autonômica.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

CAN AN ATTENTIONAL TASK INVOLUNTARILY ENTRAIN THE
RESPIRATORY RHYTHM?

Ana Lúcia Nunes Diniz

June/2010

Advisors: Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares

Antonio Giannella Neto

Department: Biomedical Engineering

The respiratory sinus arrhythmia (RSA) is employed as an autonomic index of cardiac vagal activity. The variations of breathing, particularly the respiratory period (RP), may confound the estimate and interpretation of this index. Usually paced breathing is employed to limit this effect, improving inter and intra-individual comparability, requiring however the control of ventilation and consequently the supplemental mental effort and possibly changing the autonomic control of the heart. The objective of this study is investigated if a periodical attentional task can entrain the RP to a similar period, without explicit voluntary attentional. Twenty subjects engaged in a protocol with interleaved rest and tasks blocks, in which an attentional reaction-time task was employed. Decreases in the mean RP (4.0 to 3.2 s), PR variability (std. dev. from 1.2 to 0.5 s) and mean amplitude of RSA (76.1 to 59.4 ms) were observed in task, compared to rest. As both RSA and RP decreased, the effect of task on RSA could not be elucidated. There wasn't entrainment of RP by the task period, but the ventilatory pattern became more steady suggesting that the task may reduce the influence of ventilation in investigating the autonomic activity.

ÍNDICE

I.	Introdução.....	1
I.1	Objetivos	4
II.	Revisão de Literatura.....	5
II.1	Geração e Controle do Ritmo Cardíaco	5
II.2	Índices Indiretos do Controle Autonômico Cardíaco.....	8
II.3	Arritmia Sinusal Respiratória.....	10
II.3.1	Gênese da Arritmia Sinusal Respiratória.....	11
II.3.2	Relação dos Parâmetros respiratórios com a ASR.....	14
II.3.2.1	Volume Corrente e Frequência Respiratória	15
II.3.2.2	Pressão Parcial Arterial de Gás Carbônico	16
II.4	Controle Ventilatório.....	18
II.5	Protocolos de Controle Ventilatório.....	20
II.6	Os Parâmetros Respiratórios nas Tarefas de Atenção.....	22
II.6.1	Condução do Sistema Respiratório	24
III.	Materiais e Métodos	26
III.1	Amostra.....	26
III.2	Instrumentação.....	26
III.3	Protocolo Experimental	28
III.3.1	Tarefa de Atenção	28
III.3.2	Protocolo	31
III.4	Processamento dos Sinais	33
III.4.1	Algoritmo para Detecção e Edição das Ondas R do ECG.....	33
III.4.2	Detecção dos Ciclos Respiratórios.....	34
III.4.3	Parâmetros Cardiorrespiratórios	37
III.4.3.1	Amplitude da Arritmia Sinusal Respiratória	38
III.4.4	Parâmetros do Desempenho na Tarefa de Atenção	41
III.5	Sincronismo entre a Ventilação e a Tarefa de Atenção.....	43

III.6	Análise Estatística.....	44
IV.	Resultados	46
IV.1	Parâmetros Cardiorrespiratórios	46
IV.2	Parâmetros do Desempenho na Tarefa Atencional.....	55
IV.3	Correlação entre os Parâmetros Cardiorrespiratórios e de Desempenho da Tarefa Atencional	59
IV.4	Sincronismo entre a Ventilação e a Tarefa de Atenção	60
V.	Discussão.....	65
V.1	Resultados Principais	65
V.2	Parâmetros Cardiorrespiratórios.....	65
V.3	Parâmetros do Desempenho na Tarefa Atencional	68
V.4	Sincronismo entre a Tarefa e a Ventilação.....	69
V.5	Limitações	70
V.6	Análises Suplementares.....	71
VI.	Conclusão	74
	Referências Bibliográficas.....	75
	ANEXO A	82
	ANEXO B	83
	ANEXO C	85
	ANEXO D	88
	ANEXO E.....	90
	ANEXO F.....	92
	ANEXO G	94

Lista de Símbolos

Símbolo	Significado	Unidade
AC	Acoplamento Cardiorrespiratório	
ASR	Arritmia Sinusal Respiratória	
A_{ASR}	Amplitude da Arritmia Sinusal Respiratória	ms
A_{ASRm}	Amplitude da Arritmia Sinusal Respiratória média	ms
A_{ASRmd}	Amplitude da Arritmia Sinusal Respiratória média, obtida pelo método da diferença	ms
CV	Coefficiente de Variação	
CA	Centro Apnêustico	
CR	Centro Respiratório	
CP	Centro Pneumotácico	
FC	Frequência Cardíaca	bpm
FC_m	Frequência Cardíaca média	bpm
FR	Frequência Respiratória	ipm
GRD	Grupo Respiratório Dorsal	
GRV	Grupo Respiratório Ventral	
I_{exp}	Início da Expiração	
I_{insp}	Início da Inspiração	
IR	Instantes dos picos das ondas R	s
IRR_{Max}	Intervalo R-R máximo	ms
IRR_{min}	Intervalo R-R mínimo	ms
LV	Linha Vertical	
NAV	Nodo Atrioventricular	

NSA	Nodo Sino-atrial	
NTS	Núcleo do Trato Solitário	
PA	Pressão Arterial	mmHg
PaCO ₂	Pressão Parcial Arterial de dióxido de carbono	mmHg
PaO ₂	Pressão Parcial Arterial de oxigênio	mmHg
PETCO ₂	Pressão de dióxido de carbono ao final da expiração	mmHg
PR	Período Respiratório	s
PR _m	Período Respiratório médio	s
PR _{dp}	Desvio-Padrão do Período Respiratório	s
Rdist	Distância de Coincidência	u.d.
Rdist _m	Distância de Coincidência média	u.d.
Rdist _{dp}	Desvio-Padrão da Distância de Coincidência	u.d.
SNA	Sistema Nervoso Autônomo	
SRR	Série dos intervalos R-R	
TH	Trajectoria Horizontal	
TV	Trajectoria Vertical	
VC	Volume Corrente	l
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca	
VFC _{AF}	Banda de alta frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca	
VFC _{BF}	Banda de baixa frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca	
Vnc	Sinal de vazão não calibrado	u.a.
V _i	Variância dos elementos da SRR em relação ao padrão médio da ASR	ms ²

$\Delta\Phi_i$	Desvio de fase	Rad
Φ^0	Fase inicial da ASR	Rad
\overline{X}^0	Padrão médio Inicial da ASR	ms

I. Introdução

O sistema nervoso autônomo (SNA) é a parte do sistema nervoso responsável pela manutenção da homeostasia, que pode ser definida como a manutenção do equilíbrio interno (GUYTON & HALL, 2006). Os componentes deste sistema são a divisão simpática, parassimpática e entérica que interagem continuamente no controle da musculatura lisa dos vasos sanguíneos, das vísceras e da musculatura estriada do coração, além de controlar a atividade glandular. No sistema cardiovascular, o SNA regula a frequência cardíaca e a força de contração do miocárdio, bem como o diâmetro dos vasos sanguíneos, controlando assim a pressão arterial. Este sistema é considerado o principal controlador da frequência cardíaca, devido à sua modulação direta sobre o nodo sinoatrial (NSA), e indireta, pelas glândulas supra-renais (GUYTON & HALL, 2006).

Atualmente, pesquisadores investigam métodos simples e não invasivos para avaliar a integridade e função do SNA. O intuito é a obtenção de índices que possam ser usados como critérios de riscos cardiovasculares, ou em outra perspectiva, como marcadores do esforço mental e do nível de atenção nas pesquisas psicofisiológicas. Visto que as mudanças nas oscilações da frequência cardíaca e na pressão arterial sistólica são moduladas pelo SNA, as variações nas oscilações destes sinais são usadas como índices da atividade autonômica (BERNTSON *et al.*, 1997).

Um importante índice autonômico cardíaco é a medida da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), a qual é definida como as variações da duração dos intervalos R-R consecutivos (TASK FORCE, 1996). As mudanças ocorridas nos padrões da VFC refletem as eferências das atividades simpática e parassimpáticas no NSA. Ademais, este índice reflete também a interação entre a respiração e o sistema

cardiovascular, conhecida como arritmia sinusal respiratória (ASR) (BERNTSON *et al.*, 1997).

A ASR é o fenômeno cardiorrespiratório caracterizado por flutuações da frequência cardíaca (FC) ou do intervalo R-R, relacionadas com a ventilação pulmonar (LARSEN *et al.*, 2010). Alguns estudos sugerem que a ASR possa ser um índice não invasivo da atividade vagal cardíaca. Uma das evidências experimentais foi a abolição da ASR em uma vagotomia funcional e com o emprego de bloqueadores colinérgicos (ECKBERG, 1983, GROSSMAN *et al.*, 1990). Entretanto, em pacientes anestesiados e sob ventilação mecânica há controvérsias sobre o uso da ASR como um índice vagal cardíaco (DEXTER & SHLOMO, 1994). Apesar destas evidências, ainda não está claro qual é o fator determinante na gênese da ASR, há indícios da participação de fatores centrais, como a modulação direta do centro respiratório no centro vagal cardíaco, e fatores periféricos, como os receptores de estiramento pulmonar que são ativados na inspiração pelas variações na pressão intratorácica (GROSSMAN, 1983).

A interferência na ASR de fatores como a frequência respiratória (FR), o volume corrente (VC), a pressão parcial arterial de gás carbônico (PaCO_2) e a carga de trabalho cognitivo, entre outros, são possíveis complicadores no esclarecimento da gênese da ASR. Em condições de equilíbrio, isto é, com a atividade metabólica e o tônus autonômico constantes, a magnitude da ASR reduz-se com o aumento da FR e eleva-se com o aumento do VC (HIRSCH & BISHOP, 1981). Além disso, um aumento na amplitude da ASR pode ser observado como um efeito direto do aumento da PaCO_2 (SASANO *et al.*, 2002). Logo, respirações rápidas e superficiais devem atenuar a ASR, e respirações lentas e profundas devem produzir níveis máximos de ASR. Ademais, em um protocolo realizando tarefas de atenção que induziram alterações da atividade autonômica, a variação da ASR esteve mais relacionada com os parâmetros

ventilatórios, em particular a FR, do que com as alterações no SNA relativas à tarefa (GROSSMAN & TAYLOR, 2007).

Adicionalmente, a realização de tarefas de atenção pode produzir modificações no padrão respiratório, e com isso alterar as características da ASR. Em tarefas com padrões respiratórios irregulares, como nas tarefas verbalizadas, a ventilação tem uma ampla variabilidade, o que pode ser um fator de confusão para a estimativa da ASR (BEDA *et al.*, 2007). Portanto, o uso deste índice durante tarefas com padrões respiratórios irregulares é questionável.

Uma solução encontrada foi a utilização de protocolos com o controle da FR e do VC. Um dos recursos descritos na literatura para obtenção do controle respiratório é a ventilação educada, estratégia na qual os indivíduos são instruídos a acompanhar sinais visuais ou auditivos periódicos (STARK *et al.*, 2000). Apesar do controle voluntário da respiração apresentar a possível vantagem de proporcionar um índice mais fidedigno da atividade e integridade do SNA, existem algumas desvantagens. O emprego do controle voluntário durante as tarefas de atenção demanda que se realize esforço mental também para manter o controle respiratório, o que pode levar a alterações no controle autonômico cardíaco. (RITZ & DAHME, 2006). Ademais, a literatura recente sugere para as pesquisas que investigam as interações cardiorrespiratórias utilizarem protocolos sem o controle voluntário da ventilação, pois a ventilação educada desconsidera a aferência cardíaca no controle ventilatório, enquanto os protocolos com a ventilação espontânea a interação bidirecional entre o sistema respiratório e cardíaco é mantida (LARSEN *et al.*, 2010).

Por outro lado, o sistema respiratório pode ser considerado como um oscilador que pode ser modulado com a entrada de outros osciladores. A literatura relata, por exemplo, a condução (*entrainment*) do padrão respiratório com o sistema locomotor

durante exercícios ou movimentos rítmicos, com a estimulação dos nervos aferentes somáticos, com a estimulação vestibular, com a aferência cardíaca e com a estimulação auditiva (LARSEN & GALLETLY, 2006).

Como relatado, é difícil esclarecer se as alterações observadas na ASR (modificações da atividade do SNA), durante as tarefas de atenção são devidas às mudanças no padrão respiratório, ao esforço mental exigido pela tarefa ou por ambos. Apesar de a ventilação educada minimizar a influência dos parâmetros ventilatórios, o controle da ventilação pode ser ineficiente quando associado à tarefa de atenção e mesmo gerar estresse no voluntário, além de que o controle voluntário da ventilação pode reduzir a influência cardíaca na modulação da ventilação. Portanto, formas alternativas e eficazes de controle do padrão respiratório sem a alocação da atenção para a ventilação tornam-se interessantes. Tendo em vista a possibilidade de a condução (entrainment) da respiração por um sistema secundário, uma possível solução seria a modulação da ventilação por um estímulo aferente ou por uma tarefa, ou associação de ambos.

I.1 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho foi investigar a modulação do período respiratório (PR) para um período pré-determinado por meio de uma tarefa, sem a alocação voluntária da atenção para a ventilação. Além da modulação do PR, visou-se ainda a analisar a variabilidade do PR, para verificar a ocorrência de um padrão ventilatório mais regular, durante os blocos da tarefa. Adicionalmente, neste trabalho buscou-se analisar a ASR no domínio do tempo, nas diferentes etapas do protocolo experimental (repouso e tarefa) e investigar a ocorrência de sincronismo entre a ventilação e a tarefa de atenção.

II. Revisão de Literatura

II.1 Geração e Controle do Ritmo Cardíaco

O coração possui estruturas especializadas na gênese e condução da atividade elétrica que promovem a sua contração rítmica. No átrio direito, situa-se o nodo sinoatrial (NSA), onde é gerada a atividade elétrica cardíaca espontânea. Primeiramente, a atividade elétrica propaga-se por todo NSA, e imediatamente, para os átrios, até alcançar o nodo átrio ventricular (NAV). A condução é lenta no NAV e no feixe átrio ventricular, o que permite o enchimento ventricular antes de sua contração. Ao chegar às fibras de *Purkinje*, a condução da atividade elétrica é quase imediata para todo o sistema ventricular (GUYTON & HALL, 2006).

Em condições normais, o NSA é considerado o marca-passo cardíaco, tendo a capacidade de iniciar e regular os batimentos cardíacos. As fibras do NSA apresentam menor negatividade em comparação com outras células cardíacas. Essas fibras também são caracterizadas por apresentarem despolarização lenta. Inicialmente, ocorre a inativação dos canais rápidos de Na^+ e a corrente de influxo lenta de Na^+ eleva gradualmente o potencial de repouso, e então, ocorre a ativação dos canais de Ca^{++} , o que aumenta a velocidade de despolarização até gerar o potencial de ação. A repolarização das fibras é realizada pela inativação dos canais de Na^+ e Ca^{++} e pela corrente de efluxo de K^+ , por meio dos canais sensíveis à tensão, o que provoca a redução do potencial de membrana. Essa hiperpolarização não é mantida, porque décimos de segundos após o fim do potencial de ação, os canais de K^+ são desativados e a corrente de influxo lenta de Na^+ torna-se superior (BERNE & LEVY, 2000). A fase de despolarização lenta das fibras do NSA é a mais rápida das estruturas cardíacas com automatismo, portanto o NSA gera a maior frequência de impulsos elétricos.

A inervação do coração é realizada pelo sistema nervoso autônomo (SNA). Tanto a divisão simpática quanto a parassimpática influenciam a modulação da frequência cardíaca (FC), da condução átrio ventricular, e da força de contração ventricular (AIRES, 1999). A inervação parassimpática (vagal) cardíaca origina-se no bulbo, em células situadas no núcleo ambíguo, e é conduzida pelo nervo vago até as células da superfície epicárdica ou das paredes do coração. Incide principalmente nos NSA e NAV, e em menor extensão nos músculos atriais e ventriculares (GUYTON & HALL, 2006). Diferentemente, a inervação simpática origina-se nas colunas intermédio-laterais dos cinco ou seis segmentos torácicos superiores e de um ou dois segmentos cervicais inferiores da medula espinhal e distribui-se extensamente por todas as câmaras cardíacas, inervando os NSA e NAV, os tecidos especializados em condução e o miocárdio (BERNE & LEVY, 2000).

Os gânglios autonômicos simpáticos e parassimpáticos são colinérgicos, isto é, os neurônios pré-ganglionares liberam a acetilcolina como neurotransmissor. No entanto, os neurotransmissores entre os neurônios pós-ganglionares e os efetores autonômicos diferem em cada divisão do SNA. A estimulação dos nervos parassimpáticos do coração libera a acetilcolina nas terminações pós-ganglionares e a ativação simpática tem como neurotransmissor a noradrenalina (GUYTON & HALL, 2006).

A interação entre os neurotransmissores e os seus respectivos receptores produz efeitos diversos sobre o ritmo e a condução da atividade elétrica cardíaca. A liberação da acetilcolina pelos nervos vagais provoca aumento da permeabilidade ao K^+ . O aumento do efluxo desse íon gera a hiperpolarização da célula cardíaca, o que torna o tecido menos excitável. A maior negatividade intracelular faz com que os intervalos entre as despolarizações sejam maiores, e assim, a FC diminui (AIRES, 1999). A

redução da excitabilidade do tecido também pode bloquear a condução no NAV pelo retardo da condução de impulsos entre as suas fibras (GUYTON & HALL, 2006). Outro efeito da estimulação parassimpática é a diminuição da contratilidade cardíaca, principalmente dos átrios.

Por outro lado, a liberação de noradrenalina pelos nervos simpáticos promove o aumento da permeabilidade da membrana ao Na^+ e Ca^{++} , produzindo potenciais de membrana menos negativos. Assim, ocorre uma redução do intervalo entre despolarizações sucessivas, produzindo o aumento da FC. Além disso, facilita a condução do NAV e aumenta a força de contração do miocárdio devido à entrada do Ca^{++} , que se envolve no ciclo das pontes cruzadas que ativam as forças entre os filamentos de actina e miosina para iniciar a contração (GUYTON & HALL, 2006). Portanto, a ativação vagal promove a bradicardia, a diminuição da força de contração atrial, e o bloqueio da condução átrio ventricular e, em oposição, a ativação simpática decorre em taquicardia, facilitação da condução átrio ventricular, e aumento da força de contração atrial e ventricular.

Diferentemente da visão clássica do SNA, uma teoria evolutiva mais recente propõe uma subdivisão do sistema parassimpático. De acordo com a Teoria Polivagal, em mamíferos, o sistema parassimpático é dividido em dois subsistemas, distintos anatômica, funcional e filogeneticamente (PORGES, 1995). O ramo vagal-ventral, mais recente e mielinizado, origina-se no núcleo ambíguo e conduz sua aferência para os músculos da laringe, faringe, faciais, e para o coração e pulmão (PORGES, 2001). O ramo vagal-dorsal, mais primitivo e não-mielinizado, origina-se no núcleo motor dorsal do vago e conduz sua aferência para os órgãos do sistema digestório, o coração e possivelmente os brônquios (PORGES, 2001). As vias vagais mielinizadas modulariam variações rápidas (aumento ou diminuição) no intervalo R-R que estariam relacionadas

com a respiração, causando uma interação cardiorrespiratória enquanto as não-mielinizadas produziram bradicardia (PORGES, 2001). A Teoria Polivagal que considera uma evolução do SNA, por meio de suas capacidades fisiológicas adaptativas, com o objetivo de promover um comportamento social. Assim, o sistema vagal primitivo seria ativado em estado comportamental de imobilização, como em situações de perigo ou medo, em que há a diminuição da atividade metabólica, enquanto o sistema vagal mais recente poderia regular o débito cardíaco rapidamente e inibir o comportamento de “luta e fuga” (ativação do simpático), com o intuito de promover o engajamento social (PORGES, 2001). No entanto, as interações cardiorrespiratórias parecem não ser restrita aos mamíferos, pois algumas espécies de peixes apresentam um sincronismo entre a respiração e os batimentos cardíacos (CAMPBELL *et al.*, 2005). Portanto, não há um consenso sobre a subdivisão do sistema parassimpático.

II.2 Índices Indiretos do Controle Autônomo Cardíaco

Os índices do controle autônomo do sistema cardiovascular apresentam diversas aplicações, desde a investigação da integridade do SNA, a construção de critérios de referência para riscos cardiovasculares, até o uso como marcadores da atividade mental em pesquisas psicofisiológicas (BERNTSON *et al.*, 1997). As medidas diretas desses índices têm limitações práticas e interpretativas, além de ser indispensável um procedimento invasivo com o uso de anestesia (TASK FORCE, 1996). Portanto, utilizam-se os métodos indiretos, principalmente quando empregados nas pesquisas psicofisiológicas, sendo alguns desses índices extraídos da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (BERNTSON *et al.*, 1997).

A VFC é definida como o fenômeno da variação da duração do ciclo cardíaco (intervalo R-R) (TASK FORCE, 1996). As atividades simpáticas e parassimpáticas

direcionadas ao NSA são caracterizadas por descargas síncronas em cada ciclo cardíaco, que podem ser moduladas por oscilações centrais (originadas no centro respiratório e vasomotor no bulbo) ou periféricas (movimentos respiratórios e oscilações na pressão arterial). A análise dessas oscilações permite a avaliação da função das atividades simpática e vagal (TASK FORCE, 1996). As respostas cardíacas parassimpáticas são mais rápidas e com um pequeno atraso, enquanto a simpática é lenta e com um atraso de 1 a 2 s (SAUL *et al.*, 1989). Desta forma, as atividades simpática e parassimpática contribuem diferentemente para os componentes periódicos da VFC, os quais convergem em algumas bandas de frequência, na faixa de 0 a 0,4 Hz. As diferenças nas respostas cardíacas em relação à ativação simpática e parassimpática parecem se dever ao processo cinético da interação entre o neurotransmissor e o receptor no NSA (BERNTSON *et al.*, 1997). A resposta da atividade vagal cardíaca é dependente da degradação da acetilcolina pela acetilcolinesterase (enzima rápida), que libera a colina para utilização (PYETAN *et al.*, 2003). Enquanto, a degradação da noradrenalina é predominantemente dependente de mecanismos de difusão e requer a ativação de uma proteína quinase.

A banda de baixa frequência da VFC (VFC_{BF}) varia de 0,05 Hz a 0,15 Hz. Não há um consenso na predominância de eferências do SNA: alguns autores consideram a VFC_{BF} como um marcador de ambas as divisões do SNA, e outros somente como um marcador do sistema simpático (TASK FORCE, 1996).

A banda de alta frequência da VFC (VFC_{AF}) varia de 0,15 Hz a 0,4 Hz. Usualmente, nessa banda ocorrem também as oscilações da frequência respiratória (FR), sendo as variações no ciclo cardíaco relacionado à atividade respiratória denominada arritmia sinusal respiratória (ASR). Para as FR usuais observa-se a ASR na

VFC_{AF}, porém BEDA *et al.* (2007) relataram que alguns voluntários com a FR baixa, isto é, menores que 8,5 ipm, apresentaram a ocorrência da ASR também na VFC_{BF}.

II.3 Arritmia Sinusal Respiratória

Tipicamente, a ASR é definida como o fenômeno cardiorrespiratório caracterizado pela redução no intervalo entre batimentos cardíacos na inspiração e aumento desse intervalo na expiração (GROSSMAN & TAYLOR, 2007). Porém, atualmente é definida como as flutuações da FC ou do intervalo R-R relacionados com a ventilação pulmonar (LARSEN *et al.*, 2010). A Figura II-1 apresenta um registro da ASR em um cão, acordado e em repouso, no qual é possível observar a aglomeração de batimentos na inspiração e uma dispersão na expiração.

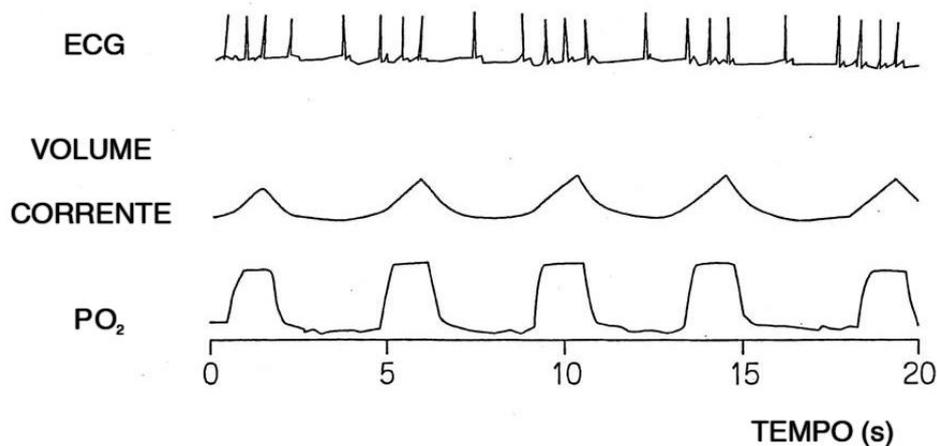


Figura II-1: Registro da ASR observada em um cão, acordado e em repouso. ECG: picos das ondas R; Volume Corrente: aumento (inspiração) e diminuição (expiração) do volume corrente; PO₂: pressão arterial de oxigênio. Adaptado de HAYANO *et al.*, 1996.

A ASR é mediada predominantemente pelo sistema parassimpático, sendo considerado um índice do tônus vagal cardíaco (RITZ, 2009). Uma das evidências

experimentais foi a abolição da ASR em uma vagotomia funcional e com o emprego de bloqueadores colinérgicos (ECKBERG, 1983, GROSSMAN *et al.*, 1990). Entretanto, em pacientes anestesiados e sob ventilação mecânica há controvérsias sobre o uso da ASR como um índice vagal cardíaco. DEXTER & SHLOMO, (1994) relataram que nesses pacientes, ocorre um aumento da atividade vagal causada pelo aumento da pressão arterial média, que não é observado na amplitude da ASR. Portanto, ainda não há um consenso na literatura sobre a ASR ser puramente um índice de atividade vagal cardíaca.

II.3.1 Gênese da Arritmia Sinusal Respiratória

A gênese da ASR é explicada por mecanismos centrais e periféricos, tais como a interação direta entre o centro cardíaco e respiratório no bulbo, os reflexos originados dos receptores de estiramento pulmonar, reflexos de Bainbridge, e do mecanismo barorreflexo. Portanto, parece resultar de diversas interações entre o sistema cardíaco e o respiratório.

O mecanismo central da gênese da ASR é explicado por uma integração direta entre o centro cardíaco e o respiratório no bulbo, de modo que alguns neurônios pré-ganglionares cardíacos possam ser modulados pelo centro respiratório (ECKBERG *et al.*, 1980). Enquanto há atividade no centro respiratório é possível observar as flutuações na FC, mesmo quando eliminados os movimentos respiratórios e as variações na pressão arterial (PA). Relata-se ainda que a FC, a PA e a atividade dos nervos simpáticos são maiores na inspiração e diminuem na expiração, estando as variações relacionadas com as respostas do centro respiratório (GROSSMAN, 1983).

Sugere-se que os receptores de estiramento pulmonar possam integrar um dos mecanismos na gênese da ASR. Esses receptores situam-se nos brônquios e

bronquíolos, e são sensíveis às variações na pressão transpulmonar. Assim, durante a inspiração (aumento do volume pulmonar) um mecanismo reflexo causa a aceleração da FC (GROSSMAN, 1983). Apoiando esse mecanismo, o estudo de TAHA *et al.*, (1995) comparou a ASR em pacientes que realizaram o transplante pulmonar com um grupo controle (normais e transplantados de fígado). Observaram o aumento da ASR com o aumento do volume corrente no grupo controle, enquanto que no grupo com transplante pulmonar não houve aumento significativo da ASR. Logo, os receptores de estiramento pulmonar podem desempenhar um papel na gênese da ASR.

Durante a inspiração, o reflexo de Bainbridge também é ativado. A diminuição da pressão intratorácica, ocorrida na inspiração, produz um aumento do retorno venoso para o lado direito do coração, o que conseqüentemente, provoca o estiramento dos receptores do átrio direito. Esses receptores quando estirados transmitem seus sinais aferentes pelo nervo vago para o centro vasomotor no bulbo, para então, os sinais eferentes serem conduzidos pelas duas divisões do SNA, produzindo aumento da FC e na força de contração (GUYTON & HALL, 2006).

O mecanismo barorreflexo também é um potente gerador de oscilações na VFC (BERNARDI *et al.*, 2001). Os barorreceptores, sensíveis às mudanças na PA, situam-se nas paredes arteriais do arco aórtico e do seio carotídeo. Seus corpos celulares localizam-se em gânglios parassimpáticos e seus axônios são incorporados aos nervos vago e glossofaríngeo terminando no núcleo do trato solitário (NTS). Durante a respiração normal, ocorre um aumento da PA na parte inicial da expiração e uma diminuição no restante do ciclo respiratório. Como relatado, a pressão intratorácica torna-se mais negativa na inspiração, e conseqüentemente, a pressão no átrio direito também fica negativa, o que produz um aumento no retorno venoso. Pode-se esperar, então, que pelo mecanismo de Frank-Starling o débito cardíaco e a PA aumentem

(GUYTON & HALL, 2006). A elevação da PA aumenta o estímulo aos barorreceptores, que por sua vez, enviam sinais excitatórios aos núcleos do nervo vago e inibitórios aos núcleos bulbares simpáticos. Como resultado ocorre diminuição da FC por excitação vagal e do retorno venoso, por inibição simpática (GUYTON & HALL, 2006). Inversamente, quando há diminuição da PA, a frequência de disparo dos barorreceptores para o NTS diminui, promovendo inibição vagal e excitação simpática, o que resulta em aumento da FC e do débito cardíaco. A Figura II-2 apresenta os mecanismos prováveis da gênese da ASR, um diagrama com as modulações da ventilação no centro vagal cardíaco.

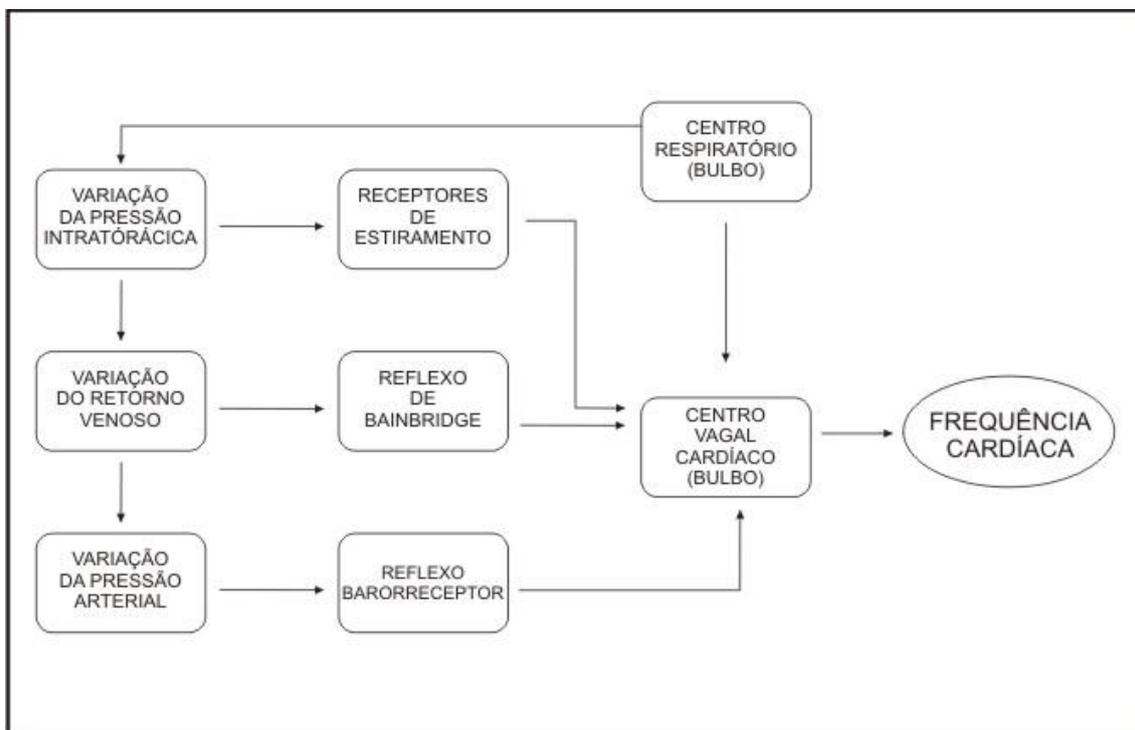


Figura II-2: Diagrama das modulações ventilatórias centrais e periféricas na FC, os possíveis mecanismos na gênese da ASR. Adaptado de AIRES, (1999).

Outra hipótese para a gênese da ASR é a da “porta respiratória” (ECKBERG, 2003). Um fenômeno continuamente variável de “abertura” e “fechamento” da atividade autonômica conduzido pela fase do ciclo respiratório (inspiração ou expiração). Para tal, os potenciais de membrana dos neurônios pré-ganglionares do SNA seriam alterados e

os seus estímulos de entrada modulados de acordo com a inspiração ou expiração. ECKBERG *et al.* (1980) estudaram a atividade dos barorreceptores em fases específicas do ciclo respiratório, no início, meio e fim da inspiração e expiração. Encontraram como resultado, a maior acentuação das respostas barorreflexas quando o estímulo barorreceptor foi efetuado no fim da inspiração e no início da expiração, tal qual apresentado na Figura II-3. Esse resultado sugere uma modulação dos barorreceptores em instantes determinados do ciclo respiratório.

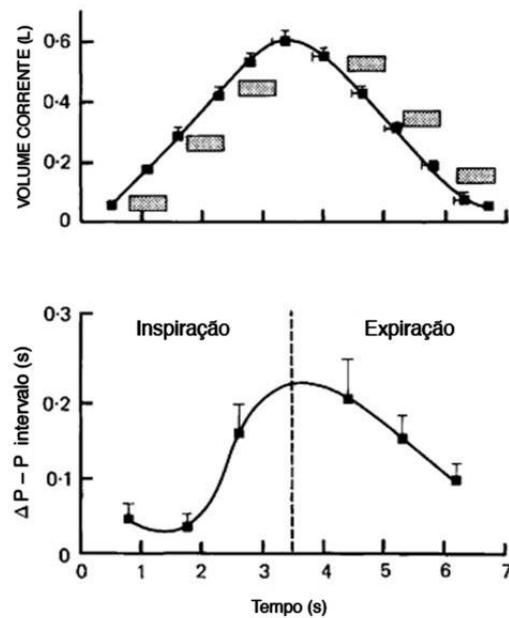


Figura II-3: Painel superior: retângulos representam os instantes e a duração em que foram aplicados os estímulos barorreceptores no ciclo respiratório. Painel inferior: quadrados representam a média da variação do intervalo P-P em resposta ao estímulo barorreceptor. Adaptado de ECKBERG, 2003.

II.3.2 Relação dos Parâmetros respiratórios com a ASR

A literatura indica que a ASR seja influenciada por parâmetros respiratórios como a FR e o volume corrente (VC) (BROWN *et al.*, 1993, HIRSCH & BISHOP, 1981) e por alterações gasométricas arteriais como a pressão parcial arterial de gás

carbono (PaCO_2) (SASANO *et al.*, 2002). Uma associação inversa é sugerida para a amplitude da ASR (A_{ASR}) e a FR, ou seja, com o aumento da FR observa-se uma diminuição da A_{ASR} . O oposto, o aumento da A_{ASR} pode ser observado com o aumento do VC e da PaCO_2 .

II.3.2.1 Volume Corrente e Frequência Respiratória

O estudo de HIRSCH & BISHOP, (1981) caracterizou a relação entre a A_{ASR} e o padrão respiratório, com o controle voluntário do VC e da FR. No primeiro experimento, o VC foi mantido pelos voluntários, enquanto respiravam em diversas FR. Os resultados obtidos sugerem que a ASR seja um fenômeno dependente da FR. Todos os indivíduos apresentaram a A_{ASR} constante em baixas FR (até 6 ipm), enquanto nas FR mais altas (10 ipm) a A_{ASR} apresentou um decaimento. No segundo experimento, o protocolo foi uma sequência de diferentes VC. Os resultados encontrados sugerem um aumento da A_{ASR} e com o aumento do VC.

A influência das variações da FR na A_{ASR} foi investigada por BROWN *et al.* (1993). Os autores observaram os efeitos de diferentes FR (6 até 24 ipm) sobre o intervalo R-R, em voluntários mantendo o VC constante. Nas FR maiores que 15 ipm, a potência espectral do intervalo R-R diminuiu expressivamente. A relação de dependência entre a A_{ASR} e a FR também foi avaliada por GRANJA-FILHO (2007) que realizou um protocolo com controle da FR (6, 12, e 20 ipm), do VC, observando uma diminuição na mediana da A_{ASR} (311, 136, e 74 ms) com o aumento da FR. A Figura II-4 apresenta a variação da amplitude da ASR (bpm) na faixa da FR de 1 a 40 (ipm) de um voluntário com o volume corrente constante.

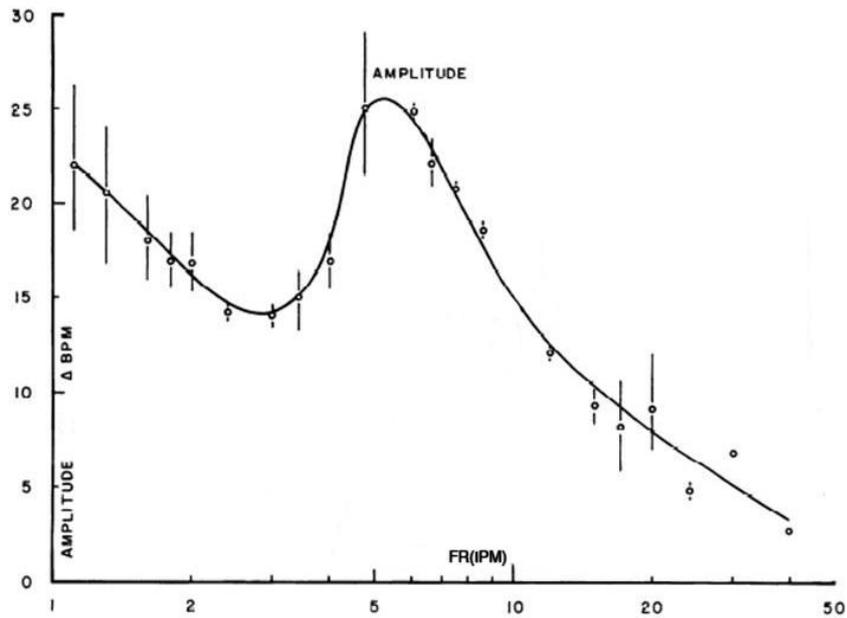


Figura II-4: Amplitude da ASR (bpm) na faixa da FR de 1 a 40 (ipm) para um voluntário de 36 anos. As linhas verticais na amplitude da ASR representam o desvio-padrão. Adaptado de ANGELONE & COULTER, 1964.

As influências respiratórias, em particular as variações na FR e no VC, apresentam-se como um complicador na análise da ASR. Alguns estudos observaram que a variação na A_{ASR} é associada aos parâmetros respiratórios, FR e VC, em mais de 50% (RITZ & DAHME, 2006, DENVER *et al.*, 2007). Em um protocolo realizando tarefas de atenção com prováveis alterações do tônus autonômico, a variação da ASR esteve mais relacionada com os parâmetros ventilatórios, em particular a FR, do que com as mudanças no tônus vagal cardíaco induzidas pela tarefa (GROSSMAN & TAYLOR, 2007). Portanto, devem ser consideradas as influências dos parâmetros ventilatórios na interpretação das mudanças observadas na ASR.

II.3.2.2 Pressão Parcial Arterial de Gás Carbônico

As alterações nas concentrações arteriais de O_2 , CO_2 , e de íons H^+ produzem variações nos parâmetros respiratórios (FR e VC) e no sistema cardiovascular. Os

quimiorreceptores periféricos situados no seio carotídeo e no arco aórtico são sensíveis às variações da pressão parcial arterial de oxigênio (PaO_2), da PaCO_2 , e da $[\text{H}^+]$. Esses quimiorreceptores enviam impulsos para o centro respiratório quando ocorre um aumento da PaCO_2 e da $[\text{H}^+]$ (GUYTON & HALL, 2006).

A estimulação dos quimiorreceptores periféricos produz uma resposta cardíaca dependente de mecanismos reflexos primários e secundários. O efeito primário principal é a bradicardia pela estimulação do centro cardíaco inibitório (vagal). Os efeitos do reflexo secundário são mediados pelo centro respiratório, tendo como resultado final a taquicardia (BERNE & LEVY, 2000).

A hipótese de SASANO *et al.* (2002) é que o efeito direto da PaCO_2 , com FR e VC constate, na ASR seria o aumento de sua amplitude, o que por sua vez melhoraria a eficiência da eliminação do CO_2 e da troca gasosa. O aumento da PaCO_2 promoveria as respostas cardíacas primárias na expiração, enquanto na inspiração predominariam as respostas cardíacas secundárias. Nesse protocolo, analisou-se a A_{ASR} em três níveis de pressão parcial de CO_2 ao final da expiração (PETCO_2) (30, 40 e 50 mmHg), com o VC, FR, e o fluxo inspirado de oxigênio constantes. Obteve-se um aumento da A_{ASR} com um aumento da PETCO_2 de 30 até 50 mmHg. O provável mecanismo responsável pelo aumento da A_{ASR} é a estimulação dos quimiorreceptores.

LARSEN *et al.* (2010) associaram o aumento da PaCO_2 ao aumento da A_{ASR} e da FC. Além disso, observaram uma maior concentração de batimentos cardíacos, preferencialmente, posicionados na inspiração durante a ventilação com hipercapnia, quando comparada com a normocapnia. No entanto, este achado não foi relacionado ao aumento da A_{ASR} , mas ao prolongamento da fase inspiratória e da relação do tempo inspiratório com o expiratório. Portanto, esse resultado não confirma a hipótese sobre o papel da ASR na eficiência da troca gasosa.

II.4 Controle Ventilatório

O controle da ventilação é determinado por vários fatores, incluindo a demanda ventilatória, para fornecer o oxigênio adequado para as células e eliminar o dióxido de carbono, e ainda fatores comportamentais (emoções, risos e choros), atividades físicas e mentais (GALLEGO *et al.*, 2001). Esse controle ventilatório pode ser involuntário, inconsciente, ou pode tornar-se voluntário, requerendo a atenção. A diversidade do comportamento ventilatório reflete a habilidade do sistema respiratório em adaptar o padrão ventilatório em várias condições comportamentais, físicas e patológicas. No entanto, este sistema complexo de integração entre o cérebro e outros centros superiores ainda não está muito esclarecido (WIENTJES *et al.*, 1998).

O centro respiratório (CR), localizado no bulbo e na ponte, parece gerar o ritmo respiratório, que é modulado por mecanismos reflexos originados em receptores periféricos e centrais. Esse centro pode ser dividido em quatro grupos com localização e funções diferentes.

O grupo respiratório dorsal (GRD) situado na parte dorsal do bulbo, no NTS, é composto por um grupo de neurônios que são ativos durante a inspiração, recebem a inervação do glossofaríngeo (IX par craniano) e do vago (X par craniano) e enviam impulsos para os nervos frênicos (AIRES, 1999). O ritmo básico da ventilação é desencadeado principalmente nesse grupo. Mesmo após a transecção dos nervos aferentes bulbares e a secção do tronco cerebral, o GRD emite descargas repetidas de potenciais de ação inspiratórios (GUYTON & HALL, 2006). O sinal inspiratório gerado pelo GRD é em rampa, ou seja, a intensidade do sinal que é transmitido para os músculos inspiratórios aumenta progressivamente até um pico e então cessa por 3 s, quando começa outro potencial de ação. Essa característica do sinal inspiratório permite o aumento uniforme do volume pulmonar durante a inspiração.

O centro pneumotáxico (CP) situa-se na parte dorso-lateral da ponte. Esse centro transmite impulsos para os neurônios inspiratórios que interrompem a rampa inspiratória e, assim, o enchimento pulmonar. A FR também é modulada pelo CP, visto que a limitação da inspiração reduz a expiração e todo o ciclo respiratório (GUYTON & HALL, 2006).

O grupo respiratório ventral (GRV) localiza-se no núcleo ambíguo e é constituído tanto por neurônios inspiratórios quanto expiratórios. O GRV permanece inativo durante a ventilação espontânea normal: seus neurônios são ativados quando há necessidade de altos níveis de ventilação pulmonar ou para ativação dos músculos abdominais (GUYTON & HALL, 2006).

O centro apnêustico (CA), situado na parte inferior da ponte, parece controlar a profundidade da ventilação, pois seus neurônios emitem sinais para o GRD prolongando o sinal inspiratório em rampa. Com isso, os pulmões permanecem cheios de ar.

Os receptores de estiramento pulmonar, descritos no item II.3.1 como possíveis participantes da gênese da ASR, também modulam a ventilação. Quando ocorre hiperdistensão pulmonar, esses receptores transmitem sinais pelo nervo vago para o GRD, que interrompe a rampa inspiratória, ou seja, impede qualquer inspiração adicional (reflexo de Hering Breuer). É provável que esse reflexo somente seja ativado com VC maiores que 1l, sendo um mecanismo protetor (WEST, 1996).

Os quimiorreceptores centrais e periféricos transmitem impulsos para o CR, e assim, modulam a ventilação, aumentando-a ou diminuindo-a para atender as necessidades ventilatórias do organismo. Os quimiorreceptores centrais localizam-se no bulbo e são sensíveis às mudanças na PaCO_2 e $[\text{H}^+]$. Quando ocorre uma elevação na PaCO_2 e $[\text{H}^+]$, a ventilação alveolar aumenta. Acredita-se que a $[\text{H}^+]$ seja o estímulo direto no CR. Entretanto, os íons H^+ não atravessam a barreira hematoencefálica

facilmente como o CO_2 . Portanto, o maior efeito no CR é da PaCO_2 . Já os quimiorreceptores periféricos situam-se nos corpos carotídeos e aórticos e são sensíveis à diminuição da PaO_2 . O seu efeito é o aumento da ventilação pulmonar (GUYTON & HALL, 2006). Esse controle metabólico da ventilação visa a manter a PaCO_2 , PaO_2 e o pH constante, apesar da variação do consumo de O_2 e da produção de CO_2 .

No controle voluntário da ventilação, a modulação da ventilação não depende somente do controle metabólico. O controle voluntário da ventilação origina-se no córtex cerebral. Uma evidência disso é que a estimulação do córtex motor primário induz a contração do diafragma e dos músculos intercostais (HOMMA & MASAOKA, 2008). Outras estruturas também parecem estar envolvidas, como o sistema límbico, o cerebelo e outras áreas corticais (área motora suplementar), formando interações complexas até o impulso ventilatório final (GALLEGO *et al.*, 2001). Ainda não é muito conhecida a associação do controle metabólico com o voluntário da ventilação.

II.5 Protocolos de Controle Ventilatório

Independentemente da razão pela qual se realiza a medição da ASR, os parâmetros respiratórios devem ser considerados na interpretação dos resultados. Como revisado no item II.3.2.1 a A_{ASR} diminui com o aumento da FR e aumenta com a expansão do VC. Logo, quando os voluntários realizam respirações rápidas e superficiais, a A_{ASR} é atenuada, enquanto nas respirações lentas e profundas é maximizada. Visto que as mudanças ocorridas na A_{ASR} podem refletir as variações dos parâmetros respiratórios, ao invés das alterações no SNA, é recomendada a utilização de protocolos respiratórios com o controle voluntário da FR e do VC (RITZ & DAHME, 2006, BROWN *et al.*, 1993).

A ventilação educada é uma estratégia que visa minimizar a influência das mudanças da ventilação sobre a ASR. Neste tipo de protocolo experimental, a FR é previamente determinada, e com a ajuda de um estímulo visual ou auditivo, o indivíduo controla voluntariamente a sua FR. Em alguns protocolos experimentais, esse estímulo visual é utilizado também para ajustar corretamente o VC para a FR determinada. O propósito desses protocolos é eliminar as flutuações na FR e VC, durante o experimento, e assim evitar que ocorram variações na ASR induzidas pela ventilação.

COOKE *et al.* (1998) compararam a ventilação espontânea com protocolos de ventilação educada com e sem o controle do VC. Os resultados sugerem que não houve diferença na A_{ASR} quando a FR foi fixada em 0,25 Hz (15 ipm), independente do controle do VC. Porém, foram relatadas falhas na interpretação dos resultados, devido à variabilidade do VC quando esse não foi controlado, visto que o controle do VC reduz a variabilidade inter-individual desse parâmetro (RITZ & DAHME, 2006).

Alguns outros estudos compararam índices autonômicos na ventilação espontânea e na ventilação educada pareada, que possuía a mesma FR que a espontânea. BLOOMFIELD *et al.* (2001) não observaram diferença significativa na VFC_{AF} , contudo houve um pequeno aumento no VC na ventilação educada que gerou um ligeiro aumento na VFC_{AF} . Por outro lado, no trabalho de STARK *et al.* (2000), os autores relataram uma diminuição na FC e na VFC na ventilação educada, o que pode significar uma alteração do controle autonômico cardíaco. PATWARDHAN *et al.* (1995) realizaram o controle voluntário da ventilação com a sobreposição da ventilação espontânea. O sinal ventilatório do controle voluntário deveria sobrepor o sinal ventilatório gravado da ventilação espontânea, sendo ambos visualizados no monitor. Os autores observaram diminuição da A_{ASR} e aumento da FC e da PA, associando esses resultados a ativação do SNA causada pelo ato do controle voluntário da ventilação.

O emprego da ventilação educada possibilita um índice mais fidedigno da atividade vagal cardíaca. No entanto, são encontradas algumas limitações, principalmente quando utilizada concomitantemente com outra tarefa atencional. A primeira limitação provém do uso dos sinais visuais e auditivos. Em condições de estresse ou ansiedade, não é garantido que os sinais de estímulo promoverão um ajuste adequado do VC para uma determinada FR, como ocorre no repouso (RITZ & DAHME, 2006). Além disso, pode ser árduo acompanhar um sinal visual durante tarefas que requeiram atenção visual. A segunda limitação é que o emprego simultâneo da ventilação educada com uma tarefa atencional pode prejudicar o desempenho de ambas as tarefas. Por fim, é possível a não adaptação do voluntário à FR determinada no protocolo, podendo levar ao estresse.

Em artigo recente, LARSEN *et al.* (2010) fizeram uma revisão sobre a influência de protocolos de ventilação controlada ou educada sobre a ASR e concluíram que apesar dos benefícios de se usar tal estratégia, os resultados devem ser interpretados com cautela. Tal afirmação justifica-se pelo fato do sistema cardiorrespiratório envolver um circuito bi-direcional, portanto, ao fazer protocolos de ventilação educada a ação do sistema cardiovascular sobre o respiratório, conhecido como acoplamento cardiorrespiratório (AC), é extinta. Finalmente, a utilização de protocolos de ventilação educada dificulta a extrapolação dos resultados da ASR para as condições de repouso (ventilação espontânea).

II.6 Os Parâmetros Respiratórios nas Tarefas de Atenção

As mudanças na atividade do SNA podem ser avaliadas nos testes de atenção. Porém, há evidências de que a ventilação possa gerar artefatos na estimativa dos índices autonômicos durante as tarefas de atenção (BEDA *et al.*, 2007, PINNA *et al.*, 2006).

Um aumento da FR pode ser verificado durante as tarefas com esforço mental (ALTHAUS *et al.*, 1998, WIENTJES *et al.*, 1998). As modificações no padrão respiratório induzidas pelas tarefas de atenção poderão produzir alterações dos espectros da VFC e das características da ASR não relacionadas com as modificações da ativação do SNA. Como foi relatado, porém, o controle da ventilação tem limitações quando empregado em associação com tarefas de atenção.

BEDA *et al.* (2007) observaram que alguns sujeitos apresentaram um longo período respiratório (acima de 6,7 s) e conseqüentemente uma baixa FR (abaixo de 0,15 Hz), produzindo um aumento no espectro de potência da VFC_{BF} , no repouso. Ao avaliar o espectro da VFC durante as tarefas de atenção, os autores encontraram uma diminuição na potência da VFC_{BF} no grupo com FR espontânea mais baixa e um aumento deste parâmetro no grupo com FR espontânea mais alta. Nas tarefas verbalizadas, houve uma diminuição da FR e do VC e a estimativa da ASR foi comprometida, devido ao aumento da VFC_{BF} . Nas tarefas realizadas em silêncio houve uma diminuição da VFC_{AF} e um aumento da FR. Conclui-se, portanto, que com padrões regulares da ventilação os índices devem ser mais fidedignos e comparáveis entre si.

A influência da ventilação e sua variabilidade na VFC durante a execução de tarefas mentais (cognitiva e de atenção mantida) foi observada também por ALTHAUS *et al.* (1998). Nos blocos da tarefa a FR aumentou e a VFC_{AF} e a VFC_{BF} diminuíram e a VFC só pode ser relacionada ao esforço mental quando as influências respiratórias foram eliminadas. O aumento da FR e diminuição da A_{ASR} também foram reportados por DUSCHEK *et al.* (2009) durante tarefas que envolviam tempo de reação, desempenho contínuo, além de relacionarem inversamente a A_{ASR} com o desempenho da tarefa. No entanto, o aumento da FR observado não foi considerado como um possível parâmetro de interferência na estimativa da ASR.

II.6.1 Condução do Sistema Respiratório

A condução (*entrainment*), também chamada de arrastamento, do sistema respiratório é descrito como a entrada de um sistema oscilatório secundário que guia o sistema oscilatório do padrão respiratório central. Caso as frequências dos dois sistemas sejam similares, ou múltiplos inteiros (relação entre os períodos, 1:1, 1:4, 1:8) um acoplamento tenderá a guiá-los em uma frequência relativa à condução do oscilador. A relação entre os períodos da ventilação e o outro sistema oscilatório pode variar de 1:1, 1:4, 1:8, entre outros. A condução relativa ocorre quando a condução do oscilador é incapaz de estabelecer uma fase exata entre os sistemas (HAAS *et al.*, 1986). Conforme já mencionado no Capítulo I, a literatura relata a condução do padrão respiratório com o sistema locomotor durante exercícios ou movimentos rítmicos, com a estimulação dos nervos aferentes somáticos, com a estimulação vestibular, com a aferência cardíaca e com a estimulação auditiva (LARSEN & GALLETLY, 2006).

BERNARDI *et al.*, (2006) relataram um aumento da FR em voluntários escutando músicas, principalmente quando o tempo da música (compassos/min) foi maior (clássica rápida e tecno). A condução observada entre a respiração e o tempo da música foi de 1:4 nas músicas lentas (clássica lenta e raga) e 1:8 nas rápidas. Ainda, reportaram que a condução nos músicos foi maior do que nos considerados não músicos. É provável que os músicos tenham um treinamento mais efetivo da aferência auditiva, o que pode resultar em um sinal aferente auditivo mais potente para o oscilador respiratório quando comparado aos não músicos (LARSEN & GALLETLY, 2006). A condução também foi observada na combinação de estímulos auditivos com o ato de tamborilar com um dedo no ritmo do estímulo auditivo (HAAS *et al.*, 1986). A adição do estímulo direcionado na tarefa (bater ritmado com o dedo) é sugerida como

um fator que diminui a entrada de ruídos no gerador do padrão central respiratório e que, por conseguinte, pode reduzir a variabilidade da respiração.

O mecanismo que produz essa condução da respiração ainda não é esclarecido. Alguns estudos sugerem um controle de pro - alimentação, isto é, que o córtex pode transmitir impulsos colaterais para o parabraquial, no CP, modulando os neurônios respiratórios (HAAS *et al.*, 1986, MORIN & VIALA, 2002). No sincronismo do sistema respiratório com o locomotor, sugere-se o mecanismo de realimentação, pelo qual os movimentos corporais estimulam os proprioceptores que transmitem impulsos excitatórios para o CR (POTTS *et al.*, 2005). Outras áreas cerebrais também podem estar envolvidas, como o hipotálamo.

Visto que o sistema respiratório pode ser conduzido por outros estímulos, talvez uma tarefa de atenção periódica, como o ato de tamborilar periódico, possa produzir um período respiratório similar nos voluntários. Com a redução da variabilidade intra- e inter-individual do padrão respiratório, as influências dos parâmetros respiratórios seriam minimizadas sem o emprego da ventilação educada, possivelmente eliminando suas desvantagens, como o controle voluntário da ventilação, o possível estresse no voluntário, a redução da modulação cardíaca na ventilação, entre outras.

III. Materiais e Métodos

III.1 Amostra

A amostra utilizada no presente estudo foi composta de 20 adultos jovens (18 a 35 anos, 13 do sexo feminino), com os seguintes critérios de exclusão: tabagismo, histórico de doenças pulmonares ou cardiovasculares, uso de medicamentos anti-hipertensivos, bloqueadores autonômicos, ansiolíticos ou qualquer outro medicamento que atue no sistema cardiovascular, pulmonar ou autônomo. Os voluntários foram orientados a não consumirem cafeína ou realizarem qualquer refeição até 3 horas antes do experimento.

O protocolo experimental foi realizado no Laboratório de Neurofisiologia do Comportamento, vinculado ao Depto. de Fisiologia e Farmacologia do Instituto Biomédico/UFF, com uma amostra de 20 voluntários. A amostra recrutada foi composta por alunos de graduação ou de pós-graduação. O protocolo experimental ocorreu no período entre 09:00 e 18:00 horas.

O projeto foi aprovado no Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina / Hospital Universitário Antônio Pedro, constituído nos termos da Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa. O número de aprovação do projeto é 0075.0.258.000-08. (cópia do parecer de aprovação no ANEXO A).

III.2 Instrumentação

Após a leitura e aceitação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no ANEXO B, os voluntários eram instruídos a sentar confortavelmente em uma cadeira, para serem equipados para o protocolo experimental. A cadeira ficava disposta em frente ao monitor do microcomputador, pelo qual os voluntários

visualizaram as instruções e etapas do protocolo experimental. O objetivo do experimento e o fato de se registrar o sinal ventilatório não foram relatados aos voluntários com o intuito de evitar a indução de mudanças nos parâmetros ventilatórios e para diminuir um provável estresse no voluntário (HAN *et al.*, 1997). As instruções para a realização do protocolo experimental foram idênticas para todos os voluntários e, apresentadas no monitor. A Figura III-1 apresenta uma esquematização da posição e instrumentação do voluntário durante o protocolo experimental.

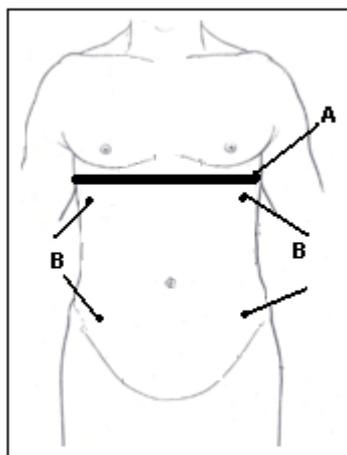


Figura III-1: Esquematização da posição e instrumentação, (A): cinta (sinal ventilatório) e (B): eletrodos do ECG (eletrocardiograma), do voluntário no protocolo experimental.

Durante todo o protocolo experimental, as aquisições dos sinais analógicos do eletrocardiograma (ECG) e ventilatório, por meio de uma cinta pletorespirométrica, foram realizadas simultaneamente com uma placa conversora analógico-digital modelo PCI-6023 E (*National Instruments*, EUA), numa frequência de amostragem de 1000 Hz por canal. O *software* de aquisição DAS (PINO *et al.*, 2004), escrito em linguagem LabVIEW 7.01 (*National Instruments*, EUA), foi utilizado para o armazenamento dos sinais digitalizados.

O sinal analógico do ECG foi obtido de um monitor de ECG modelo TC-500 (Ecafix, Brasil), com eletrodos Meditrace 200 (Kendall, Canadá) na derivação unipolar do tipo I modificada (com eletrodos nos 5^{os} espaços intercostais esquerdo e direito, na

linha mamilar) que apresenta ondas R definidas. Para evitar os artefatos de movimento no sinal do ECG, removeu-se o extrato córneo no local da fixação dos eletrodos com algodão embebido em álcool a 70%, e nos voluntários do sexo masculino realizou-se tricotomia com lâmina descartável, quando necessário.

O sinal ventilatório foi obtido por uma cinta pletismográfica provida de um transdutor piezo-elétrico (Icelera, Brasil). A saída analógica do pletismógrafo foi conectada a um amplificador, com um ganho variável entre 1 e 8, que foi ajustado para cada voluntário (ganho médio de 1,2). A cinta pletismográfica foi posicionada na altura do apêndice xifóide do voluntário, registrando as variações da circunferência torácica, sendo, portanto uma medida indireta e não calibrada do volume instantâneo do sistema respiratório.

Antes da realização do protocolo experimental, foi realizada uma etapa de verificação do sinal da cinta pletismográfica, para averiguar a presença de atrasos em relação ao método padrão de medida da vazão pulmonar (por meio de um pneumotacógrafo). Os voluntários foram distintos do protocolo experimental. A verificação esta descrita no ANEXO C.

III.3 Protocolo Experimental

III.3.1 Tarefa de Atenção

A tarefa de atenção correspondeu a um paradigma de tempo de coincidência que exige respostas motoras precisas e periódicas do voluntário. Com esse propósito, um *video game* foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Pulmonar do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ, em linguagem MATLAB 7.5 (*The MathWorks*, EUA). No *video game* (Figura III-2), um pequeno círculo azul

aparece na extremidade esquerda de um retângulo de largura igual a 1 unidade de distância (u.d.), permanece numa trajetória vertical (TV) senoidal por determinado tempo e subitamente passa a se deslocar em trajetória horizontal (TH) até a outra extremidade do retângulo. Durante a TH, o círculo passa sobre uma linha vertical (LV) localizada a 0,8 u.d. da extremidade esquerda do retângulo.

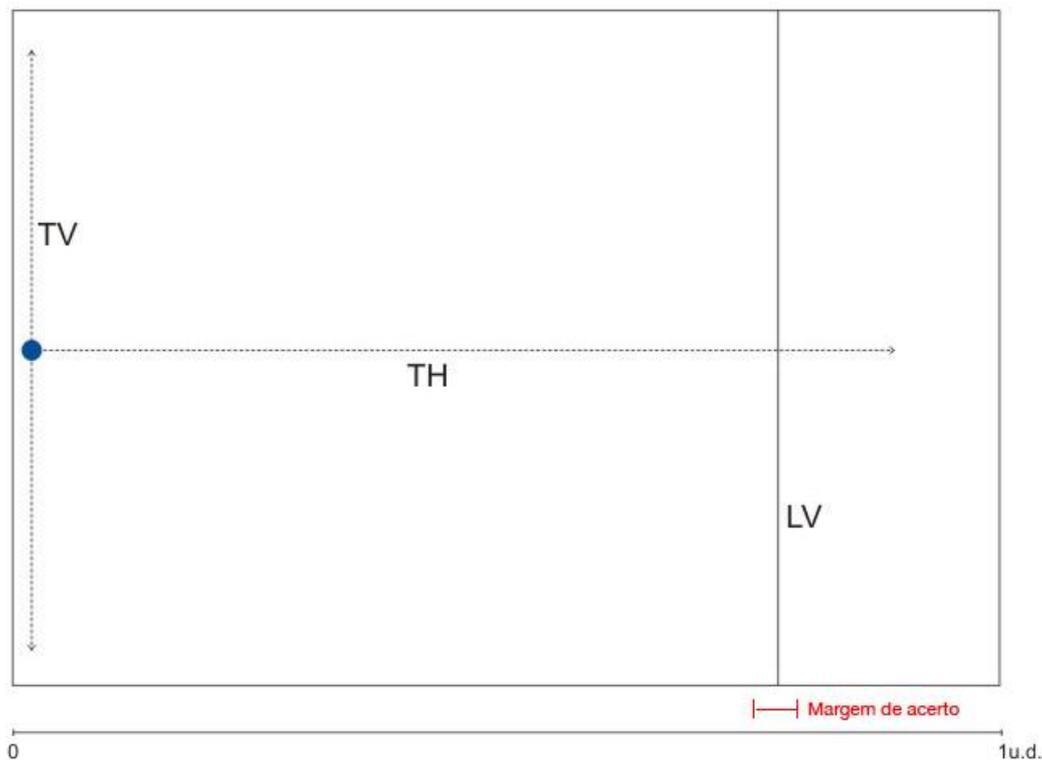


Figura III-2: Representação esquemática do *video game*, com o círculo azul no início do ciclo. TV: a trajetória vertical; TH, a trajetória horizontal; LV a linha vertical; Margem de acerto: linha vermelha. As distâncias estão em escala.

Cada voluntário foi instruído a apertar o botão quando julgasse estar o círculo exatamente sobre a LV. Após o círculo deslocar-se até a extremidade direita do retângulo e desaparecer, ocorre uma pausa de duração variável, após a qual se inicia um novo ciclo do *video game*.

Nos blocos da tarefa de atenção, os ciclos do *video game* se repetiram periodicamente, com períodos de 3,5 s ou 4,0 s. Com vistas a disfarçar a periodicidade

da tarefa para os voluntários, foram escolhidas três velocidades para a TH. A cada ciclo do *video game*, a TH percorrida pelo círculo assumiu velocidade de 0,6 u.d./s, 0,9 u.d./s, ou 1,2 u.d./s. Uma sequência balanceada de velocidades foi gerada aleatoriamente para cada bloco (3,5 s ou 4,0 s), idêntica para todos os voluntários. As Tabelas III-1 e III-2 apresentam os tempos de cada trajetória do círculo, respectivamente na duração do ciclo do *video game* de 3,5 s e 4,0 s.

Tabela III-1: Tempos (s) das trajetórias para o ciclo de 3,5 s.

Velocidade (u.d./s)	TV	TH até a LV	Tempo total até a LV	TH após a LV	Tempo desaparecido
0,6	1,4667	1,3333	2,8	0,3333	0,3667
0,9	1,9111	0,8889	2,8	0,2222	0,4778
1,2	2,1333	0,6667	2,8	0,1667	0,5333

TV: trajetória vertical, período no qual a bola permanece na trajetória senoidal; TH: trajetória horizontal; LV: linha vertical; TH até LV, período que inicia após o fim da TV e termina na passagem do círculo pela LV; Tempo total até a LV, período entre o início do ciclo do *video game* até a passagem do círculo pela LV; TH após a LV, período que inicia após a passagem do círculo pela LV e termina na extremidade direita do retângulo; Tempo desaparecido, período entre o círculo chegar à extremidade direita do retângulo e o seu reaparecimento na extremidade esquerda do retângulo para o início de um novo ciclo.

Tabela III-2: Tempos (s) das trajetórias para o ciclo de 4,0 s.

Velocidade (u.d./s)	TV	TH até a LV	Tempo total até a LV	TH após a LV	Tempo desaparecido
0,6	1,8667	1,3333	3,2	0,3333	0,4667
0,9	2,3111	0,8889	3,2	0,2222	0,5778
1,2	2,5333	0,6667	3,2	0,1667	0,6333

TV: trajetória vertical, período no qual a bola permanece na trajetória senoidal; TH: trajetória horizontal; LV: linha vertical; TH até LV, período que inicia após o fim da TV e termina na passagem do círculo pela LV; Tempo total até a LV, período entre o início do ciclo do *video game* até a passagem do círculo pela LV; TH após a LV, período que inicia após a passagem do círculo pela LV e termina na extremidade direita do retângulo; Tempo desaparecido, período entre o círculo chegar à extremidade direita do retângulo e o seu reaparecimento na extremidade esquerda do retângulo para o início de um novo ciclo.

Durante as tarefas, os voluntários eram informados, a cada clique, acerca de seus erros e acertos, tendo como critério de acerto uma margem de $\pm 0,05$ u.d (ver Figura III-2) do centro do círculo até a LV. Caso o voluntário apertasse o botão fora dessa margem, uma figura vermelha com uma expressão triste aparecia imediatamente. Caso apertasse o botão com o círculo fora dessa faixa, uma figura verde com uma expressão feliz aparecia imediatamente. Após o aparecimento das figuras, o círculo continuava a sua trajetória até o fim do monitor. A opção de uso de uma margem espacial, em vez de uma temporal, objetivou uniformização entre as diferentes velocidades. Os tempos de coincidência, isto é, a diferença entre o tempo do clique e o tempo de passagem do círculo sobre a linha vertical, foram calculados a cada clique e automaticamente gravados em um arquivo, juntamente com o número de erros em cada bloco da tarefa.

Com o propósito de delimitar mais exatamente o começo e o fim de cada etapa do protocolo experimental, a placa de áudio do computador foi conectada à placa conversora analógico-digital (item III.2). A cada passagem de slides, durante as instruções para a realização do protocolo, um sinal obtido a partir da saída de áudio analógica de pulso quadrado positivo foi adquirido. Durante os blocos da tarefa de atenção, esse sinal também possibilitou o registro dos momentos da passagem do círculo sobre a linha vertical e do clique do voluntário. Esse sinal foi gravado junto com os demais sinais analógicos.

III.3.2 Protocolo

Inicialmente foi realizado um protocolo piloto com cinco voluntários, descrito no ANEXO D, no qual se verificou a similaridade entre a média do período respiratório dos voluntários com a duração do ciclo do *video game* igual a 3,5 s, sugerindo a condução da ventilação pela periodicidade da tarefa. Foi elaborado então o protocolo

experimental definitivo, com a inclusão de uma nova duração do ciclo do *video game*, para avaliar a ocorrência da modulação ventilatória com outro período de repetição da tarefa de atenção. O protocolo experimental foi composto de cinco blocos da tarefa de atenção, precedidas por um período de repouso de 5 min. Imagens de paisagens com uma sequência não periódica foram apresentadas ao voluntário no monitor durante os períodos de repouso. Cada imagem permanecia no monitor por no mínimo 8 s.

A primeira etapa da tarefa de atenção constituiu um treinamento com 30 ciclos do *video game* com duração variável entre 3,5 s a 6,5 s. Em cada bloco seguinte da tarefa de atenção, a duração do ciclo do *video game* foi fixada em 3,5 s ou de 4,0 s, com 60 ciclos em cada bloco, e as durações se alternaram nesses quatro blocos. Foram empregados dois grupos, o grupo A, no qual o primeiro bloco da tarefa de atenção após o treino teve o ciclo do *video game* com duração de 3,5 s, e o grupo B, com a duração do ciclo do *video game* de 4,0 s nessa etapa (Figura III-3). A duração total para ambos os grupos experimentais foi de aproximadamente 43 min. Os voluntários foram sorteados para metade ficar no grupo A e metade no B.

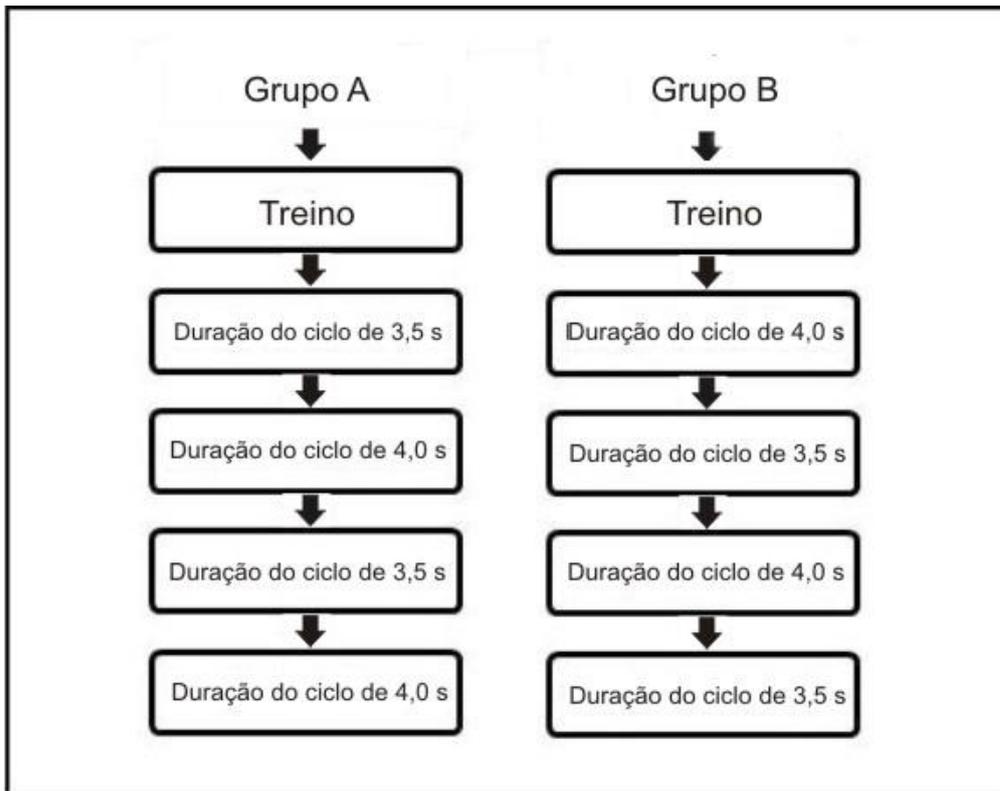


Figura III-3: Diagrama com a sequência das etapas dos grupos A e B. As setas representam as etapas de repouso.

III.4 Processamento dos Sinais

III.4.1 Algoritmo para Detecção e Edição das Ondas R do ECG

O sinal de ECG foi processado no programa MECANICA (Pino *et al.*, 2002), escrito em linguagem MatLab 7.5 (*The MathWorks*, EUA). A detecção dos picos de onda R, remoção de artefatos e edição manual seguiu os procedimentos apresentados em trabalho prévio (BEDA *et al.*, 2007). Inicialmente o sinal de ECG foi filtrado com um passa-banda de 5 a 200 Hz, tipo Butterworth de 4^a ordem, com fase zero, para eliminar as flutuações de linha de base e o ruído de alta frequência. Em seguida, foram detectados os instantes dos picos das ondas R (IR), com algoritmo baseado no cruzamento com zero da derivada do sinal filtrado. Os picos das ondas R de amplitude menor que um limiar de 0,5 V (*default*) foram removidos. Também foram descartados

os picos das ondas R nos quais a distância a um pico de maior amplitude foi menor que um período refratário pré-estabelecido (250 ms). Após uma inspeção visual, foi realizada uma edição manual que possibilitou a exclusão de batimentos ectópicos.

Além da detecção dos IR, o algoritmo também calculou a série dos intervalos R-R. Cada elemento da série dos intervalos R-R (SRR) pode ser representado como um vetor com dois componentes, o comprimento do período cardíaco e o instante do fim do período cardíaco, conforme expresso a seguir:

$$SRR_i = (IR_i - IR_{i-1}, IR_i) \quad (1)$$

onde SRR é a série de intervalos R-R, IR é o tempo de ocorrência do batimento cardíaco, e i representa o índice de SRR, ($i=2\dots n$, n =total de batimentos cardíacos).

Foi definido que o primeiro intervalo R-R ocorre no instante do segundo batimento cardíaco, e, portanto, o último intervalo R-R ocorre no instante do último batimento.

III.4.2 Detecção dos Ciclos Respiratórios

O sinal ventilatório também foi processado com uma rotina desenvolvida no Laboratório de Engenharia Pulmonar (LEP), em Matlab 7.5 (*The MathWorks*, EUA). Utilizou-se um filtro Butterworth digital passa-baixa de 4ª ordem, com fase zero e frequência de corte de 3 Hz, para eliminar componentes espectrais fora da banda respiratória. Como o sinal ventilatório da cinta pode ser considerado uma medida não calibrada do volume pulmonar, calculou-se sua derivada numérica para obtenção de um sinal não calibrado de vazão (Vnc) e posterior detecção dos ciclos respiratórios. A Figura III-4 apresenta um trecho do sinal ventilatório original, antes da filtragem e a

Figura III-5 o sinal ventilatório de vazão (V_{nc}) obtido após a filtragem e derivação numérica do sinal original.

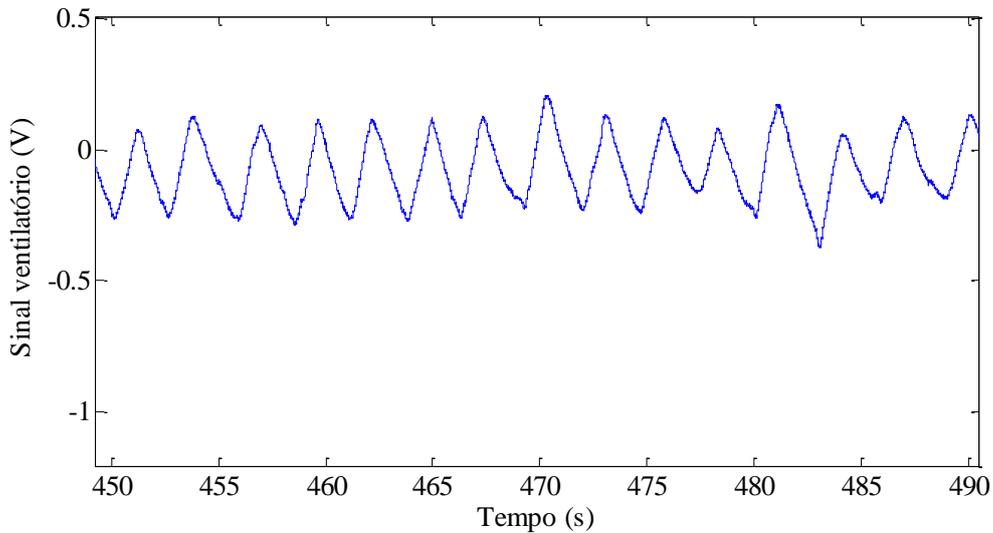


Figura III-4: Sinal ventilatório original, antes da filtragem de um voluntário representativo.

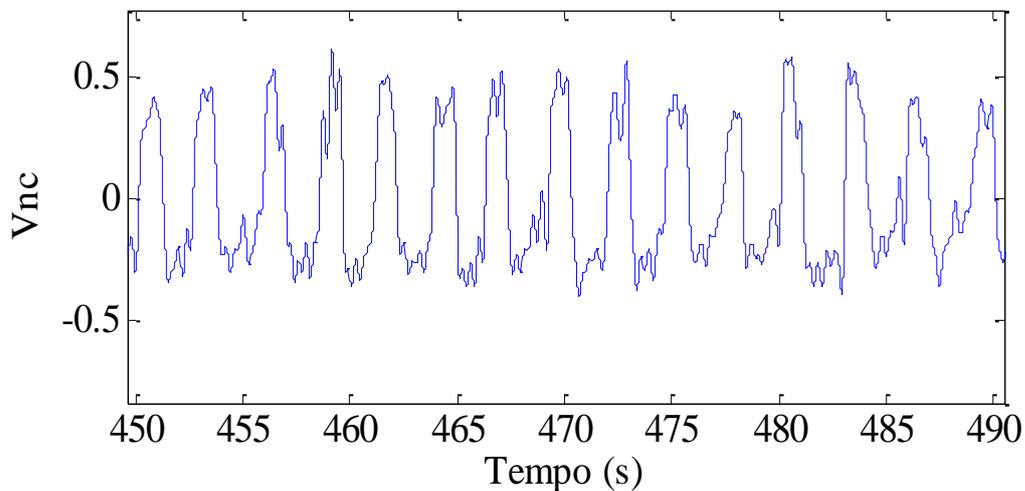


Figura III-5: Sinal não calibrado de vazão (V_{nc}), obtido da derivada numérica do sinal ventilatório original de um voluntário representativo, após a filtragem.

O algoritmo para detecção dos ciclos respiratórios é composto de três etapas. A primeira etapa é a detecção dos cruzamentos por zero. Nesta etapa, o sinal V_{nc} é transformado em um sinal binário, com os trechos inspiratórios e expiratórios representados por 1 e 0, respectivamente. Então, o sinal binário é derivado numericamente para detectar os inícios da inspiração (I_{insp}) e expiração (I_{exp}). A

segunda etapa é a remoção de artefatos, a qual desconsidera os semiciclos abaixo de limiares arbitrários de volume e de duração do ciclo respiratório. Tendo em vista a não calibração dos sinais, o limiar de volume foi estipulado empiricamente em 0,3 unidades arbitrárias. O limiar de duração dos semiciclos foi estipulado em 0,5 segundos. As amostras do sinal V_{nc} , em cada semiciclo detectado, foram integradas numericamente, e o sinal resultante comparado ao limiar de volume estipulado. Para serem considerados semiciclos, o volume e a duração do trecho devem ser superiores aos limiares. A última etapa é a edição manual, por inspeção visual. Note-se que a edição manual foi realizada com o sinal V_{nc} e que somente eram apresentadas as marcações dos I_{insp} e I_{exp} ; portanto, não foi possível saber a que etapa correspondia cada ciclo respiratório. Isso visou a reduzir o viés em relação à edição manual e os resultados. A Figura III-6 exibe o sinal ventilatório utilizado para a edição manual, após a detecção dos trechos inspiratórios e expiratórios.

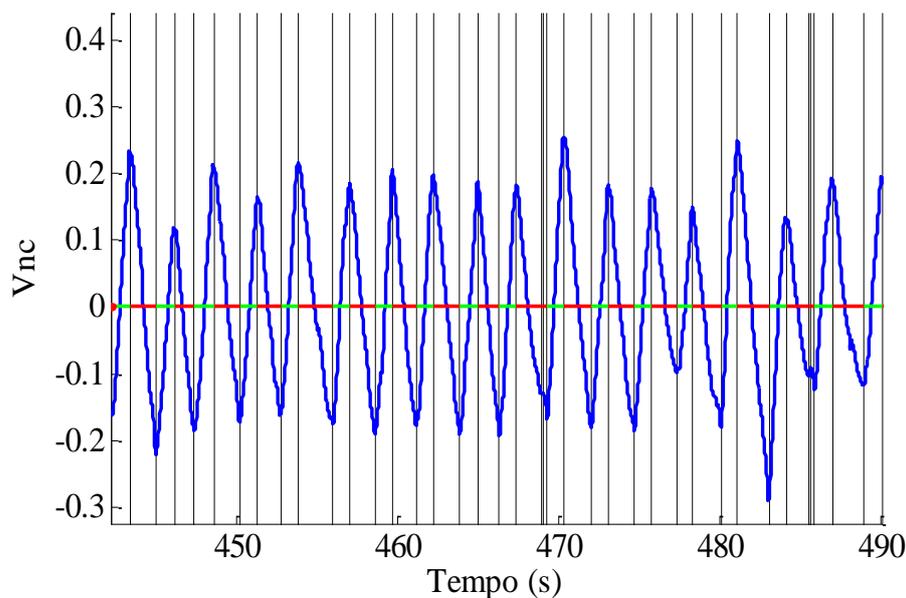


Figura III-6: Sinal ventilatório utilizado para a edição manual após a detecção dos trechos inspiratórios e expiratórios. Trechos inspiratórios em verde; Trechos expiratórios em vermelho. Linhas verticais: transições dos trechos respiratórios detectados pelo algoritmo, mas que poderiam ser modificados na edição manual.

III.4.3 Parâmetros Cardiorrespiratórios

Após o processamento dos sinais, esses foram separados por etapas do protocolo experimental, utilizando as marcações do sinal de áudio para o início e término das etapas. Para cada etapa do protocolo experimental foram obtidos os parâmetros descritos abaixo.

Dos semiciclos detectados foi obtida a série de períodos respiratórios (PR), calculada pela diferença entre os I_{insp} consecutivos, conforme a equação abaixo:

$$PR_i = I_{insp_i} - I_{insp_{i-1}} \quad (2)$$

onde $PR_{(i)}$ é o i -ésimo período respiratório

A partir da série de PR obteve-se a média e desvio-padrão do período respiratório (PR_m e PR_{dp}). Outra medida de dispersão do PR analisada foi o coeficiente de variação (CV), calculado conforme a equação abaixo:

$$CV = \frac{PR_{dp}}{PR_m} \quad (3)$$

onde CV é o coeficiente de variação, PR_{dp} é o desvio-padrão do PR e PR_m é a média do PR.

Também foi calculada a frequência cardíaca média (FC_m), conforme a equação abaixo:

$$FC_m = \frac{n-1}{IR_n - IR_1} \cdot 60 \quad (4)$$

onde FC_m é a frequência cardíaca média expressa em batimentos por min., n é o número de batimentos cardíacos, e IR é o instante do batimento em segundos.

III.4.3.1 Amplitude da Arritmia Sinusal Respiratória

Dois métodos foram utilizados para o cálculo da amplitude da arritmia sinusal respiratória (A_{ASR}). O método da diferença foi aplicado, no qual A_{ASRd} foi calculada, a cada ciclo respiratório, como a diferença entre os intervalos R-R máximo (IRR_{max}) e mínimo (IRR_{min}) que começavam e terminavam no mesmo ciclo respiratório, conforme a equação abaixo:

$$A_{ASRdi} = IRR_{max\ i} - IRR_{min\ i} \quad (5)$$

onde A_{ASRd} é a amplitude da arritmia sinusal respiratória pelo método da diferença, IRR_{max} é o intervalo R-R máximo, IRR_{min} é o intervalo R-R mínimo, e $i = 1 \dots n$ (total de ciclos respiratórios).

A seguir, foi calculado o valor médio da A_{ASRd} (A_{ASRdm}), para cada etapa do protocolo experimental.

O outro método aplicado foi adaptado de GILAD *et al.* (2005), aqui chamado por fins de simplificação de método de Gilad. Nesse caso, interpola-se a SRR localizada dentro dos ciclos respiratórios normalizados e calcula-se um padrão médio e a fase da ASR. Inicialmente, foram utilizados todos os ciclos respiratórios em cada etapa do protocolo. Para realizar a 1ª interpolação da SRR, selecionaram-se os batimentos cardíacos ocorridos dentro do ciclo respiratório, e também o batimento imediatamente anterior e o posterior ao ciclo respiratório. Então, realiza-se a interpolação linear da SRR selecionada, com 50 amostras para cada ciclo respiratório. A segunda interpolação, com a técnica “*cubic spline*”, é feita sobre a SRR previamente interpolada, porém apenas para o trecho interno ao ciclo respiratório. Nessa interpolação, os ciclos respiratórios foram normalizados para o intervalo de 2π radianos. O número de amostras para cada ciclo respiratório foi novamente de 50. A Figura III-7 apresenta uma

sequência para um ciclo respiratório de um voluntário, com os intervalos R-R após a 1ª interpolação linear e a 2ª interpolação “cubic spline”.

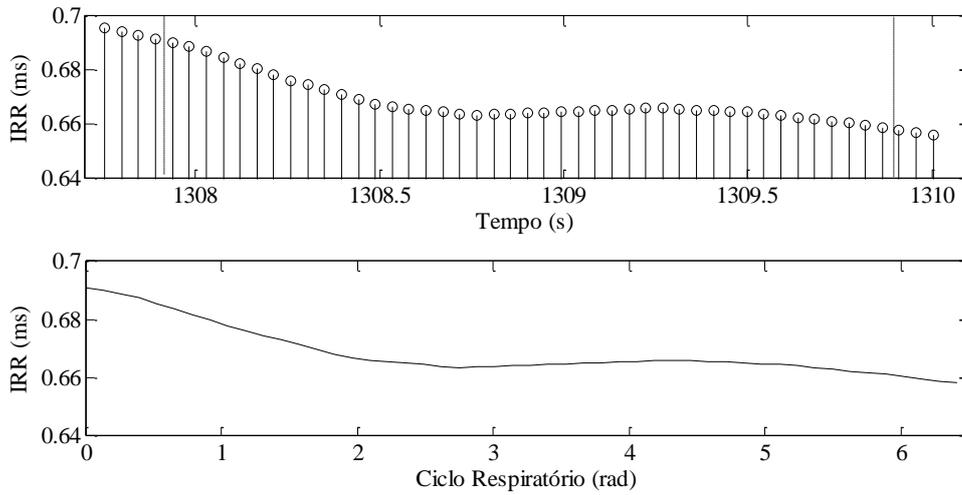


Figura III-7: Representação da sequência das interpolações para um ciclo respiratório. (1): Intervalos R-R (IRR) interpolados com o batimento localizado imediatamente anterior e posterior ao ciclo respiratório após a interpolação linear. (2): Intervalos R-R após a interpolação “cubic spline”. Linha tracejada: início e fim do ciclo respiratório.

Para cada bloco, foi aplicada uma média coerente dos intervalos da SRR obtidos com as segundas interpolações, isto é, foi feita a média dos valores dos pontos homólogos de 0 radianos até 2π radianos. Essa média coerente para obter o padrão médio da ASR (\bar{X}^0) foi calculada conforme a equação abaixo:

$$\bar{X}_j^0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (6)$$

onde $x_{(i,j)}$ é a matriz composta dos elementos da SRR interpolada, sendo $i = 1 \dots n$ (número de ciclos respiratórios) e $j = 1 \dots m$ (número de pontos interpolados da SRR).

A A_{ASR} foi obtida como a diferença entre o valor máximo e mínimo de \bar{X}^0 . A abscissa correspondente ao mínimo valor de \bar{X}^0 foi considerada a fase da ASR. A Figura III-8 apresenta o padrão médio da ASR, com os seus parâmetros.

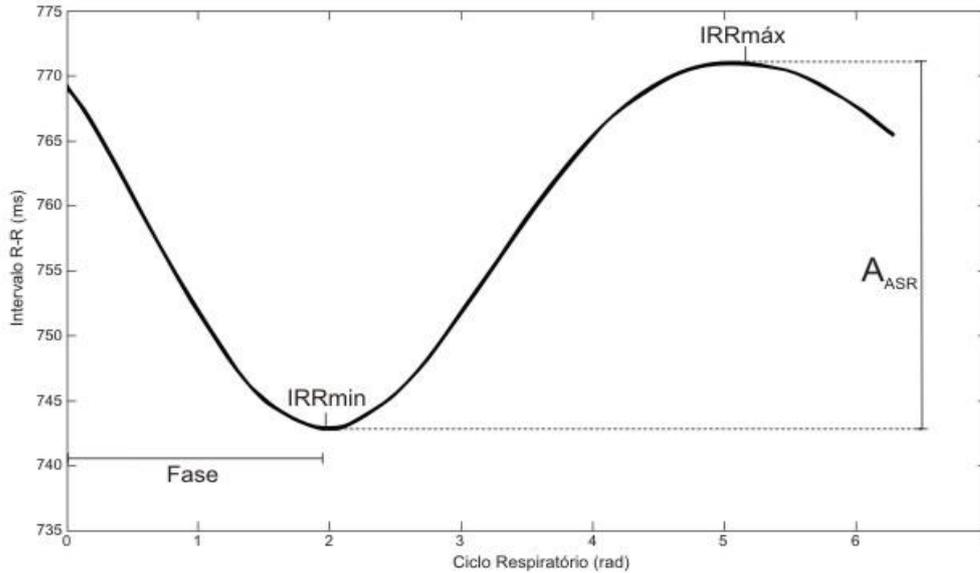


Figura III-8: Padrão médio da ASR de um voluntário, com os parâmetros obtidos: o intervalo R-R máximo (IRR_{máx}), o intervalo R-R mínimo (IRR_{min}), a amplitude da ASR (A_{ASR}), e a fase da ASR (Fase).

O padrão médio final da ASR foi calculado após a exclusão de ciclos respiratórios *outliers*. Os ciclos respiratórios com maior variância (V_i) e desvio de fase ($\Delta\Phi_i$), em relação a \bar{X}^0 foram eliminados. Para tal, calculou-se para cada ciclo respiratório a V_i e o $\Delta\Phi_i$, conforme as equações abaixo:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^{50} (\bar{X}_j^0 - X_{ij})^2}{49} \quad (7)$$

onde V_i é a variância do i -ésimo ciclo respiratório.

$$\Delta\Phi_i = |\Phi^0 - \Phi_i| \quad (8)$$

onde $\Delta\Phi_i$ é o desvio de fase, Φ^0 é a fase inicial, e Φ_i é a fase do ciclo respiratório i , sendo $i = 1 \dots n$.

Primeiro, excluíram-se os ciclos respiratórios com os 10% maiores valores de V_i , obtendo-se uma subsérie (S1). Em seguida, de S1 foram excluídos 10% dos ciclos respiratórios com maiores $\Delta\Phi_i$, formando uma nova subsérie S2. O padrão médio e a fase final da ASR foram calculados de S2. A Figura III-9 apresenta o padrão médio final da ASR de um voluntário, com os ciclos respiratórios incluídos e excluídos.

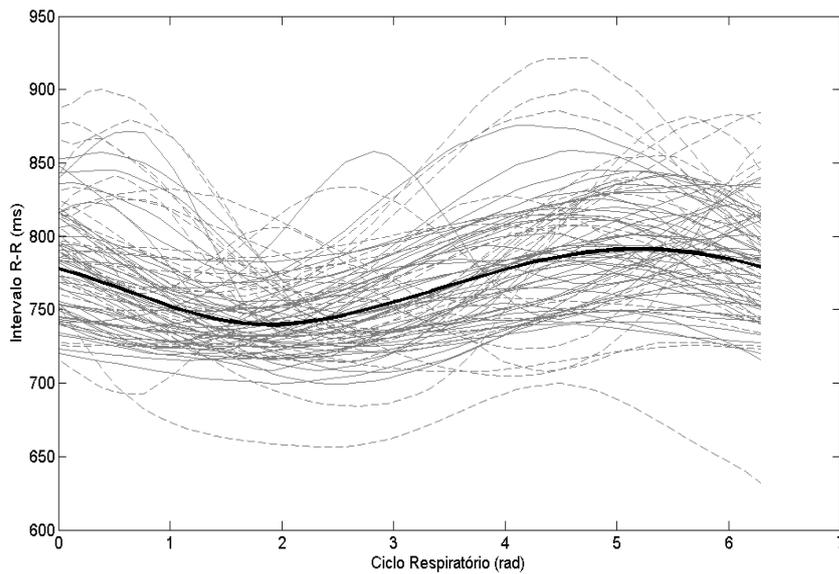


Figura III-9: Padrão médio final da ASR de um voluntário (linha preta), com os ciclos respiratórios excluídos (linha cinza tracejada) e os ciclos respiratórios incluídos (linha cinza).

III.4.4 Parâmetros do Desempenho na Tarefa de Atenção

Os parâmetros obtidos para avaliar o desempenho dos voluntários durante a execução da tarefa atencional foram o tempo de coincidência, que é dado pela diferença entre o momento do clique e a passagem do círculo sobre a LV, e o número de erros. Considerando-se as velocidades diferentes na TH dos ciclos do *video game*, o tempo de coincidência foi convertido em distância de coincidência (Rdist), calculada multiplicando-se o tempo de coincidência pela velocidade do teste (0,6 u.d./s, 0,9 u.d./s, ou 1,2 u.d./s).

Um critério de exclusão foi estabelecido para desconsiderar cliques provavelmente não intencionais que ocorreram durante a TV ou no início da TH. Primeiro, foram excluídos os cliques que ocorreram durante a trajetória vertical (9 excluídos no total). A Figura III-10 apresenta o histograma (com 81 classes divididas igualmente de 0 a 0,8) do módulo da Rdist, após a primeira exclusão. Pode-se verificar no histograma que a maioria dos dados encontra-se na faixa de 0 u.d a 0,1 u.d. O critério de exclusão considerou também como *outliers* os valores que desviaram mais de 3 desvios-padrão da média do módulo, ou seja, os dados que foram maiores que 0,1043. No total, foram eliminados 0,85% da amostra.

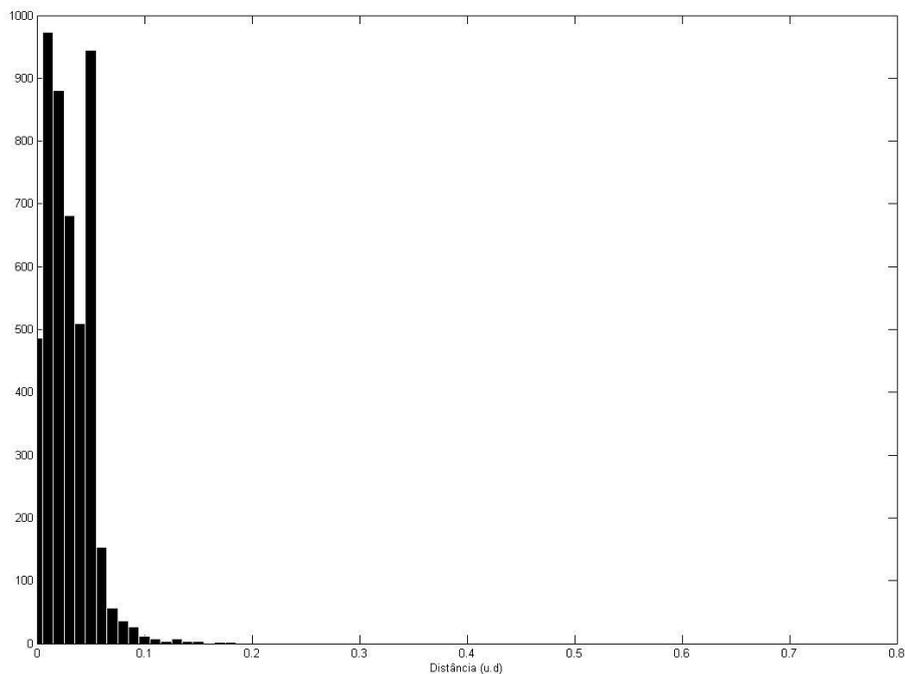


Figura III-10: Histograma dos módulos das distâncias de coincidência (Rdist) de todos os voluntários, após a exclusão das respostas ocorridas durante a fase da trajetória vertical do *video game*.

Após a eliminação, a cada bloco da tarefa de atenção os dados foram separados por velocidade, e a média do módulo de Rdist ($Rdist_m$) e o desvio padrão de Rdist ($Rdist_{dp}$) foram assumidos como os parâmetros de desempenho.

O número de erros foi calculado por bloco da tarefa de atenção. Conforme descrito na seção III.4.4, foram considerados erros os cliques que ocorreram fora da margem de 0,05 u.d para ambos os lados da LV. Os cliques que foram eliminados da amostra (0,85%) não foram contabilizados como erros.

III.5 Sincronismo entre a Ventilação e a Tarefa de Atenção

Para cada bloco da tarefa atencional, investigou-se a distribuição dos intervalos entre os I_{insp} ou I_{exp} , e a passagem do círculo sobre a LV. Para tal, calculou-se os intervalos de tempo entre os I_{insp} ou I_{exp} e a 1ª passagem do círculo sobre a LV de cada bloco da tarefa (Figura III-11). Então, dividiu-se cada intervalo de tempo pela periodicidade da tarefa (3,5 s ou 4,0 s), e tomou-se o resto dessa divisão como o dado representativo da posição dos I_{insp} ou I_{exp} relativa a LV. Computaram-se dois histogramas com 10 classes iguais para os dados dos dois blocos de 3,5 s ou 4,0 s. Devido à necessidade da detecção correta dos I_{insp} e I_{exp} , diminui-se 0,36 s nestes dados para compensar o atraso do sinal ventilatório (ANEXO C). A Figura III-11 apresenta sinal ventilatório com os I_{exp} e as linhas verticais dos 3 primeiros ciclos do *video game* como um exemplo do intervalo entre os I_{exp} e a 1ª passagem do círculo sobre a LV.

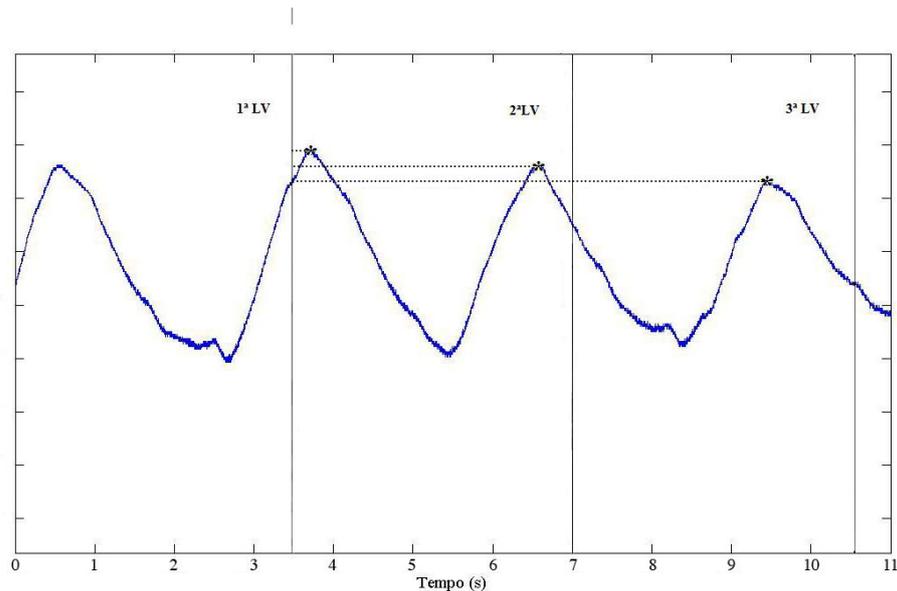


Figura III-11: Exemplo do intervalo entre a expiração e a 1ª passagem do círculo sobre a linha vertical, para os três primeiros ciclos do *video game*. LV: linha vertical; (*): início da expiração; linha pontilhada: intervalo entre o início da expiração e a 1ª passagem do círculo sobre a linha vertical.

III.6 Análise Estatística

Os parâmetros cardiorrespiratórios PR_m , PR_{dp} , CV do PR, FC_m , e A_{ASRm} , foram comparados entre as etapas do protocolo experimental, em cada grupo. Não foram considerados o primeiro repouso e o bloco de treino da tarefa atencional. O teste de hipótese escolhido foi o Friedman ($p < 0,05$), equivalente não-paramétrico ao teste ANOVA de medidas repetidas, e o pós-teste de *Dunn*, para fazer múltiplas comparações. O pacote estatístico utilizado foi o *GraphPad Prism 5.00* (*GraphPad Software*, EUA).

Para verificar se houve diferença estatística entre os parâmetros do desempenho, $Rdist_m$, $Rdist_{dp}$, e o número de erros, realizou-se a ANOVA de medidas repetidas para 2 fatores (velocidade x período da tarefa) e o pós-teste de *Newman-Keuls*. Para tal, os

blocos da tarefa com a mesma duração foram agrupados e separados por velocidade. O pacote estatístico utilizado foi o Statistica 7.0 (*Stat. Soft.*, EUA).

A correlação de *Spearman* foi utilizada para verificar a associação entre os parâmetros cardiorrespiratórios e o desempenho dos voluntários na tarefa. A associação entre a ASR e a ventilação foi obtida com a correlação entre a A_{ASR} (Método da diferença e Gilad) e o PR_m . Correlacionou-se a A_{ASRm} (método da diferença e da Gilad), ou seja, os dois métodos utilizados. Também se realizou a correlação entre a porcentagem de erros e os parâmetros cardiorrespiratórios, A_{ASRm} (padrão médio da ASR) e o PR_m , dos blocos da tarefa. O pacote estatístico utilizado foi o *GraphPad Prism 5.00* (*GraphPad Software*, EUA).

IV. Resultados

IV.1 Parâmetros Cardiorrespiratórios

As Tabelas IV-1 e IV-2 apresentam os valores da mediana (M), primeiro e terceiro quartis (Q1-Q3) do PR_m dos voluntários dos grupos A e B, respectivamente. Um voluntário do grupo B teve o PR_m maior que 8,0 s, nas etapas de repouso, sendo considerado um *outlier*. No ANEXO E estão as tabelas com os valores de PR_m e PR_{dp} para todos os voluntários.

Tabela IV-1: Mediana e quartis do PR_m (s) do grupo A, n=10.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
		(3,5 s)		(4,0 s)		(3,5 s)		(4,0 s)
M	4,2	3,1	4,1	3,3	4,0	3,2	3,9	3,6
(Q1-Q3)	(4,0-4,8)	(2,9-3,5)	(3,5-4,4)	(3,0-3,8)	(3,8-4,4)	(2,9-3,3)	(3,6-4,4)	(2,9-3,7)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Tabela IV-2: Mediana e quartis do PR_m (s) do grupo B, n=9.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
		(4,0 s)		(3,5 s)		(4,0 s)		(3,5 s)
M	3,4	2,8	3,7	2,9	3,6	3,0	3,5	2,9
(Q1-Q3)	(3,1-4,0)	(2,7-3,2)	(3,6-4,3)	(2,8-3,8)	(3,2-4,2)	(2,7-3,6)	(3,6-4,4)	(2,7-3,4)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Observou-se uma redução no PR_m nos blocos da tarefa atencional, em ambos os grupos, em comparação ao repouso. A análise estatística indicou que o PR_m foi diferente nas etapas do grupo A ($p < 0,0001$), e do B ($p < 0,0001$). A análise multicomparativa não mostrou diferença significativa do PR_m entre os blocos da tarefa de 3,5 s e 4,0 s, em

cada grupo. A Figura IV-1 exibe o *box-plot* do PR_m para todos os voluntários dos grupos A e B, com exceção do *outlier*.

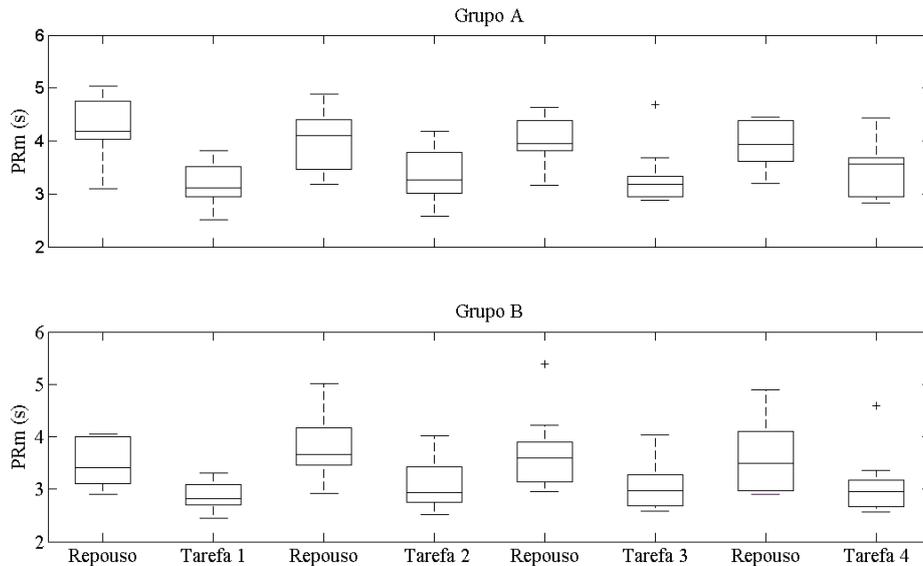


Figura IV-1: *Box-plot* da média do período respiratório nas etapas dos grupos A e B (sem o voluntário *outlier*). O retângulo abrange os quartis (25%) e termina no 3º quartil (75%). A marca central do retângulo representa a mediana. As duas pontas (*whiskers*) se estendem acima e abaixo do retângulo até a localização da maior e da menor observação, que estão dentro da distância de 1,5 vezes o intervalo interquartil. Cruzes: *outliers*.

É possível observar, nos dois grupos, uma redução da mediana do PR_m , acompanhada por uma redução no intervalo interquartil, nos blocos da tarefa atencional, em comparação com o repouso. Observa-se menor variabilidade do PR_m , nos blocos da tarefas, principalmente no bloco 3 do grupo A e nos blocos 2 e 4 do grupo B. Pode-se notar que as medianas do PR_m do grupo A foram maiores do que no grupo B, mas sem significância estatística. A média da PR_m nas etapas de repouso foi de 4,0 s no grupo A e de 3,7 s no grupo B, nos blocos da tarefa com duração do ciclo de 3,5 s foi de 3,2 s no grupo A e de 3,1 s no grupo B e nos blocos da tarefa com duração do ciclo de 4,0 s foi de 3,4 s no grupo A e de 3,0 s no grupo B.

A Figura IV-2 exibe o *box-plot* do PR_{dp} para todos os voluntários dos grupos A e B, com exceção do *outlier*.

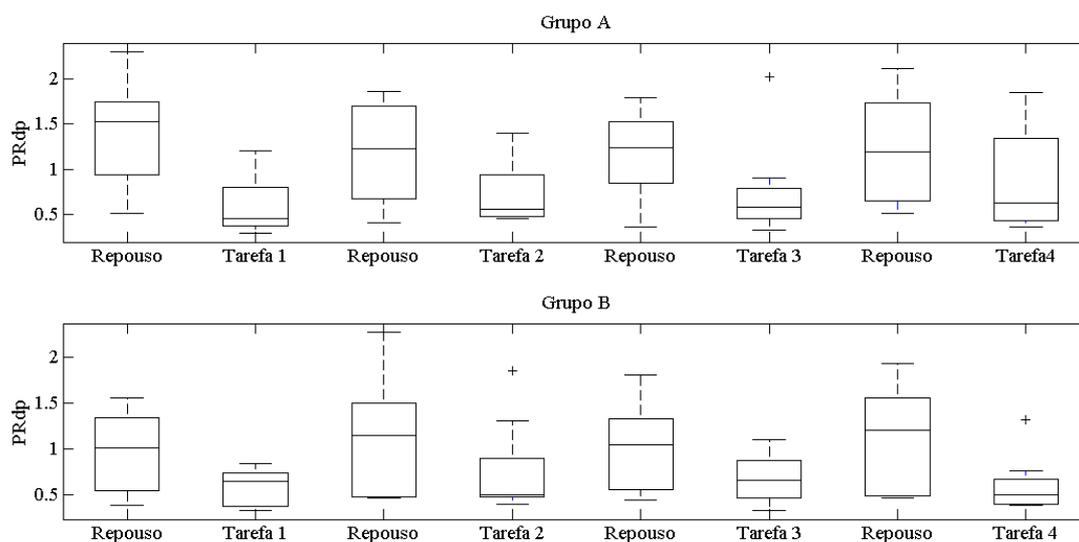


Figura IV-2: *Box-plot* do *desvio-padrão* do período respiratório nas etapas dos grupos A e B (sem o voluntário *outlier*).

Observou-se uma redução da mediana, acompanhada dos quartis, do PR_{dp} nos blocos da tarefa atencional, quando comparados ao repouso, em ambos os grupos. A análise estatística indicou que o PR_{dp} foi diferente nas etapas do grupo A ($p < 0,0001$), e no B ($p < 0,001$). Percebeu-se menor variabilidade do PR_{dp} em todos os blocos da tarefa atencional, com exceção do último bloco do grupo A. A mediana do PR_{dp} nos blocos da tarefa foi 0,55 e 0,56, e no repouso de 1,39 e 1,07 para os grupos A e B, respectivamente.

A Figura IV-3 exibe o *box-plot* do coeficiente de variação (CV) do PR para todos os voluntários dos grupos A e B, com exceção do *outlier*.

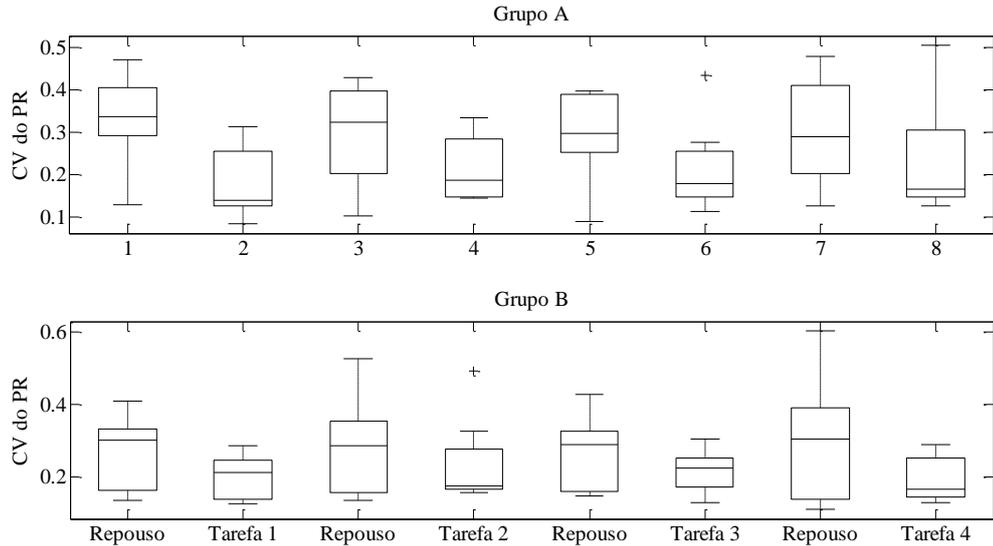


Figura IV-3: Box-plot do coeficiente de variação do período respiratório nas etapas dos grupos A e B (sem o voluntário outlier).

Observou-se uma redução da mediana, acompanhada dos quartis, do CV do PR nos blocos da tarefa atencional, quando comparados ao repouso, em ambos os grupos. A análise estatística indicou que o CV do PR foi diferente nas etapas do grupo A ($p < 0,0001$), e no B ($p < 0,01$). Como observado com o PR_{dp} , percebeu-se menor variabilidade do CV do PR em todos os blocos da tarefa atencional, com exceção do último bloco do grupo A. A mediana do CV do PR nos blocos da tarefa foi 0,16 e 0,18, e no repouso de 0,32 e 0,30 para os grupos A e B, respectivamente.

Em relação à FC_m não houve diferença estatisticamente significativa quando comparadas as etapas de repouso e de tarefa, sugerindo-se a interpretação de que a FC_m manteve-se estável durante todo o protocolo experimental. A Tabela IV-3 apresenta os valores da mediana (M), primeiro e terceiro quartis (Q1-Q3) da FC_m para os voluntários de ambos os grupos. A média da FC_m dos voluntários foi de 82,0 bpm. O ANEXO F apresenta a tabela com a FC_m de cada voluntário.

Tabela IV-3: Mediana e quartis da FCm dos grupos A e B.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
M	81,7	83,7	80,6	82,7	82,0	83,2	81,8	82,7
(Q1-Q3)	(76,1-85,3)	(79,9-87,0)	(76,4-87,5)	(78,3-87,6)	(76,8-87,7)	(78,0-87,2)	(76,9-85,8)	(76,9-86,5)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

As Tabelas IV-4 e IV-5 descrevem os valores da mediana (M), primeiro e terceiro quartis (Q1-Q3) da A_{ASRmd} calculada pelo método da diferença, para todos os voluntários dos grupos A e B, respectivamente.

Tabela IV-4: Mediana e quartis da A_{ASRmd} (ms) do grupo A.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
M	69,9	59,7	72,6	64,9	77,9	56,2	83,1	63,6
(Q1-Q3)	(62,7-97,6)	(46,5-69,2)	(62,8-88,9)	(46,9-87,5)	(64,2-92,2)	(48,5-75,2)	(67,9-107,3)	(48,9-87,9)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Tabela IV-5: Mediana e quartis da A_{ASRmd} (ms) do grupo B.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
M	60,0	46,0	59,9	47,8	64,1	57,1	72,2	54,2
(Q1-Q3)	(43,0-80,3)	(35,0-65,7)	(42,8-110,0)	(32,4-66,0)	(40,5-97,2)	(30,7-69,9)	(34,7-78,8)	(32,2-82,2)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Observa-se uma redução significativa na mediana da A_{ASRmd} durante os blocos da tarefa atencional, no grupo A ($p < 0,0005$) e no B ($p < 0,0001$). Apesar das medianas da A_{ASRmd} , do grupo B serem menores que as do grupo A, essa diferença não é estatisticamente significativa. A Figura IV-4 apresenta o *box-plot* da A_{ASRmd} para os voluntários dos grupos A e B ($n = 19$).

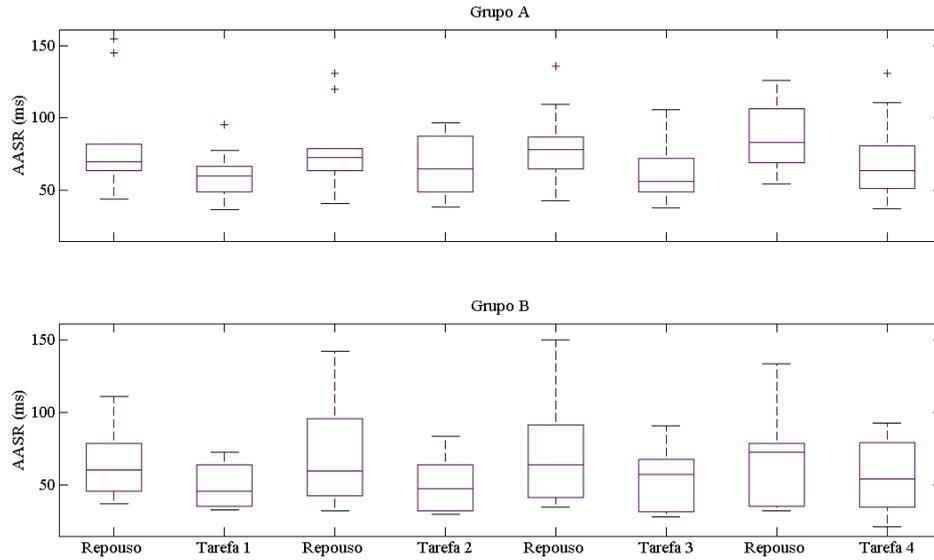


Figura IV-4: Box-plot da amplitude da ASR (A_{ASRmd}) (ms) nas etapas do protocolo experimental, para os voluntários do protocolo A e B (sem o voluntário *outlier*).

Verificou-se uma redução da mediana da A_{ASRmd} , acompanhada da redução dos quartis em ambos os grupos. É possível perceber que as etapas de repouso apresentaram uma maior variabilidade da A_{ASRmd} , principalmente no grupo B. Essa redução na mediana da A_{ASRmd} associa-se à redução do PR_m observada nos blocos da tarefa atencional. No ANEXO G estão os valores da A_{ASRmd} de todos os voluntários.

A A_{ASRm} também foi calculada pelo método adaptado da *Gilad*, obtendo o padrão médio da ASR. A Tabela IV-6 exhibe os valores da A_{ASRm} obtida pelo padrão médio da ASR, para os voluntários de ambos os grupos ($n = 19$).

Tabela IV-6: Mediana e quartis da A_{ASRm} (ms) obtida pelo padrão médio da ASR, nos grupos A e B.

Etapas	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
M	42,9	34,7	37,8	36,7	40,3	35,5	42,2	42,3
(Q1-Q3)	(27,6-57,2)	(27,8-48,9)	(30,4-56,5)	(25,7-51,7)	(27,1-58,6)	(27,6-46,7)	(34,9-63,8)	(27,1-49,0)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Pode-se verificar uma redução na mediana da A_{ASRm} nos blocos da tarefa em comparação com as etapas de repouso, porém esta não foi significativa ($p = 0,8$). A Figura IV-5 exibe o *box-plot* da A_{ASRm} , calculada pelo padrão médio da ASR.

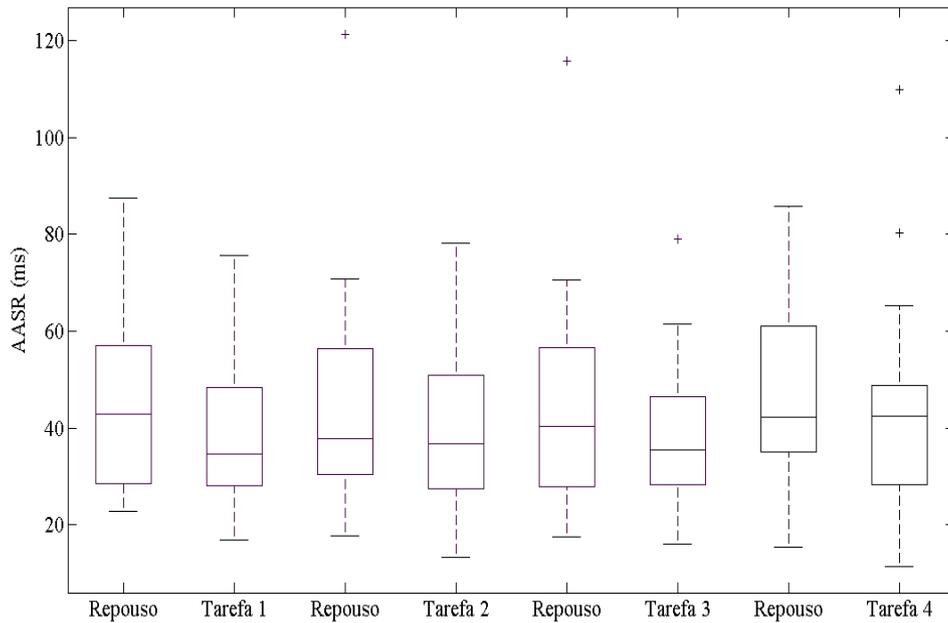


Figura IV-5: *Box-plot* da amplitude da ASR (ms), calculada pelo padrão médio da ASR, para todos os voluntários ($n=19$), nas etapas do protocolo experimental.

Indica-se uma redução da mediana da A_{ASRm} nos blocos da tarefa 1 e 3, e uma redução dos quartis nos os blocos 1, 3 e 4 da tarefa. É possível observar menor variabilidade da A_{ASRm} no 1°, 3°, e 4° blocos da tarefa, quando comparados com as etapas de repouso.

A média coerente do padrão médio da ASR de todos os voluntários ($n = 19$) foi realizada a cada etapa do protocolo experimental. A Figura IV-6 apresenta o padrão médio da ASR após o cálculo da média coerente, para todas as etapas do protocolo experimental.

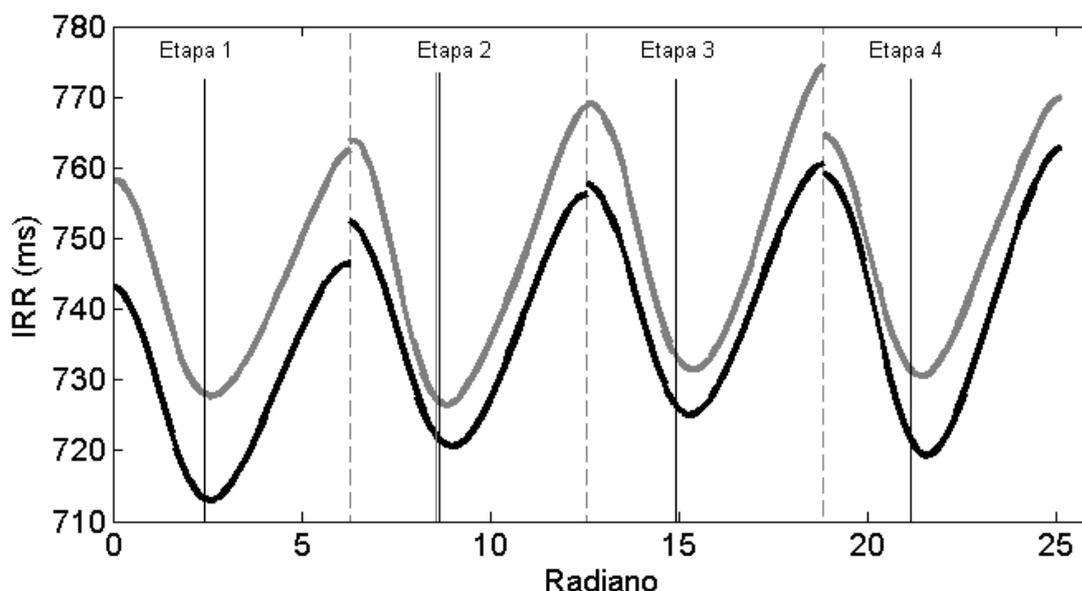


Figura IV-6: Padrão médio da ASR obtido após o cálculo da média coerente, para todas as etapas do protocolo experimental em sequência, separadas por linhas verticais tracejadas. Padrão médio da ASR obtido após o cálculo da média coerente, nas etapas de repouso (linha cinza contínua) e nos blocos subsequentes de tarefa (linha preta contínua); início da expiração (linha cinza vertical). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

Observa-se uma redução do $IRR_{\text{máx}}$ e IRR_{min} nos blocos da tarefa quando comparados com o repouso antecedente. Não é possível, porém, identificar visualmente modificações substanciais na A_{ASRm} e na fase da ASR, quando comparadas as etapas de repouso e os blocos da tarefa. Tanto nas etapas de repouso, quanto nos blocos da tarefa, o pico de taquicardia ($IRR_{\text{máx}}$) ocorre no início da expiração. No ANEXO G estão as figuras do padrão médio da ASR para cada voluntário.

Os valores da A_{ASRm} obtidos pelo padrão médio foram menores do que os calculados pelo método da diferença como observa-se nas Tabelas IV-4, IV-5 e IV-6. Realizou-se o teste de *Spearman* para verificar a correlação entre os dois métodos. A Figura IV-7 apresenta o diagrama de espalhamento entre os valores da A_{ASRm} obtido pelo método da Gilad e da diferença e gráfico adaptado de *Bland-Altman* com todos os valores de A_{ASRm} , ou seja, de todas as etapas dos grupos A e B.

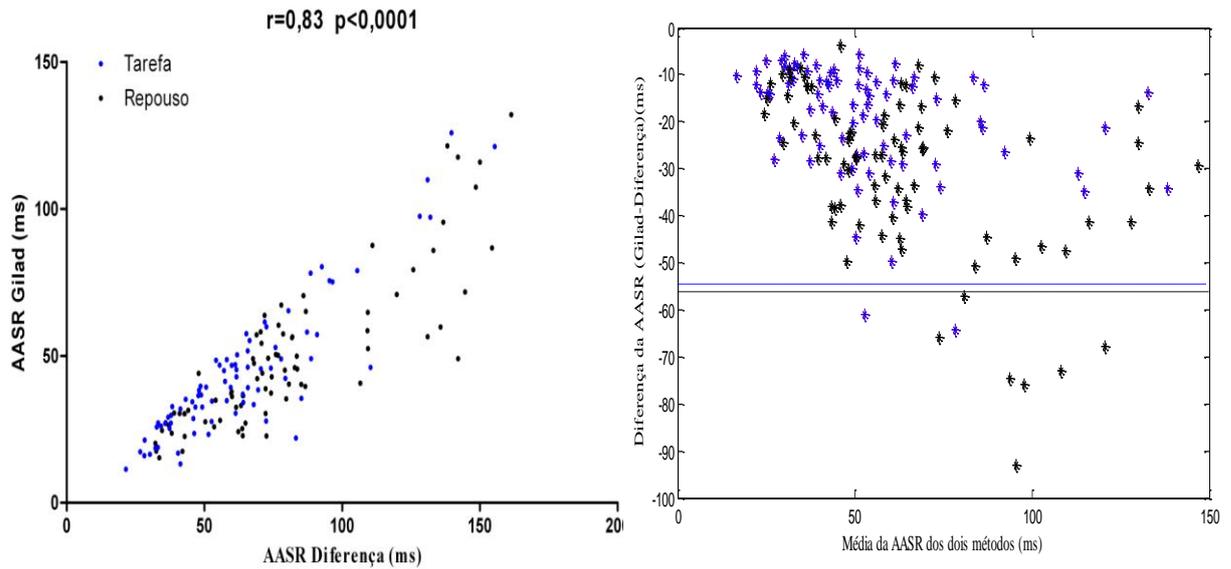


Figura IV-7: Diagrama de espalhamento entre os valores da AASR; AASR diferença: AASR obtida pelo método da diferença; AASR Gilad: AASRm, obtida pelo método adaptado da Gilad: $r = 0,83$ ($p < 0,0001$). Gráfico adaptado de *Bland-Altman* para os valores da AASRm. Diferença da AASR: diferença da AASRm obtida pelo padrão médio da ASR de Gilad menos a AASRmd obtida pelo método da diferença; Média da AASR: média da AASRm dos dois métodos (Gilad e Diferença); (*)preto: etapas de repouso; (*) azul: blocos da tarefa; linha pontilhada preta:1,96.D.P etapas repouso; linha pontilhada azul:1,96.D.P blocos tarefa .

Uma correlação positiva significativa, $r = 0,83$, foi encontrada entre os dois métodos ($p < 0,0001$). Percebe-se que os valores da A_{ASRm} pelo método da Gilad foram menores do que pelo método da diferença. Observa-se que para os valores acima de 100 ms da A_{ASRm} a dispersão aumenta, principalmente nas etapas de repouso.

Como os valores de A_{ASRm} e do PR_m diminuíram, ou seja, a FR_m aumentou durante os blocos da tarefas de atenção, computou-se a correlação entre a A_{ASRm} método da diferença e método Gilad e o PR_m . A Figura IV-8 apresenta os diagramas de espalhamento entre os valores obtidos da A_{ASRm} e da PR_m de todos os voluntários nos blocos das tarefas de atenção.

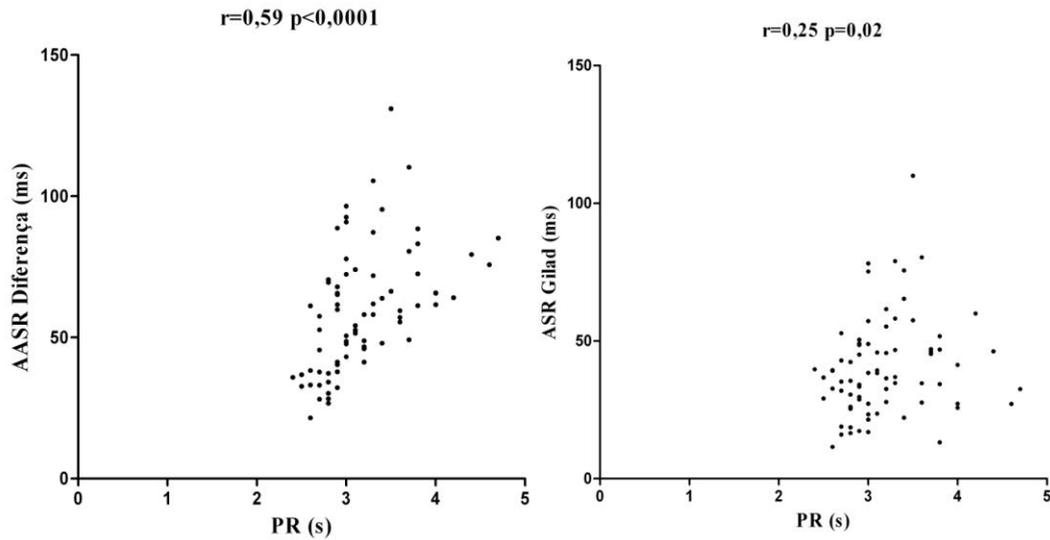


Figura IV-8: Diagramas de espalhamento entre os valores da A_{ASRm} e do PR_m para os voluntários nos blocos das tarefas de atenção; AASR diferença: A_{ASRmd} , obtida pelo método da diferença: $r = 0,59$ ($p < 0,0001$); AASR Gilad: A_{ASRm} , obtida pelo método adaptado da Gilad: $r = 0,25$ ($p = 0,02$).

As correlações foram positivas significativas, entre a A_{ASRmd} , método da diferença, $r = 0,59$ ($p < 0,0001$) e a A_{ASRm} , método adaptado da Gilad, $r = 0,25$ ($p = 0,02$) e o PR_m . Esse resultado sugere a associação esperada entre esses parâmetros, sendo mais significativa na A_{ASRmd} .

IV.2 Parâmetros do Desempenho na Tarefa Atencional

Para se analisar se a dificuldade da tarefa variou em relação à velocidade ou à duração do ciclo do *video game*, os blocos da tarefa de 3,5 s e 4,0 s de ambos os grupos foram unidos, e depois separados por velocidade. A Tabela IV-7 apresenta os valores da mediana (M), primeiro e terceiro quartis (Q1-Q3) do módulo do $Rdist_m$, para os blocos da tarefa de 3,5 s e 4,0 s, em cada velocidade.

Tabela IV-7: Mediana e quartis do módulo de $Rdist_m$ (10^{-5} u.d.) para todos voluntários.

Bloco da Tarefa	3,5			4,0		
Velocidade (u.d/s)	0,6	0,9	1,2	0,6	0,9	1,2
M	213,2	293,4	346,1	209,9	299,1	344,3
(Q1-Q3)	(175,9-236,1)	(254,6-329,8)	(304,9-390,4)	(145,6-267,4)	(260,8-328,4)	(285,8-398,5)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Verifica-se que a média do módulo de $Rdist_m$ aumenta com o aumento da velocidade, tanto na tarefa de 3,5 s quanto na tarefa de 4,0 s. A Figura IV-9 apresenta o *whiskers-plot* com o intervalo de confiança do módulo de $Rdist_m$, para os blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s.

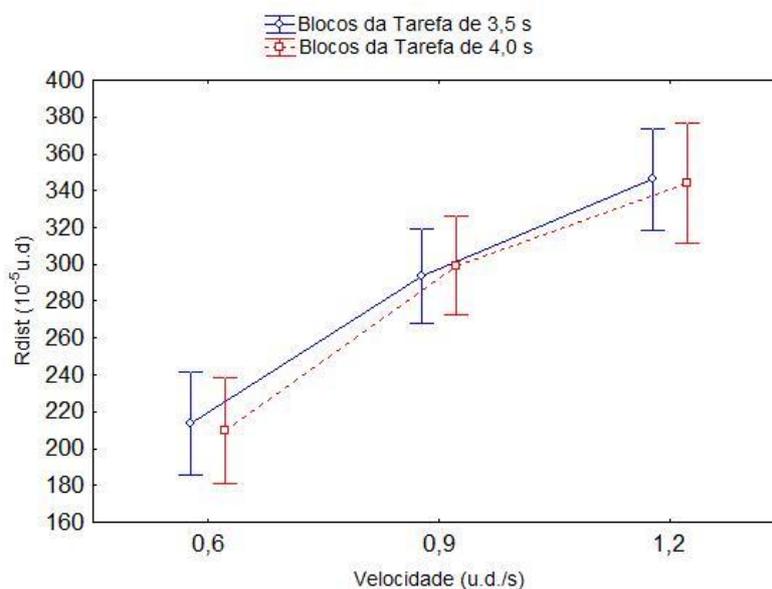


Figura IV-9: Módulo de $Rdist_m$ (10^{-5} u.d.), nas velocidades de 0,6, 0,9, e 1,2 u.d./s, nos blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s, para todos os voluntários. As barras verticais exibem a média (círculo: blocos da tarefa de 3,5 s e quadrado: blocos da tarefa de 4,0 s) e dois desvios-padrão.

A análise estatística indicou que o fator velocidade causou diferença significativa ($p < 0,0001$) para o módulo de $Rdist_m$. No entanto, não houve diferença estatisticamente significativa para o fator bloco da tarefa ($p = 0,99$).

A Tabela IV-8 apresenta os valores da mediana (M), primeiro e terceiro quartis (Q1-Q3) do $R_{dist_{dp}}$ para os blocos da tarefa de 3,5 s e 4,0 s, em cada velocidade.

Tabela IV-8: Mediana e quartis de $R_{dist_{dp}}$ (10^{-5} u.d.) para todos voluntários.

Bloco da Tarefa	3,5			4,0		
Velocidade (u.d/s)	0,6	0,9	1,2	0,6	0,9	1,2
M	239,1	314,5	342,4	237,0	323,6	338,8
(Q1-Q3)	(200,8-270,2)	(289,2-356,8)	(300,1-375,0)	(173,9-290,6)	(284,6-379,6)	(286,0-377,6)

M: mediana; Q1: 1º quartil; Q3: 3º quartil.

Observa-se que a média de $R_{dist_{dp}}$ aumenta com o aumento da velocidade, tanto na tarefa de 3,5 s quanto na tarefa de 4,0s. A Figura IV-10 apresenta o *whiskers-plot* com o intervalo de confiança de $R_{dist_{dp}}$ para os blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s.

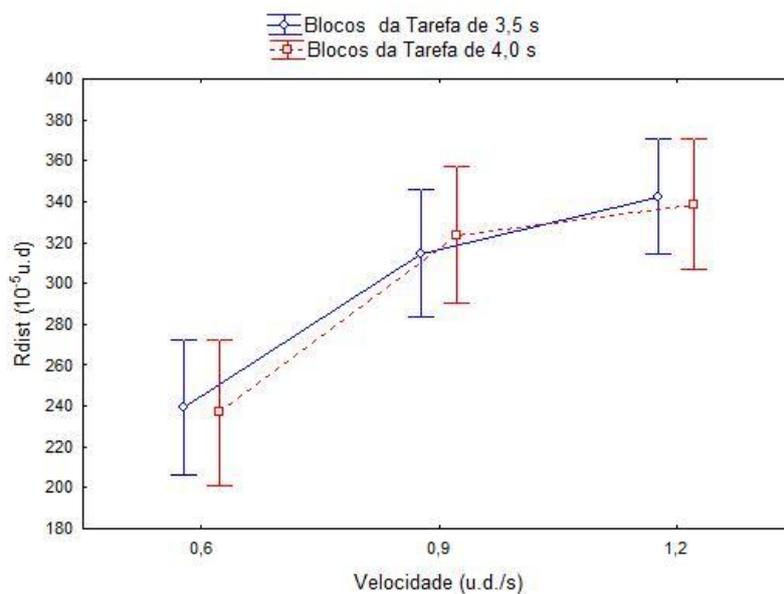


Figura IV-10: $R_{dist_{dp}}$ (10^{-5} u.d.), nas velocidades de 0,6, 0,9, e 1,2 u.d/s, nos blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s, para todos os voluntários. As barras verticais exibem a média (círculo: blocos da tarefa de 3,5 s e quadrado: blocos da tarefa de 4,0 s) e dois desvios-padrão.

Verifica-se diferença estatisticamente significativa ($p < 0,00001$) em $Rdist_{dp}$ relacionada ao fator velocidade. Porém, do mesmo modo que para $Rdist_m$, o fator bloco da tarefa não foi significativo ($p = 0,89$). Devido aos resultados observados tanto para $Rdist_m$, como para $Rdist_{dp}$ na comparação entre os blocos da tarefa, sugere-se que não houve diferença no nível de dificuldade da execução da tarefa para os blocos de 3,5 s e 4,0 s.

A Figura IV-11 apresenta o *whiskers-plot* com o intervalo de confiança para o número de erros nos blocos da tarefa de 3,5 s e 4,0 s.

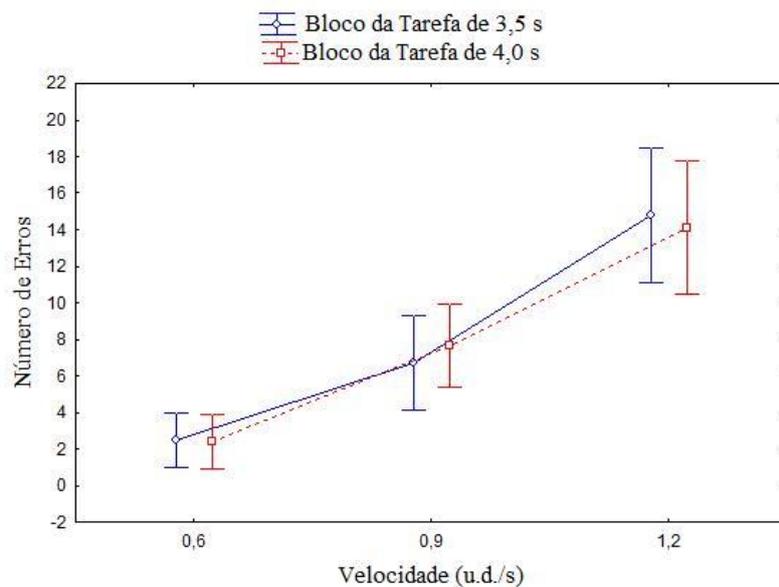


Figura IV-11: Número de erros nas velocidades de 0,6, 0,9, e 1,2 u.d./s, nos blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s, para todos os voluntários. As barras verticais exibem a média (círculo: blocos da tarefa de 3,5 s e quadrado: blocos da tarefa de 4,0 s) e dois desvios-padrão.

Observa-se que o número de erros foi diferente significativamente ($p < 0,0001$) entre as velocidades. A percentagem média de erros foi de 4,08, 11,93 e 24,08%, nas velocidades de 0,6, 0,9 e 1,2 u.d./s.

IV.3 Correlação entre os Parâmetros Cardiorrespiratórios e de Desempenho da Tarefa Atencional

Realizou-se a correlação de *Spearman* dos parâmetros cardiorrespiratórios, A_{ASRm} e PR_m , com a porcentagem de erros. A Figura IV-12 apresenta o diagrama de espalhamento entre os valores obtidos da A_{ASRm} (padrão médio da ASR) e da porcentagem do erros por blocos da tarefa de todos os voluntários.

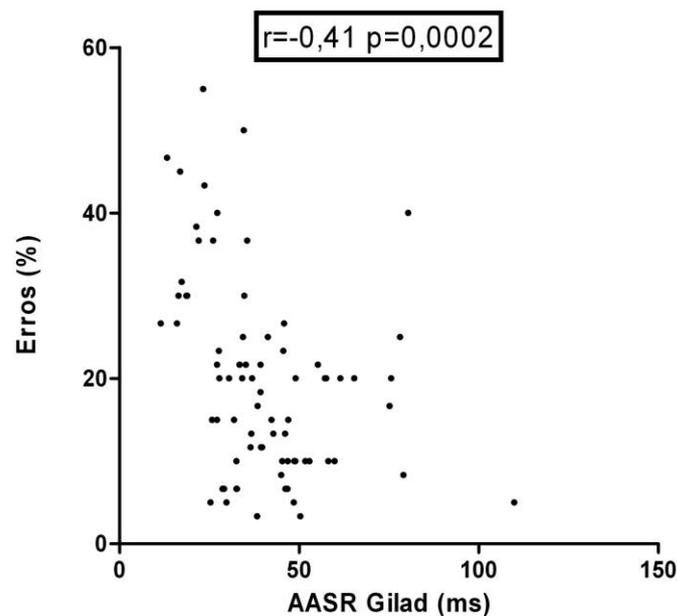


Figura IV-12: Diagrama de espalhamento entre a porcentagem do número de erros e o padrão médio da ASR. AASR: padrão médio da ASR (ms); Erros (%): porcentagem de erros por bloco da tarefa: $r = -0,41$; $p = 0,0002$.

A correlação encontrada foi negativa e significativa, $r = -0,41$, entre o número de erros (%) e o padrão médio da ASR ($p = 0,0002$). Observa-se uma dispersão nas altas porcentagens de erros, acima de 40%. Não foi possível observar uma correlação significativa entre o número de erros (%) e a A_{ASRmd} , obtida pelo método da diferença.

A Figura IV-13 apresenta o diagrama de espalhamento entre os valores obtidos da porcentagem do número de erros e do PR_m de todos os voluntários nos blocos das tarefas de atenção.

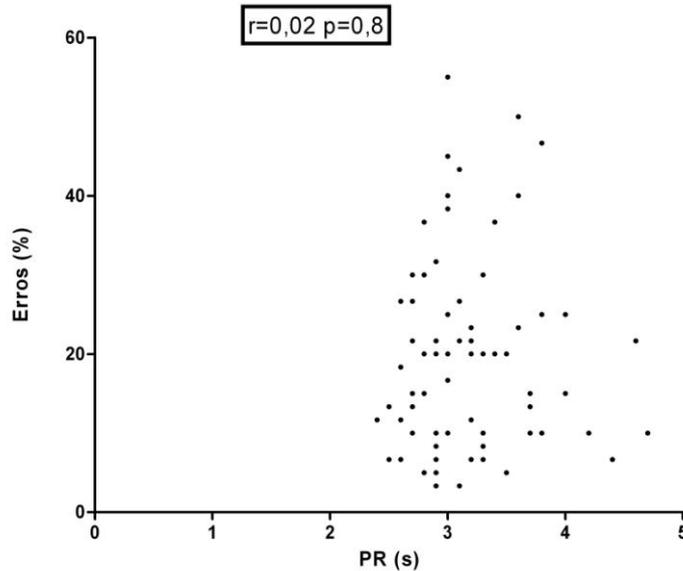


Figura IV-13: Diagrama de espalhamento entre a porcentagem do número de erros e o PR_m . PR_m : período respiratório (s); Erros (%): porcentagem de erros por bloco da tarefa; $r = 0,02$; $p = 0,8$.

Não foi possível observar uma correlação significativa entre o número de erros (%) e o PR_m ($p = 0,8$).

IV.4 Sincronismo entre a Ventilação e a Tarefa de Atenção

As Figura IV-14 e Figura IV-15 apresentam os histogramas dos intervalos entre os inícios da expiração e a passagem do círculo sobre a LV, respectivamente, para os blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s, para quatro voluntários selecionados.

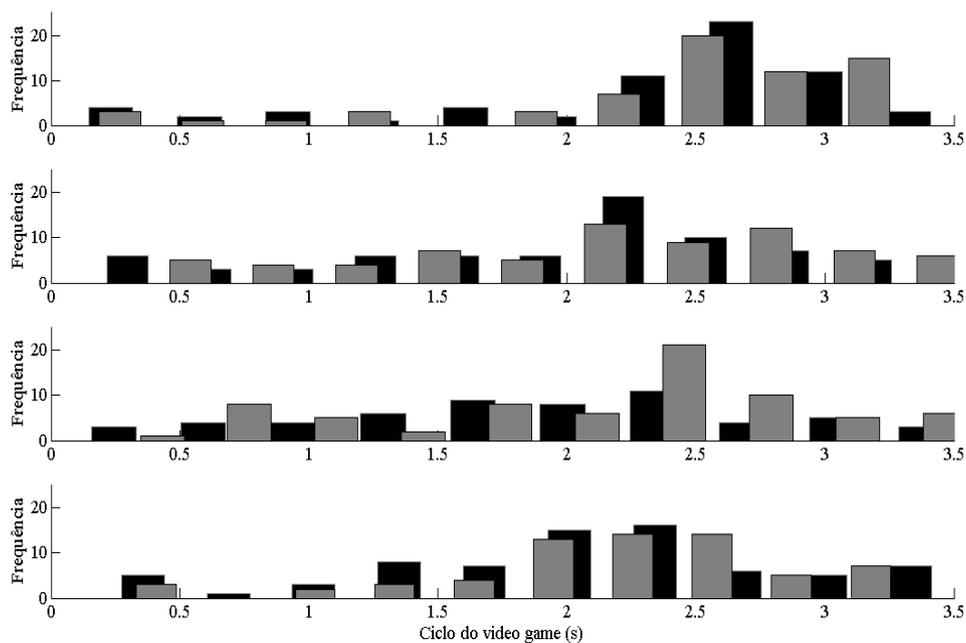


Figura IV-14: Histogramas para os intervalos entre os inícios das expirações e a passagem do círculo sobre a LV, para quatro voluntários. Barras pretas representam o 1º bloco da tarefa de 3,5 s, e barras cinzas o 2º bloco da tarefa de 3,5 s. Com a finalidade de facilitar a visualização dos histogramas, o 2º bloco da tarefa foi adiantado em 0,05 s.

Os gráficos sugerem uma tendência para se iniciar a expiração 2,0 s após a LV, que representa 1,5 s antes da passagem do círculo sobre a LV, ou seja, na segunda metade da TV e durante a TH. Para um voluntário, os picos de ocorrência do início das expirações foram em 1,5 s depois da passagem do círculo sobre a LV, ou seja, no início da TV. Portanto, não se verificou uma tendência para iniciar as expirações no mesmo momento do ciclo do *video game* para todos os voluntários. Além disso, não foi possível identificar qualitativamente tendências para dez voluntários (5 do grupo A e 5 do B).

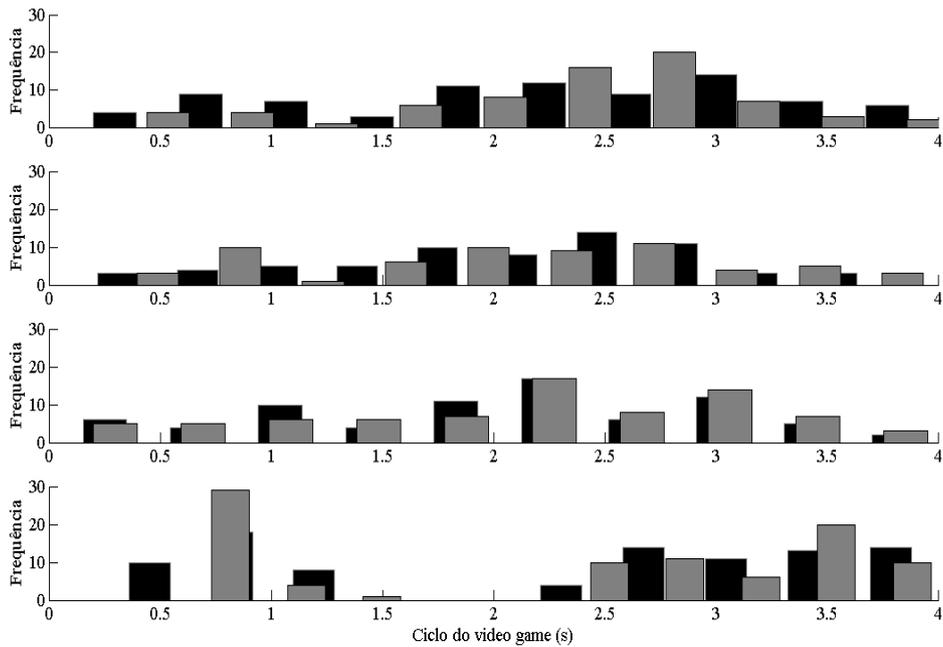


Figura IV-15: Histogramas dos intervalos entre os inícios das expirações e a passagem do círculo sobre a LV, para quatro voluntários. Barras pretas representam o 1º bloco da tarefa de 4,0 s, e barras cinza o 2º bloco da tarefa de 4,0 s. Com a finalidade de facilitar a visualização dos histogramas, o 2º bloco da tarefa foi adiantado em 0,1 s.

Percebe-se uma tendência para a ocorrência do início das expirações, 2,0 s após a LV. Este momento corresponde à segunda metade da TV ou durante a TH. Para um voluntário, os inícios da expiração se concentraram 3,5 s após a LV, ou seja, na TH e também entre 0,5 s e de 1,0 s após a LV, que corresponde ao início da TV. Não foram observadas tendências para 12 dos voluntários (4 do grupo A e 8 do grupo B).

As Figura IV-16 Figura IV-17 apresentam os histogramas para os intervalos entre os inícios da inspiração e a passagem do círculo sobre a LV, respectivamente, para os blocos da tarefa de 3,5 s, e 4,0 s, para 4 voluntários selecionados.

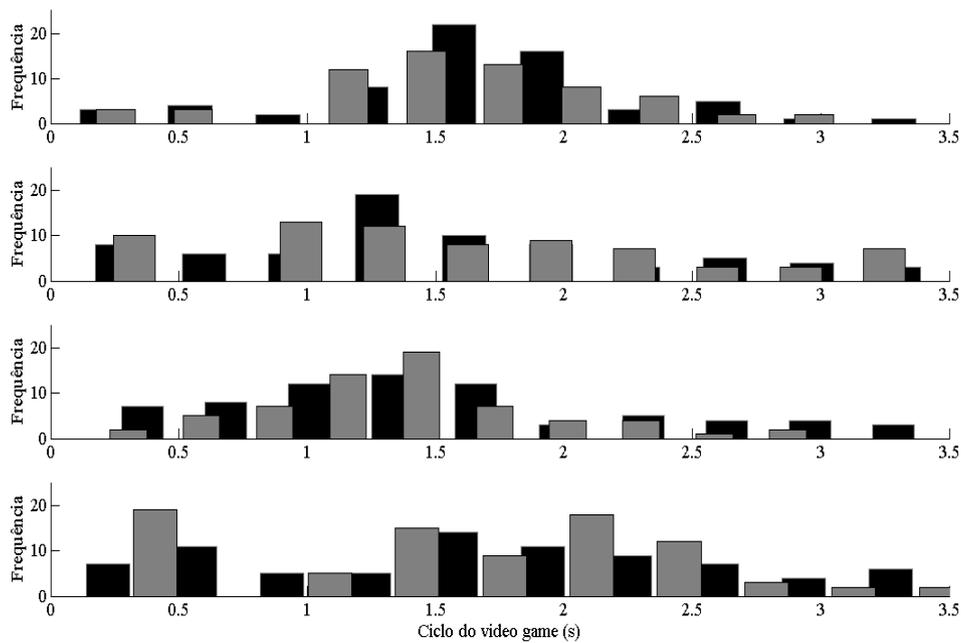


Figura IV-16: Histograma para os intervalos entre os inícios das inspirações e a passagem do círculo sobre a LV, para quatro voluntários. Barras pretas representam o 1º bloco da tarefa de 3,5 s, e barras cinza o 2º bloco da tarefa de 3,5 s. Com a finalidade de facilitar a visualização dos histogramas, o 2º bloco da tarefa foi adiantado em 0,05 s.

Os gráficos sugerem uma tendência a se iniciar as inspirações entre 1,0 s e 2,0 s após a LV, e para um dos voluntários, até 2,5 s, ou seja, durante a TV. Não foi observada uma tendência a se iniciar as inspirações antes da passagem do círculo sobre a LV. Para dez voluntários, o início das inspirações ocorreu de maneira uniforme durante o ciclo do *video game*.

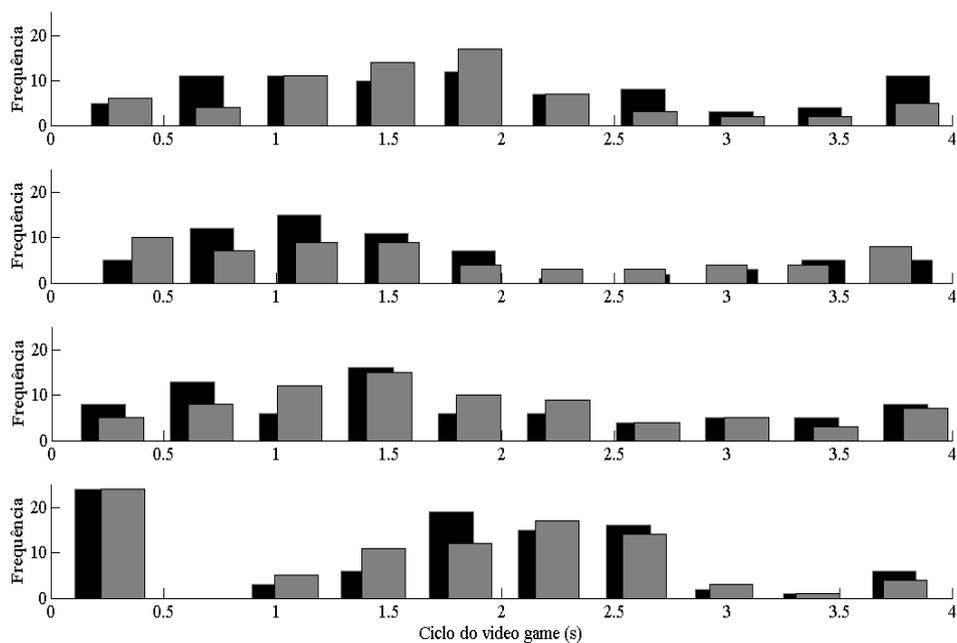


Figura IV-17: Histograma para os intervalos entre os inícios das inspirações e a passagem do círculo sobre a LV, para quatro voluntários. Barras pretas representam o 1º bloco da tarefa de 4,0 s, e barras cinza o 2º bloco da tarefa de 4,0 s. Com a finalidade de facilitar a visualização dos histogramas, o 2º bloco da tarefa foi adiantado em 0,1 s.

Percebe-se que o início das inspirações ocorreu entre 0,5 s e 2,0 s após a LV, ou seja, antes e durante a TV. Para alguns voluntários, ocorreu um pico em 4,0 s, que representa antes da passagem do círculo sobre a LV. Para outro, ocorreu um pico logo após 0 s, que representa o instante após a passagem do círculo sobre a LV. Um voluntário apresentou uma tendência a iniciar as inspirações no momento da passagem do círculo sobre a LV. Da mesma forma que nos blocos da tarefa de 3,5 s, não foram observadas tendências para dez voluntários.

Apesar de não se confirmar para todos os voluntários a hipótese do sincronismo entre a ventilação e a tarefa, este parece ter ocorrido para alguns (aproximadamente 10 voluntários em todos os blocos). Esse resultado tornou-se esperado, após a observação do PR_m nos blocos da tarefa, visto que o PR_m não foi similar à periodicidade da tarefa.

V. Discussão

V.1 Resultados Principais

Os principais resultados foram a diminuição do PR e de sua variabilidade durante a execução da tarefa atencional, proporcionado um padrão respiratório mais regular. Nos blocos da tarefa também foi observada a diminuição da A_{ASR} , que pode ter se originado na dependência entre a ASR e a ventilação, em modificações na atividade autonômica induzida pela tarefa de atenção, na associação de ambas, ou em outras causas. Outro resultado importante foi que não pode ser observada a modulação evidente do PR pela periodicidade da tarefa, apesar de ter havido aparentemente um sincronismo pela avaliação qualitativa entre a ventilação e a tarefa de atenção, em alguns casos (10 voluntários).

V.2 Parâmetros Cardiorrespiratórios

A diminuição do PR foi observado em algumas tarefas de atenção, como operações matemáticas realizadas em silêncio (BEDA *et al.*, 2007) ou em tarefas de atenção que associavam tempo de coincidência de escolha, memória visual e atenção mantida (ALTHAUS *et al.*, 1998, DUSCHEK *et al.*, 2009). O presente trabalho observou a diminuição do PR, ou seja, o aumento da FR durante os blocos da tarefa. Portanto, está de acordo com a hipótese de que um padrão ventilatório mais rápido seja observado durante as tarefas com a atenção mantida (WIEN TJES *et al.*, 1998). Porém, diferentemente de outros trabalhos, a tarefa envolveu uma carga atencional periódica e tempo de reação simples, sem requerer recursos de memória visual. Além disso, os voluntários não foram informados da aquisição da ventilação, evitando a alocação da

atenção para a ventilação, e conseqüentemente minimizando as mudanças no padrão ventilatório. (HAN *et al.*, 1997).

A diminuição da A_{ASR} observada no presente estudo já foi previamente observada em tarefas de atenção (BEDA *et al.*, 2007, HOUTVEEN *et al.*, 2002). A diminuição da A_{ASR} pode estar associada a um efeito da atenção focal mantida que pode alterar a ativação do SNA durante as tarefas de atenção (THAYER & LANE, 2000). DUSCHEK *et al.* (2009) relataram uma diminuição da A_{ASR} durante as etapas da tarefa (tempo de reação e atenção mantida), quando comparadas com o repouso, em um protocolo sem ventilação educada. Os autores observaram uma correlação positiva entre a ASR na tarefa e a porcentagem do número de erros, e uma correlação negativa entre a ASR na tarefa e a atenção funcional, ou seja, os voluntários com menor A_{ASR} apresentaram melhor desempenho na tarefa. Então, foi sugerido que a diminuição da ASR associava-se à redução do tônus vagal cardíaco para o aperfeiçoamento do desempenho na tarefa. Apesar de terem observado um aumento na FR durante as etapas da tarefa, eles não consideraram a associação entre a A_{ASR} e a FR. No presente trabalho, observou-se uma associação entre a A_{ASR} (método Gilad) e a porcentagem do número de erros ($r = -0,41$ e $p = 0,0002$), ou seja, que os voluntários com menor A_{ASR} apresentaram pior desempenho na tarefa. Essa diminuição da ASR pode estar associada a um aumento do nível de estresse dos voluntários, em parte causado pela informação instantânea do desempenho, pela instrumentação ou outras causas. No entanto, no mesmo bloco da tarefa, observaram-se graus diferentes do desempenho para o mesmo voluntário, então, a porcentagem de erros pode estar associada a uma parte do bloco e, talvez, não deva ser associada à A_{ASR} do bloco inteiro. Não foi possível observar uma correlação significativa entre a $A_{ASR_{md}}$ (método da diferença e o número de erros), possivelmente pela maior variabilidade da $A_{ASR_{md}}$.

Por outro lado, as variações da ventilação como as observadas no presente trabalho podem influenciar a A_{ASR} e devem ser consideradas na análise da ASR. Uma das causas prováveis da diminuição A_{ASR} é a diminuição do PR (RITZ & DAHME, 2006). A correlação significativa e positiva ($r = 0,59$, $p < 0,0001$) entre a A_{ASR} e o PR, observada está de acordo com a literatura (HIRSCH & BISHOP, 1981, BROWN *et al.*, 1993). Entretanto, deve ser considerado que não foi realizado o controle do VC e da $PaCO_2$, parâmetros ventilatórios que também influenciam a A_{ASR} (HIRSCH & BISHOP, 1981, SASANO *et al.*, 2002) e podem alterar esta correlação. Portanto, a contribuição relativa do PR e da carga mental na estimativa da amplitude da ASR não pode ser esclarecida.

A A_{ASR} calculada pelo padrão médio (método Gilad) na tarefa ($FR_m = 18,8$ ipm e $A_{ASR} = 45$ ms, para os dois grupos) foi menor do que a observada por GRANJA-FILHO (2007), que também utilizou um método adaptado de GILAD *et al.* (2005). GRANJA-FILHO (2007) utilizou um protocolo com controle da FR e do VC, e observou na FR de 20 ipm, a A_{ASR} de 74 ms. A A_{ASR} pode ter sido menor pelo menor número de iterações utilizados no processo de exclusão de ciclos para o cálculo do padrão médio (um no presente trabalho versus seis no trabalho citado), ou pelo critério de seleção de voluntários no trabalho de GRANJA-FILHO (2007), que eliminou aqueles com os valores de A_{ASR} na ventilação espontânea fora do intervalo de 100 a 400 ms, ou ainda por um maior esforço mental da tarefa quando comparado ao do controle ventilatório. O pico de taquicardia ocorreu no início da expiração durante todo o protocolo experimental, concordando com o trabalho citado, que mostrou que em FR altas, o pico da taquicardia tende a ocorrer no início da expiração.

Um aspecto importante do presente trabalho foi a redução da variabilidade do PR (Figura IV-2) nos blocos da tarefa atencional. Os efeitos da carga atencional sobre a

variabilidade do padrão ventilatório são pouco relatados na literatura. BOITEN (1998) relatou uma diminuição do CV dos parâmetros ventilatórios (FR, VC, Ti e Te) em uma tarefa com tempo de reação associada a estímulos aversivos, enquanto que em uma tarefa de imersão da mão em água fria foi observado aumento. No presente estudo, a diminuição do desvio-padrão e do CV do PR foi observada nos blocos de atenção, em comparação com o repouso. Esses resultados apresentam a obtenção de um padrão ventilatório mais regular na tarefa, o que pode ser favorável para a estimativa da ASR por diminuir os erros relacionados às flutuações da ventilação (ALTHAUS *et al.*, 1998). Sugere-se portanto que os blocos da tarefa tiveram melhor capacidade na redução da variabilidade intra e inter-individual do PR quando comparado com o repouso. De acordo com HAAS *et al* (1986) tarefas com estímulos direcionados, como o ato de clicar, podem reduzir da variabilidade do período respiratório.

V.3 Parâmetros do Desempenho na Tarefa Atencional

Os resultados observados para os parâmetros de desempenho da tarefa (Tabelas VI-7 e VI-8) foram diferentes para o fator velocidade da tarefa, sendo maior na velocidade mais rápida (1,2 u.d./s) e menor na velocidade mais lenta (0,6 u.d./s). Como esperado, o desempenho foi melhor na velocidade mais lenta. Porém, para o fator período da tarefa (3,5 s e 4,0 s) não houve diferença significativa, ou seja, o desempenho dos voluntários foi semelhante em ambos os blocos. Adicionalmente, houve diferença significativa no número de erros nas diferentes velocidades. Esses resultados sugerem que o grau de dificuldade foi idêntico em ambos os períodos da tarefa, mas não entre as diferentes velocidades. Como em um mesmo período da tarefa ocorreram diferentes graus de dificuldade da tarefa, pode-se sugerir que um protocolo com blocos com o mesmo período da tarefa, mas com separação dos graus de

dificuldade, ou com somente um grau de dificuldade, possam causar resultados diferentes na modulação do PR ou da ASR.

V.4 Sincronismo entre a Tarefa e a Ventilação

Não foi possível observar a condução do período respiratório pela periodicidade da tarefa (3,5 s ou 4,0 s). Os PR_m para todos os voluntários, tanto para o bloco da tarefa de 3,5 s quanto o de 4,0 s, foram ambos de 3,2 s, sugerindo que, independentemente do período da tarefa, o PR seja similar. Deve-se ressaltar que o sincronismo entre a ventilação e a tarefa de atenção pode ser observado para alguns voluntários (dez voluntários). Ao comparar-se o protocolo experimental definitivo com o piloto (ANEXO D), algumas diferenças podem ser relatadas e associadas aos resultados do presente trabalho. Primeiro, o protocolo experimental do presente trabalho foi constituído de quatro blocos da tarefa com periodicidades diferentes (3,5 s e 4,0 s), alternadas e com duração de 60 ciclos cada, em comparação com três blocos da tarefa com periodicidade única (3,5 s) e com 45 ciclos cada. Segundo, os locais de realização foram diferentes: o protocolo experimental piloto foi realizado no Laboratório de Engenharia Pulmonar, e assim, apesar de não ter sido relatada a aquisição da ventilação, os voluntários podem ter suposto que essa seria realizada. Além disso, o menor número de voluntários no protocolo experimental piloto pode ter favorecido observação casual. Portanto, talvez a informação da aquisição da ventilação ou tornar explícito a periodicidade da tarefa possa ajudar a condução do PR. Outros fatores importantes são a diferença entre os tempos de duração do ciclo do *video game* (3,5 s e 4,0 s), a diferença pode ter sido pequena para gerar uma modulação diferente no PR e o PR de repouso dos voluntários, que foi maior no protocolo piloto.

Em vista do PR médio ter sido de 3,2 s nos blocos da tarefa, pode-se especular que uma periodicidade da tarefa menor que 4,0 s e mesmo que 3,5 s, ou seja, aumentar a frequência de repetição da tarefa poderia ter mais efeito na tentativa de “sincronizar” ou pelo menos de conduzir o período da respiração e da tarefa. Outro trabalho de HAAS *et al.*, 1986 observou uma condução do período respiratório e a tarefa com uma relação entre os períodos de 1:4 e 1:8, ou seja, o período da tarefa foi menor do que o respiratório. Como relatado, no mesmo bloco da tarefa observou-se três graus de dificuldade que talvez possam ter dificultado a observação do sincronismo.

V.5 Limitações

Deve ser considerado nos resultados que durante o protocolo experimental o VC não foi controlado. Escolheu-se não realizar o controle do VC devido ao objetivo principal do presente trabalho, ou seja, a modulação do PR sem a alocação voluntária da atenção. A literatura relata uma relação positiva (HIRSH & BISHOP, 1981) entre a A_{ASR} e o VC. Assim, a diminuição da A_{ASR} observada nos blocos das tarefas de atenção pode estar associada a uma diminuição do VC, embora alguns estudos de atenção não tenham observado mudanças no VC com o aumento da FR (SHEA *et al.*, 1987, MADOR & TOBIN, 1991). Não foi possível monitorizar o VC por limitações instrumentais, pois o pletismógrafo disponível para o trabalho não permitia o posterior cálculo do VC e o emprego de máscara facial acoplada ao pneumotacógrafo poderia dificultar, pois pode gerar estresse e tornaria explícita a aquisição da ventilação.

O nível de estresse dos voluntários poderia ter sido avaliado por escalas de estresse para serem relacionados com o desempenho dos voluntários e os parâmetros cardiorrespiratórios. Assim, outras explicações poderiam ter sido relatadas, tais como a correlação entre o nível de estresse e a ASR.

Em alguns momentos, o sinal ventilatório apresentou uma acomodação (platô) entre a transição da expiração para inspiração, em aproximadamente 5% do sinal, no pior caso considerado. Esse platô pode induzir uma detecção incorreta do início da inspiração, que é essencial para verificar o sincronismo. Pode-se verificar que o sinal ventilatório apresentou ruídos momentâneos, em alguns casos apresentou baixa amplitude e ruído de quantização. Outra questão a ser relatada é que a edição manual do sinal ventilatório poderia ter sido realizada por um operador neutro. No entanto, esta foi feita de forma cega em relação tanto aos batimentos cardíacos quanto às etapas do protocolo, procurando-se reduzir vieses.

Na análise dos parâmetros cardiorrespiratórios, não foram excluídos os trechos de transição, como o início e o fim de cada etapa. Nesses trechos pode ocorrer uma variação dos parâmetros, possivelmente pela adaptação do voluntário, e modificar os resultados.

V.6 Análises Suplementares

As interações cardiorrespiratórias são bidirecionais, ou seja, ocorre a modulação ventilatória no sistema cardíaco, a ASR, relatada anteriormente e também se observa a modulação do sistema cardíaco na ventilação, o acoplamento cardiorrespiratório (AC). A sincronização dos batimentos cardíacos com os ciclos respiratórios é definida como intervalos entre batimentos cardíacos e pontos fiduciais do ciclo respiratório. A hipótese sugerida da gênese do AC é um sinal aferente cardiovascular, supostamente por um batimento pré-inspiratório que iniciaria o ciclo respiratório (GALLETLY & LARSEN, 1999). Outros estudos relataram outras prováveis causas do AC, como a estimulação de nervos aferentes não ventilatórios (LARSEN *et al.*, 2003) e informação aferente dos barorreceptores (TZENG *et al.*, 2003).

O AC é observado, principalmente, em indivíduos em repouso, ventilando espontaneamente e na posição supina (GALLETLY & LARSEN, 1999). LOPES *et al.*, (2008) relataram que o AC não foi observado em voluntários realizando um protocolo de ventilação educada.

Para avaliar preliminar e qualitativamente a presença de sincronismo e AC, calculou-se o sincrograma entre ventilação e o instante dos batimentos cardíacos, obtido pelo cálculo do intervalo entre o instante de cada batimento e o início da inspiração seguinte (RI) e representado graficamente, exibindo o RI em função do instante de cada batimento (iR). Essa análise temporal permite observar a distribuição dos batimentos durante os ciclos respiratórios. A presença do AC no sincrograma é apresentada por bandas horizontais que indicam uma concentração de batimentos em determinados trechos do ciclo respiratório. A Figura V-1 apresenta o sincrograma para um voluntário do presente trabalho com longos períodos em AC, e a Figura V-2 para outro voluntário com curtos períodos em AC.

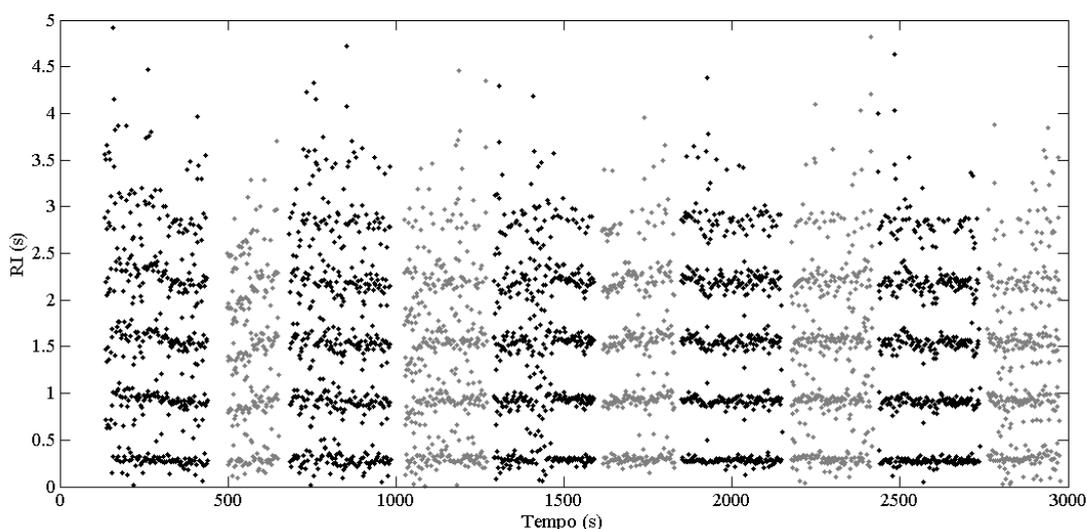


Figura V-1: Sincrograma Cardiorrespiratório para um voluntário com longos períodos em AC. Em preto o repouso, e em cinza os blocos da tarefa. RI: intervalo entre o batimento e o início da inspiração. Abscissas dos pontos: representam o instante iR do batimento; Ordenadas representam respectivos intervalos RI.

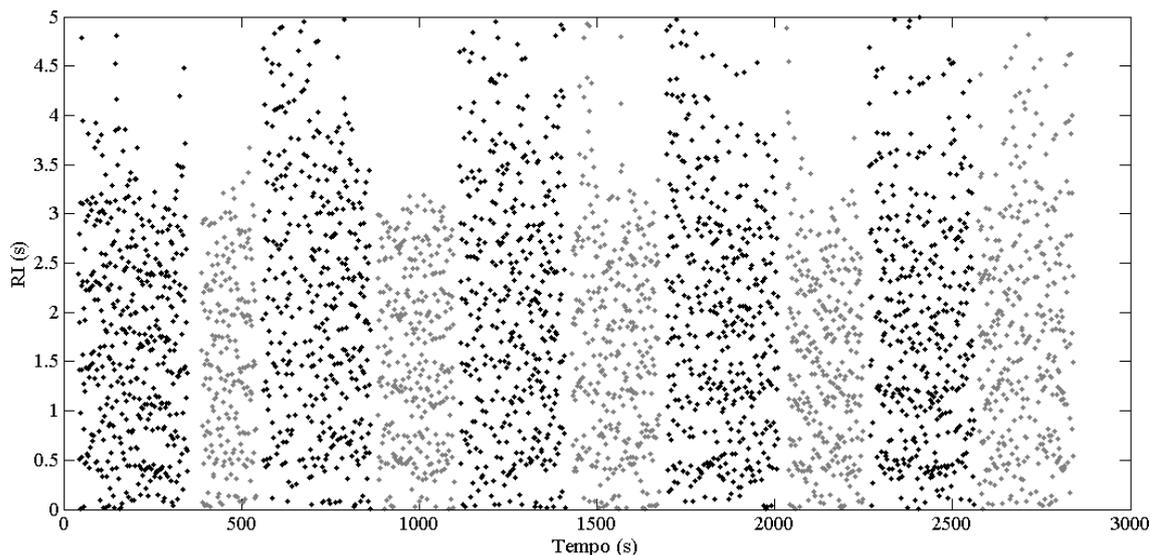


Figura V-2: Sincrograma Cardiorrespiratório para um voluntário com longos períodos em AC. Em preto o repouso, e em cinza os blocos da tarefa. RI: intervalo entre o batimento e o início da inspiração. Abscissas dos pontos: representam o instante iR do batimento; Ordenadas representam respectivos intervalos RI.

Observa-se no voluntário com longos períodos em AC, bandas horizontais bem definidas tanto nas etapas de repouso como nas tarefas, sugerindo que o voluntário apresentou o AC, durante todo o protocolo experimental. No voluntário com curtos períodos em AC não é possível perceber as bandas horizontais bem definidas, durante todo o protocolo, apenas em partes de algumas etapas, então pelo método qualitativo não podemos sugerir que o voluntário apresentou um AC. Alguns voluntários do protocolo experimental apresentaram sincrogramas com longos períodos em AC, outros com curtos períodos em AC, e ainda, outros com sincrogramas duvidosos, os quais não puderam ser classificados como longos ou curtos períodos em AC. No entanto, o intuito dessa análise foi relatar a presença e ausência do AC para alguns voluntários, independente da etapa do protocolo experimental ser repouso ou tarefa.

VI. Conclusão

A modulação do PR pela periodicidade da tarefa, sem a alocação da atenção para a ventilação, proposta no presente trabalho, não pode ser observada. Tendo em vista que o PR_m foi semelhante nos blocos das tarefas, não foi possível esclarecer se a diminuição da ASR foi pela modulação ventilatória, pelo esforço mental ou ambos. No entanto, os blocos da tarefa parecem ser superiores em limitar a variabilidade inter- e intra-individual da ventilação, quando comparados com o repouso, sugerindo que o seu uso para investigar a função autonômica possa ser menos influenciado pelo efeito da ventilação. O presente trabalho ressalta a importância de realizar a monitorização da ventilação em estudos psicofisiológicos, devido às mudanças ocorridas no padrão ventilatório durante a realização de tarefas de atenção, e suas implicações nas estimativas de índices da atividade do SNA.

Visto por outro lado, a obtenção do mesmo PR_m para tarefas com periodicidades diferentes pode facilitar a procura de outros protocolos. Um protocolo no qual os voluntários tenham o mesmo PR_m para as diferentes tarefas e com diferentes graus de dificuldade nas tarefas, ou seja, diminuindo a estimativa de erro pela flutuação da ventilação, mas com graus de ativação do SNA diferentes. O fato das dificuldades terem sido misturadas nos blocos pode ter dificultado a observação da condução do período respiratório, então as pesquisas futuras podem incluir protocolos com a organização das dificuldades em blocos.

Mais pesquisas são necessárias para verificar se existem tarefas de atenção que possam modular o PR para um período desejado, por meio de um estímulo específico de atenção ou cognitivo ou a associação com outros estímulos, sem o controle voluntário da atenção.

Referências Bibliográficas

AIRES, M. M., 1999, *Fisiologia*. 2 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.

ANGELONE, A. & COULTER, N. A. J., 1964, “Respiratory sinus arrhythmia: a frequency dependent phenomenon”, *Journal of Applied Physiology*, v. 19, n. 3, pp. 479-482.

ALTHAUS, M., MULDER, L. J., MULDER, G., *et al.*, 1998, “Influence of respiratory activity on the cardiac response pattern to mental effort”, *Psychophysiology*, v.35, n. 4, pp. 420-430.

BEDA, A., JANDRE, F. C., PHILLIPS, D. I. W., *et al.*, 2007, “Heart-rate and blood-pressure variability during psychophysiological tasks involving speech: influence of respiration”, *Psychophysiology*, v. 44, n. 5, pp. 767-778.

BERNARDI, L., PORTA, C., GABUTTI, A., *et al.*, 2001, “Modulatory effects of respiration”, *Autonomic Neuroscience : Basic & Clinical*, v. 90, n. 1-2, pp. 47-56.

BERNARDI, L., PORTA, C., SLEIGHT, P., 2006, “Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence”, *Heart*, v.92, n. 4, pp. 445-452.

BERNE, R. M., & LEVY, M. L., 2000, *Fisiologia*. 4 ed. Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan.

BERNTSON, G. G., BIGGER, J. T. J., ECKBERG, D. L., *et al.*, 1997, “Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats”, *Psychophysiology*, v. 34, n. 6, pp. 623-648.

BLOOMFIELD, D. M., MAGNANO, A., BIGGER, J. T. J., *et al.*, 2001, “Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal

modulation using RR variability”, *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, v. 280, n. 3, pp. H1145-1150.

BOITEN, F. A., 1998, “The effects of emotional behaviour on components of the respiratory cycle”, *Biological Psychology*, v. 49, n. 1-2, pp. 29-51.

BROWN, T. E., BEIGHTOL, L. A., KOH, J., *et al.*, 1993, “Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored”, *Journal of Applied Physiology*, v. 75, n. 5, pp. 2310-2317.

CAMPBELL, H. A., TAYLOR, E. W., EGGINTON, S., 2005, “Does Respiratory sinus arrhythmia occur in fishes?” *Biology Letters*, v. 1, n. 4, pp. 484-487.

COOKE, W. H., COX, J. F., DIEDRICH, A. M., *et al.*, 1998, “Controlled breathing protocols probe human autonomic cardiovascular rhythms”, *The American Journal of Physiology*, v. 274, n. 2, pp.H709-718.

DENVER, J. W., REED, S. F., PORGES, S. W., 2007, “Methodological issues in the quantification of respiratory sinus arrhythmia”, *Biological Psychology*, v. 74, n. 2, pp.286-294.

DEXTER, F., & BEN-HAIM, S., 1994, “Theoretical analysis predicts that Respiratory Sinus Arrhythmia Does Not Accurately Measure Efferent Vagal Activity During Anesthesia”, *Journal of Theoretical Biology*, v.169, n. 2, pp. 133-141.

DUSCHEK, S., MUCKENTHALER, M., WERNER, N., *et al.*, 2009, “Relationships between features of autonomic cardiovascular control and cognitive performance”, *Biological Psychology*, v. 81, n. 2, pp. 110-117.

ECKBERG, D. L., 1983, “Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow”, *Journal of Applied Physiology*, v. 54, n. 4, pp. 961-966.

ECKBERG, D. L., 2003, “The human respiratory gate”, *The Journal of Physiology*, v. 548, n. Pt 2, pp. 339-352.

ECKBERG, D. L., KIFLE, Y. T., ROBERTS, V.L., 1980, "Phase relationship between normal human respiration and baroreflex responsiveness", *The Journal of Physiology*, v. 304, pp. 489-502.

GALLEGO, J., NSEGBE, E., DURAND, E., 2001, "Learning in respiratory control", *Behavior Modification*, v. 25, n. 4, pp. 495-512.

GALLETLY, D. C., LARSEN, P. D., 1999, "Ventilatory frequency variability in spontaneously breathing anaesthetized subjects", *British Journal of Anaesthesia*, v. 83, n. 4, pp. 552-563.

GIANNELLA NETO, A., VALE, M. J. O., VIDAL MELO, M. F., 1992, "Accurate calibration of pneumotachographs using a syringe and polynomial curve fitting", In: *Proceedings 14th Annual International Conference IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, pp. 693-694.

GILAD, O., SWENNE, C. A., DAVRATH, L. R., *et al.*, 2005, "Phase-averaged characterization of respiratory sinus arrhythmia pattern", *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, v. 288, n. 2, pp. H504-510.

GRANJA-FILHO, P.C.N., 2007, *Efeitos da Ventilação Educada Sobre o Padrão Médio da Arritmia Sinusal Respiratória*, Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

GROSSMAN, P., 1983, "Respiration, stress, and cardiovascular function", *Psychophysiology*, v. 20, n. 3, pp. 284-300.

GROSSMAN, P., & TAYLOR, E.W., 2007, "Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions", *Biological Psychology*, v. 74, n. 2, pp. 263-285.

GROSSMAN, P., VAN BEEK, J., WIENTJES, C., 1990, "A comparison of three quantification methods for estimation of respiratory sinus arrhythmia", *Psychophysiology*, v. 27, n. 6, pp. 702-714.

GUYTON, A. C., & HALL, J. E., 2006, *Tratado de Fisiologia Médica*. 11 ed. Rio de Janeiro, Elsevier.

HAAS, F., DISTENFELD, S., AXEN, K., 1986 “Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern”, *Journal of Applied Physiology*, v. 61, n. 3, pp. 1191-1986.

HAN, J.N., STEGEN, K., CAUBERGHES, M., *et al.*, 1997, “Influence of awareness of the recording of breathing on respiratory pattern in healthy humans”, *The European Respiratory Journal*, v. 10, n.1, pp.161-166.

HAYANO, J., YASUMA, F., OKADA, A., *et al.*, 1996, “Respiratory sinus arrhythmia. A phenomenon improving pulmonary gas exchange and circulatory efficiency”, *Circulation*, v. 94, n. 4, pp. 842-847.

HIRSCH, J. A., & BISHOP, B., 1981, “Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate”, *The American Journal of Physiology*, v. 241, n. 4, pp. H620-9.

HOMMA, I., & MASAOKA, Y., 2008, “Breathing rhythms and emotions”, *Experimental Physiology*, v. 93, n. 9, pp. 1011-1021.

HOUTVEEN, J. H., RIETVELD, S., DE GEUS, E. J. C., 2002, “Contribution of tonic vagal modulation of heart rate, central respiratory drive, respiratory depth, and respiratory frequency to respiratory sinus arrhythmia during mental stress and physical exercise”, *Psychophysiology*, v. 39, pp. 427-436.

LARSEN, P. D., GALEETLY, D. C. 2006, “The sound of silence is music to the heart”, *Heart*, v.92, n. 4, pp. 433-434.

LARSEN, P. D., TZENG, Y. C., SIN, P.Y., *et al.*, 2010, “Respiratory sinus arrhythmia in conscious humans during spontaneous respiration”, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, doi:10.1016/j.resp.2010.04.021.

LOPES, T., JANDRE, F.C., BEDA, A., *et al.*, 2008, “Acoplamento cardiorrespiratório em indivíduos saudáveis durante ventilação espontânea e educada”, In: *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, pp. 1611-1614.

MADOR, M. J., TOBIN, M. J., 1991, “Effect of alterations in mental activity on the breathing pattern in healthy subjects”, *The American Review of Respiratory Disease*, v. 144, n. 3 Pt 1, pp.481-487.

MORIN, D., & VIALA, D., 2002, “Coordinations of locomotor and respiratory rhythms *in vitro* are critically dependent on hindlimb sensory inputs”, *The Journal of Neuroscience*, v. 22, n. 11, pp. 4756-4765.

PATWARDHAN, A. R., VALLURUPALLI, S., EVANS, J. M., *et al.*, 1995, “Override of spontaneous respiratory pattern generator reduces cardiovascular parasympathetic influence”, *Journal of Applied Physiology*, v. 79, n. 3, pp. 1048-1054.

PINNA, G. D., MAESTRI, R., LA ROVERE, M. T., *et al.*, 2006, “Effect of paced breathing on ventilatory and cardiovascular variability parameters during short-term investigations of autonomic function”, *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, v. 290, n. 1, pp. H424-433.

PINO, A. V., COSTA, J. C. G. D., JANDRE, F., *et al.*, 2002, “Mecânica - um sistema para análise do sistema respiratório”. In: *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, pp. 253 - 257.

PINO, A. V., KAGAMI, L. T., JANDRE, F. C., *et al.*, 2004, "DAS - um Programa de Aquisição e Processamento de Sinais para Engenharia Pulmonar", In: *Proceedings of the III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica*, pp. 765-768.

POTTS, J. T., RYBAK, I. A., PATON, J. F., 2005, “Respiratory rhythm entrainment by somatic afferent stimulation”, *The Journal of Neuroscience*, v. 25, n. 8, pp.1965-1978.

PORGES, S. W., 1995, "Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our revolutionary heritage. A Polyvagal Theory", *Psychophysiology*, v. 32, n. 4, pp. 301-318.

PORGES, S. W., 2001, "The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system", *International Journal of Psychophysiology*, v. 42, n. 2, pp. 123-146.

PYETAN, E., TOLEDO, E., ZORAN, O., *et al.*, 2003, "Parametric description of cardiac vagal control", *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, v. 109, n.1-2, pp. 42-52.

RITZ, T., 2009, "Studying noninvasive indices of vagal control: the need for respiratory control and the problem of target specificity", *Biological Psychology*, v. 80, n. 2, pp. 158-168.

RITZ, T. & DAHME, B., 2006, "Implementation and interpretation of respiratory sinus arrhythmia measures in psychosomatic medicine: practice against better evidence?" *Psychosomatic Medicine*, v. 68, n. 4, pp. 617-627.

SASANO, N., VESELY, A. E., HAYANO, J., *et al.*, 2002, "Direct effect of Pa(CO₂) on respiratory sinus arrhythmia in conscious humans", *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, v. 282, n. 3, pp. H973-976.

SAUL, J. P., BERGER, R. D., CHEN, M. H., *et al.*, 1989, "Transfer function analysis of autonomic regulation. II. Respiratory sinus arrhythmia", *The American Journal of Physiology*, v. 256, n. 25, pp. H153-161.

SHEA, S. A., WALTER, J., PELLECY, C., *et al.*, 1987, "The effect of visual and auditory stimuli upon resting ventilation in man", *Respiration Physiology*, v. 68, n. 3, pp. 345-357.

STARK, R., SCHIENLE, A., WALTER, B., *et al.*, 2000, “Effects of paced respiration on heart period and heart period variability”, *Psychophysiology*, v. 37, n. 3, pp. 302-309.

TAHA, B. H., SIMON, P. M., DEMPSEY, J. A., *et al.*, 1995, “Respiratory sinus arrhythmia in humans: an obligatory role for vagal feedback from the lungs”, *Journal of Applied Physiology*, v. 78, n. 2, pp. 638-645.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY., 1996, “Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use”, *Circulation*, v. 93, n. 5, pp. 1043-1065.

THAYER, J. F., LANE, R. D., 2000, “A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation”, *Journal of Affective Disorders*, v. 61, n. 3, pp. 201-216.

TZENG, Y. C., LARSEN, P. D., GALLETLY, D. C. *et al.*, 2003, “Cardioventilatory coupling in resting human subjects.”, *Experimental Physiology*, v. 88, n. 6, pp. 775-782.

WEST, J.B., 1996, *Fisiologia Respiratória Moderna*. 5. ed. São Paulo, Manole.

WIEN TJES, C. J., GROSSMAN, P., GAILLARD, A.W., 1998, “Influence of drive and timing mechanisms on breathing pattern and ventilation during mental task performance”, *Biological Psychology*, v. 49, n. 1-2, pp. 53-70.

ANEXO A

Parecer de Aprovação do Projeto



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina / Hospital Universitário Antônio Pedro

Herbert Praxedes - **Coordenador Geral**

Médico

Alair Augusto S.M.D. dos Santos

Médico

Ana Beatriz Monteiro Fonseca

Estatística

Carlos Brazil

Advogado

Denise Mafra

Nutricionista

José Carlos Carraro Eduardo

Médico

José Paravidino de Macedo Soares

Médico

Maria de Fátima Lopes Braga

Nutricionista

Maria Nazareth Cerqueira Pinto

Médica

Miriam Fátima Zaccaro Scelza

Cirurgiã Dentista

Nívia Valença Barros

Assistente Social

Paulo Roberto Mattos da Silva

Psicólogo

Paulo Sérgio Faitanin

Filósofo

Regina Helena Saramago Peralta

Médica

Regina Lúcia de Oliveira Caetano

Farmacêutica

Renato Augusto Moreira de Sá

Médico

Rosa Leonóra Salerno Soares

Médica

Rosângela Arrabal Thomaz

Bióloga

Rosilêa Said Amazonas

Representante dos Usuários

Simone Cruz Machado

Enfermeira

Wilson da Costa Santos

Farmacêutico

CEP CMM/HUAP nº 102/08

CAAE nº 0075.0.258.000-08

Do: Coordenador do CEP CMM/HUAP

A(o) Sr.(a) Pesquisador(a):

Assunto: Parecer sobre Projeto de Pesquisa

Sr.(a) Pesquisador(a)

Informo a V.Sª. que o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina / Hospital Universitário Antônio Pedro, constituído nos termos da Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde e devidamente registrado na Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, recebeu, analisou e emitiu parecer sobre a documentação referente ao protocolo de pesquisa e seu respectivo Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme abaixo discriminado:

Título do Projeto:

“Interações cardiorrespiratórias durante testes de atenção”

Pesquisador Responsável:

Antônio Giannella Neto

Pesquisadores Colaboradores:

Walter Machado Pinheiro, Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares e Ana Lúcia Nunes Diniz

Data: 08/08/2008

Parecer: *Aprovado.*

Aterciadamente,


Prof. Herbert Praxedes
Coordenador

ANEXO B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Dados de identificação

Título do Projeto: “Interações cardiorrespiratórias durante tarefas de atenção”

Pesquisador Responsável: Antonio Giannella Neto

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Programa de Engenharia Biomédica COPPE-UFRJ.

Telefones para contato: (21) 2562-8629 (21) 2562-8575

Nome do voluntário:

.....

Idade: anos R.G.....

Responsável legal (quando for o caso):

.....

R.G. Responsável legal:

O (A) Sr.^(a) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa “Interações cardiorrespiratórias durante tarefas de atenção”, de responsabilidade do pesquisador Antonio Giannella Neto e que esta sendo conduzido por Ana Lúcia Nunes Diniz, e sob a supervisão local do Prof. Walter Machado-Pinheiro.

Você receberá algumas informações a seguir, e no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma das vias é sua e a outra é do pesquisador.

Atualmente, muitas pesquisas estudam a relação entre o sistema nervoso autônomo e o sistema cardiovascular para esclarecer os benefícios desta interação. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar essas interações, durante uma tarefa de atenção.

Descrição dos procedimentos: após ler, concordar e assinar este termo, o pesquisador colocará um cinto torácico e quatro eletrodos fixados em sua pele para medição dos seus sinais fisiológicos durante o teste. As medições não lhe causarão dor e não serão procedimentos invasivos. Após esclarecimento das condições experimentais, você será instruído a sentar-se confortavelmente em uma cadeira em frente a um monitor de computador, onde aparecerá uma tarefa de atenção. As instruções para realização da tarefa de atenção aparecerão na tela do computador. O pesquisador estará acompanhando os seus sinais fisiológicos o tempo inteiro. O teste terá duração aproximada de 40 minutos.

Desconfortos e riscos associados: a participação neste estudo não implicará em riscos para a sua saúde. Poderá ocorrer vermelhidão nas áreas de contato com os equipamentos, que deverá desaparecer rapidamente.

Benefícios esperados: essa pesquisa propõe enriquecer a compreensão das interações cardiorrespiratórias e esclarecer algumas das limitações atuais nas pesquisas acerca do tema. Os benefícios esperados dessa pesquisa ocorrerão posteriormente ao processamento e a análise dos dados, podendo propor métodos mais corretos para aquisição dos índices cardíacos. Além disso, você e os demais alunos serão convidados a participar de uma apresentação dos resultados obtidos, ao final do experimento, onde as aplicações e vinculações destes com conceitos da fisiologia serão discutidos.

Dúvidas: você terá a garantia de que poderá ser esclarecido de qualquer dúvida tanto dos procedimentos, riscos e benefícios, quanto aos outros assuntos relacionados à pesquisa. Além disso, será informado sobre os resultados encontrados na pesquisa.

Retirada do consentimento: você terá o direito de retirar o seu consentimento a qualquer momento e liberdade de deixar de participar do teste, antes ou durante a sua realização, sem que isso seja considerado um prejuízo para você ou para os pesquisadores. Não lhe será fornecido nenhum tipo de auxílio financeiro ou vantagem acadêmica pela sua participação na pesquisa.

Confidencialidade: a sua identidade não será revelada em nenhum momento da pesquisa, mesmo quando divulgados os resultados. Os pesquisadores garantem a confidencialidade das informações geradas e a privacidade do voluntário.

Eu,, RG nº
declaro ter sido informado e concordo em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

Niterói, de de

.....
Assinatura do voluntário

.....
Nome e assinatura do responsável (se necessário)

.....
Nome e assinatura do pesquisador

.....
Testemunha I

.....
Testemunha II

ANEXO C

Verificação do Pletismógrafo

A verificação justifica-se, devido à necessidade de detectar corretamente os instantes de início de inspiração e expiração para os resultados futuros. Então, coletaram-se os sinais da cinta pletismográfica e do pneumotacógrafo para quatro voluntários, orientados a permanecerem sentados, e em repouso, respirando espontaneamente durante 20 min.

A aquisição do sinal de vazão pulmonar foi obtida pela medida analógica da pressão diferencial do transdutor modelo 176PC07HD2 (Honeywell, EUA) conectado a um pneumotacógrafo de orifício variável modelo 279331 (Hamilton Medical, Suíça), conectado a uma máscara facial por um adaptador. O sinal de vazão pulmonar foi amplificado e filtrado com um filtro analógico passa-baixa, Butterworth de 4ª ordem, com frequência de corte de 33 Hz, por meio do módulo de transdutores para mecânica respiratória (MOTRAMERE, nº 06) do Laboratório de Engenharia Pulmonar (PEB/COPPE/UFRJ, Brasil). A calibração do sinal de vazão ventilatória foi efetuada com injeções múltiplas de uma seringa de 2 l, de acordo com o método proposto por (GIANNELLA-NETO et.al., 1992). A digitalização dos sinais analógicos de vazão pulmonar foi semelhante à descrita da seção III.2.

O processamento do sinal de vazão foi realizado no MECANICA (PINO *et al.*, 2002), programa para análise da mecânica respiratória, escrito em linguagem Matlab 7.5 (*The Mathworks*, EUA). As transições dos ciclos respiratórios, inícios de cada inspiração (I_{insp}) e expiração (I_{exp}), foram detectadas usando um algoritmo do tipo cruzamento com zero. A Figura C.1 apresenta o sinal de volume obtido com o

pletismógrafo e o sinal de volume obtido do sinal de vazão com o pneumotacógrafo para o voluntário 3.

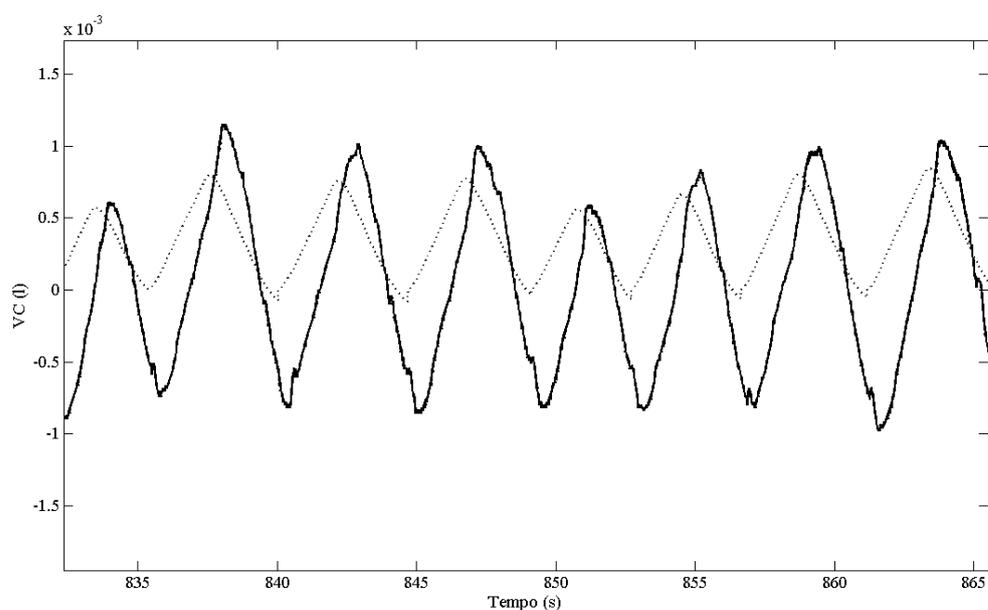


Figura C.1: Aquisição simultânea do sinal de volume ventilatório do pletismógrafo (linha preta) e do sinal de volume obtido do sinal de vazão ventilatório com o pneumotacógrafo (linha tracejada). VC: volume corrente (L).

Após o processamento dos sinais, verificou-se que o atraso médio do sinal ventilatório do pletismógrafo em relação ao sinal ventilatório do pneumotacógrafo, foi de 0,36 s (Tabela C.1). Porém, este atraso não modificou o cálculo da média e desvio-padrão do período respiratório, para o tempo de 20 min. (Tabela C.2).

Tabela C.1: Atraso médio do sinal do ventilatório do pletismógrafo (s).

Voluntário	Atraso do SVPL(s)
1	0,53
2	0,20
3	0,37
4	0,35
Média dos voluntários	0,36

SVLP: sinal ventilatório do pletismógrafo.

Tabela C.2: Média (Desvio-padrão) do período respiratório (s).

Voluntário	SVPL	SVPT
1	5,01 (0,66)	5,01 (0,69)
2	3,53 (1,07)	3,54 (1,08)
3	3,84 (0,56)	3,83 (0,65)
4	3,86 (0,43)	3,86 (0,40)

SVLP: sinal ventilatório do pletismógrafo; SVPT: sinal ventilatório do pneumotacógrafo.

ANEXO D

Protocolo Experimental Piloto

O protocolo experimental piloto foi composto de uma etapa de repouso inicial e um bloco treino, seguidos de três etapas de repouso intercaladas com os blocos da tarefa atencional (todas com a duração do ciclo do video game de 3,5 s. A Tabela D.1 apresenta os valores da média e do desvio-padrão do período respiratório para os cinco voluntários (4 sexo masculino, idade média 25 anos), não sendo consideradas a primeira etapa de repouso e a etapa treino. Não foi realizado nenhum teste estatístico, em virtude do número reduzido de voluntários.

Tabela D.1: Média e Desvio-Padrão do PR_m em segundos.

Voluntário	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa	Repouso	Tarefa
1	4,5±2,1	3,5±0,5	4,3±1,4	3,4±0,6	4,0±1,2	3,5±0,4
2	4,3±1,2	3,4±0,3	4,9±1,0	3,5±0,3	4,8±1,5	3,5±0,4
3	4,0±2,0	3,5±0,8	4,1±1,5	3,1±1,2	4,5±1,7	3,5±1,3
4	4,3±1,7	3,6±0,5	3,7±0,9	3,5±0,3	3,9±0,9	3,5±0,2
5	4,0±0,6	3,5±0,2	4,2±1,0	3,5±0,3	4,5±1,0	3,7±0,4

Observam-se que os voluntários, em todas as etapas da tarefa, reduziram a média do período respiratório para valores na faixa de 3,4 s a 3,6 s quando comparada com as etapas de repouso, com exceção do voluntário 3 na 2^a etapa da tarefa que reduziu para 3,1 s. É importante ressaltar, que nesse protocolo a duração do ciclo do *video game* foi de 3,5 s, semelhante ao tempo do período respiratório apresentado pelos voluntários durante a tarefa. Além dessa redução na média do período respiratório, nota-se também uma diminuição do desvio-padrão, indicando um padrão respiratório mais homogêneo durante a execução da tarefa atencional.

A Figura D.1 apresenta os histogramas de frequência das diferenças temporais entre os inícios dos trechos expiratórios e a passagem do círculo sobre a linha vertical. Em cada figura, está representado um voluntário, em todas as etapas da tarefa atencional, exceto na etapa treino.

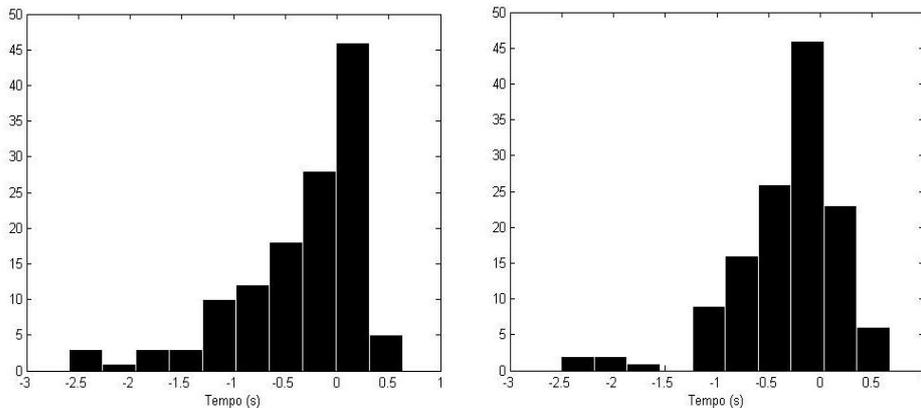


Figura D.1: Histograma de frequência para a diferença temporal entre o início dos trechos expiratórios e a passagem do círculo sobre a linha vertical, para o voluntário 2, á direita e para o voluntário 3, á esquerda. O marco zero é o momento da passagem do círculo sobre a linha vertical.

Identifica-se uma tendência na ocorrência dos trechos expiratórios em torno do momento zero, ou seja, na passagem do círculo sobre a linha vertical. Em todos os voluntários, os histogramas de frequência apresentaram uma tendência, porém no voluntário 1, o pico do histograma ocorreu em $-1,0$ s. Considerando o atraso de $0,36$ s na detecção dos trechos ventilatórios, os picos dos histogramas para os voluntários 2 e 3 terão um pequeno deslocamento para à direita.

ANEXO E

Período Respiratório

As Tabelas E.1 e E.2 apresentam os valores de PR_m e PR_{dp} , para os voluntários do protocolo A e B, respectivamente. Não foram considerados as etapas treino e o repouso precedente.

Tabela E.1: $PR_m \pm (PR_{dp})$ para os voluntários do protocolo A.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	4,3(1,7)	3,0(0,3)	4,3(1,9)	3,3(0,9)	3,9(1,5)	2,9(0,6)	3,6(1,7)	3,7(1,8)
2	4,3(1,8)	2,5(0,4)	3,5(1,1)	2,6(0,5)	3,8(1,0)	2,9(0,3)	3,9(1,1)	2,8(0,4)
3	5,0(1,6)	3,4(0,4)	4,9(1,6)	3,0(0,4)	4,4(1,5)	3,3(0,5)	3,9(1,0)	3,5(0,5)
4	3,2(2,9)	2,9(0,4)	3,3(0,7)	2,9(0,5)	3,3(0,8)	2,9(0,4)	3,2(0,6)	2,9(0,4)
5	4,8(1,5)	3,6(0,5)	4,4(1,1)	3,8(0,6)	4,4(0,9)	3,7(0,6)	4,4(1,3)	4,0(0,7)
6	4,1(1,5)	3,2(0,8)	3,6(1,3)	3,4(1,0)	3,8(1,5)	3,1(0,8)	4,4(1,8)	3,6(1,3)
7	4,0(1,6)	2,9(0,8)	4,2(1,7)	3,2(0,9)	4,5(1,8)	3,2(0,9)	4,4(1,6)	3,1(0,4)
8	4,1(0,5)	3,5(0,3)	4,0(0,4)	3,8(0,6)	4,0(0,4)	3,3(0,6)	4,0(0,5)	3,7(0,7)
9	4,9(2,3)	3,8(1,2)	4,5(1,8)	4,2(1,4)	4,6(1,6)	4,7(2,0)	4,5(2,1)	4,4(1,3)
10	3,1(0,5)	3,0(0,6)	3,2(0,5)	3,2(0,5)	3,2(0,8)	3,0(0,5)	3,3(0,6)	2,9(0,4)

R: repouso; T: tarefa.

Tabela E.2: $PR_m \pm (PR_{dp})$ para os voluntários do protocolo B.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	4,0(1,2)	3,3(0,7)	3,7(0,9)	3,3(0,6)	3,8(1,2)	3,6(1,1)	3,9(1,3)	3,1(0,4)
2	3,8(1,6)	2,7(0,4)	3,6(1,1)	2,7(0,5)	3,6(1,0)	2,6(0,5)	3,8(1,5)	2,7(0,4)
3	3,3(1,0)	3,0(0,8)	4,3(2,3)	3,8(1,9)	3,2(1,1)	3,1(0,8)	3,0(0,5)	3,0(0,8)
4	4,1(1,3)	3,2(0,8)	4,1(1,7)	3,0(0,5)	4,2(1,8)	3,2(0,6)	4,9(1,9)	3,4(0,6)
5	3,4(0,6)	2,8(0,4)	3,6(0,5)	2,8(0,4)	3,7(0,6)	3,0(0,7)	3,5(0,8)	2,9(0,5)
6	4,0(1,4)	3,0(0,7)	5,0(1,4)	4,0(1,3)	5,4(1,7)	4,0(1,0)	4,8(1,7)	4,6(1,3)
7	9,2(3,4)	6,9(1,5)	8,7(2,9)	7,0(1,6)	9,7(2,0)	7,8(1,4)	8,0(2,6)	7,6(1,3)
8	2,9(0,4)	2,8(0,4)	3,7(1,2)	2,9(0,8)	3,5(1,0)	2,8(0,5)	3,5(1,2)	2,8(0,4)
9	3,0(0,4)	2,4(0,3)	3,1(0,5)	2,5(0,4)	3,0(0,5)	2,6(0,3)	2,9(0,5)	2,7(0,4)
10	3,1(0,7)	2,7(0,6)	2,9(0,5)	2,8(0,5)	3,0(0,4)	2,7(0,7)	2,9(0,5)	2,6(0,6)

R: repouso; T: tarefa.

ANEXO F

Frequência Cardíaca Média

As Tabelas F.1 e F.2 apresentam os valores da FC_m (bpm) para os voluntários dos protocolos A e B, respectivamente. Não foram consideradas as etapas treino e o repouso precedente.

Tabela F.1: FC_m (bpm) para os voluntário do protocolo A.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	82,3	84,2	87,0	85,2	85,0	88,8	83,6	88,9
2	73,6	78,8	75,1	76,2	71,6	74,4	70,0	76,1
3	85,8	86,5	88,0	83,4	88,6	86,0	86,7	82,5
4	72,6	71,9	71,0	70,7	72,0	71,3	70,3	74,6
5	92,3	91,7	90,4	91,1	92,0	92,4	95,5	92,5
6	70,2	66,8	69,2	65,7	63,0	62,9	63,3	64,0
7	79,0	87,3	77,5	91,7	79,0	86,6	77,2	82,8
8	73,8	76,5	76,0	75,0	74,0	75,0	74,5	75,5
9	84,9	81,6	85,3	81,6	82,4	83,9	78,1	84,2
10	84,2	84,7	82,3	84,7	84,1	82,5	81,4	82,4

R: repouso; T: tarefa.

Tabela F.2: FC_m (bpm) para os voluntário do protocolo B.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	84,0	87,1	85,1	87,3	86,8	87,9	84,8	86,6
2	87,4	86,2	90,8	87,9	88,8	85,4	91,9	85,5
3	80,0	81,2	75,1	78,2	78,1	78,3	77,2	76,4
4	93,4	93,6	94,2	93,2	91,9	90,1	93,0	88,4
5	77,6	83,1	78,3	82,0	78,9	79,2	78,6	79,7
6	80,1	86,9	79,7	84,4	81,5	84,6	83,9	86,3
7	81,4	81,3	76,9	78,4	75,5	77,6	76,6	77,5
8	74,7	76,7	79,6	80,5	80,0	78,7	82,3	79,3
9	81,9	80,9	81,5	81,9	82,6	82,0	84,4	83,7
10	94,2	97,1	93,2	93,1	93,2	94,0	94,3	95,6

R: repouso; T: tarefa.

ANEXO G

Arritmia Sinusal Respiratória

As Tabelas G.1 e G.2 apresentam os valores da A_{ASRm} (ms) calculada pelo método da diferença para os voluntários dos protocolos A e B, respectivamente. Não foram considerados as etapas treino e o repouso precedente.

Tabela G.1 A_{ASRm} (ms) para os voluntários do protocolo A.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	144,6	77,8	131,0	87,2	135,7	67,9	109,4	110,3
2	80,7	36,8	61,5	38,3	79,2	37,9	82,8	37,3
3	154,4	95,4	119,8	96,5	109,2	105,5	125,8	131,0
4	71,0	65,2	73,1	65,7	76,7	59,9	86,8	61,6
5	81,9	55,5	78,6	72,5	75,9	49,2	69,2	65,7
6	63,7	58,1	63,3	63,9	62,3	52,6	83,5	59,5
7	59,7	40,4	74,2	41,3	64,9	46,3	63,9	51,5
8	68,9	66,4	70,4	88,5	85,9	71,9	71,8	80,5
9	63,9	61,3	72,2	64,1	86,6	85,2	106,6	79,4
10	44,1	48,6	41,0	48,8	42,7	50,6	54,1	41,3

R: repouso; T: tarefa.

Tabela G.2 A_{ASRm} (ms) para os voluntários do protocolo B.

Voluntário	R	T	R	T	R	T	R	T
1	76,9	61,9	70,7	58,1	68,0	57,1	67,6	54,2
2	74,4	52,7	59,9	45,6	64,1	61,2	72,2	57,5
3	83,7	72,4	142,1	83,2	85,1	74,1	77,9	92,6
4	50,3	46,0	55,7	47,8	53,5	46,7	72,5	48,0
5	111,0	69,5	138,2	70,5	150,0	90,9	133,1	88,7
6	60,0	43,2	81,8	61,6	109,3	65,8	79,7	75,8
7	136,7	128,2	142,0	132,0	161,4	155,4	148,5	139,7
8	47,9	34,2	42,8	32,2	42,0	28,3	33,6	26,7
9	37,0	35,9	42,8	32,7	39,0	33,2	35,8	37,8
10	38,1	33,1	32,5	30,2	34,6	28,2	32,2	21,5

R: repouso; T: tarefa.

As Figuras G.1, G.2, G.3, G.4, G.5 apresentam o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

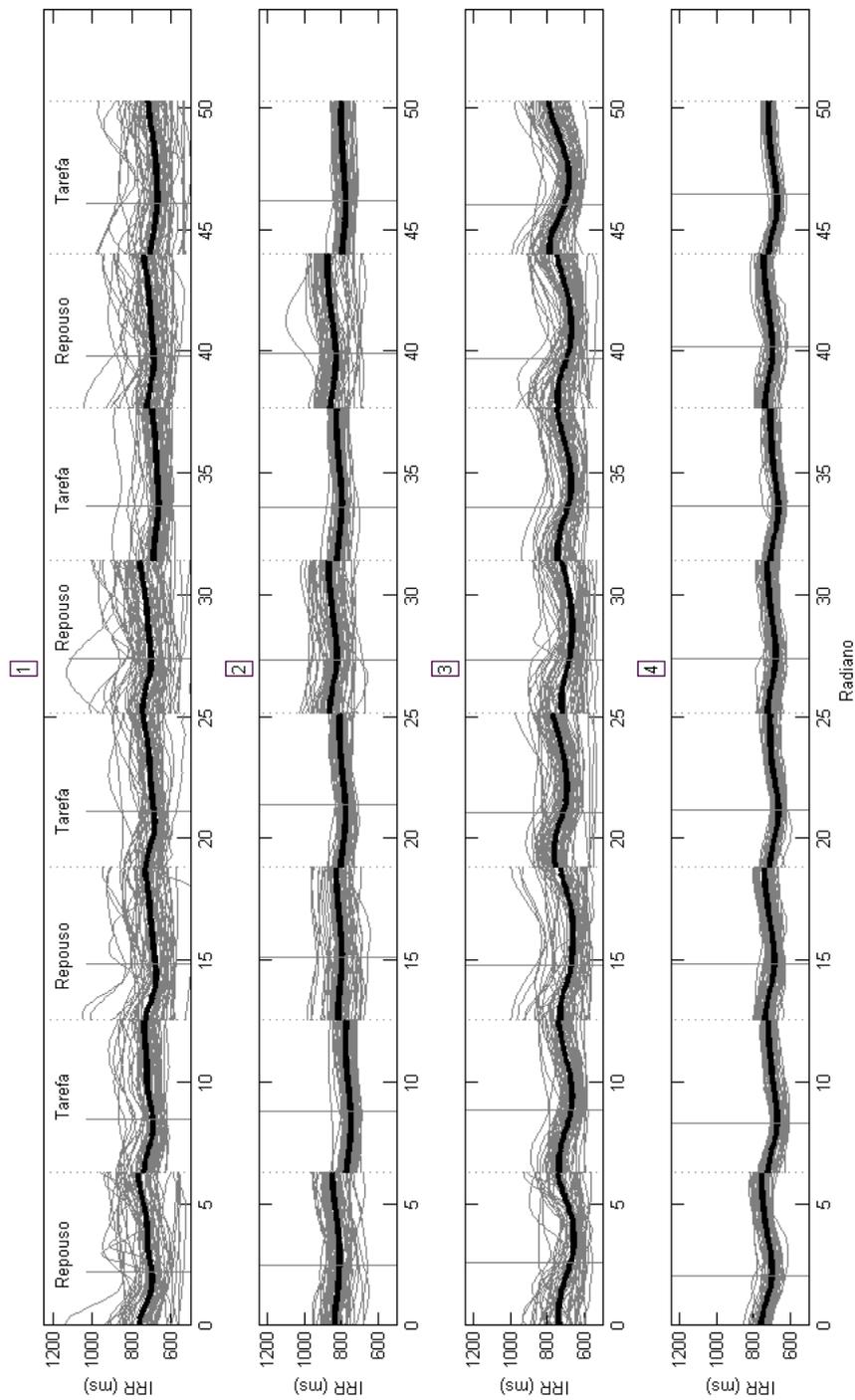


Figura G.1: apresenta o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

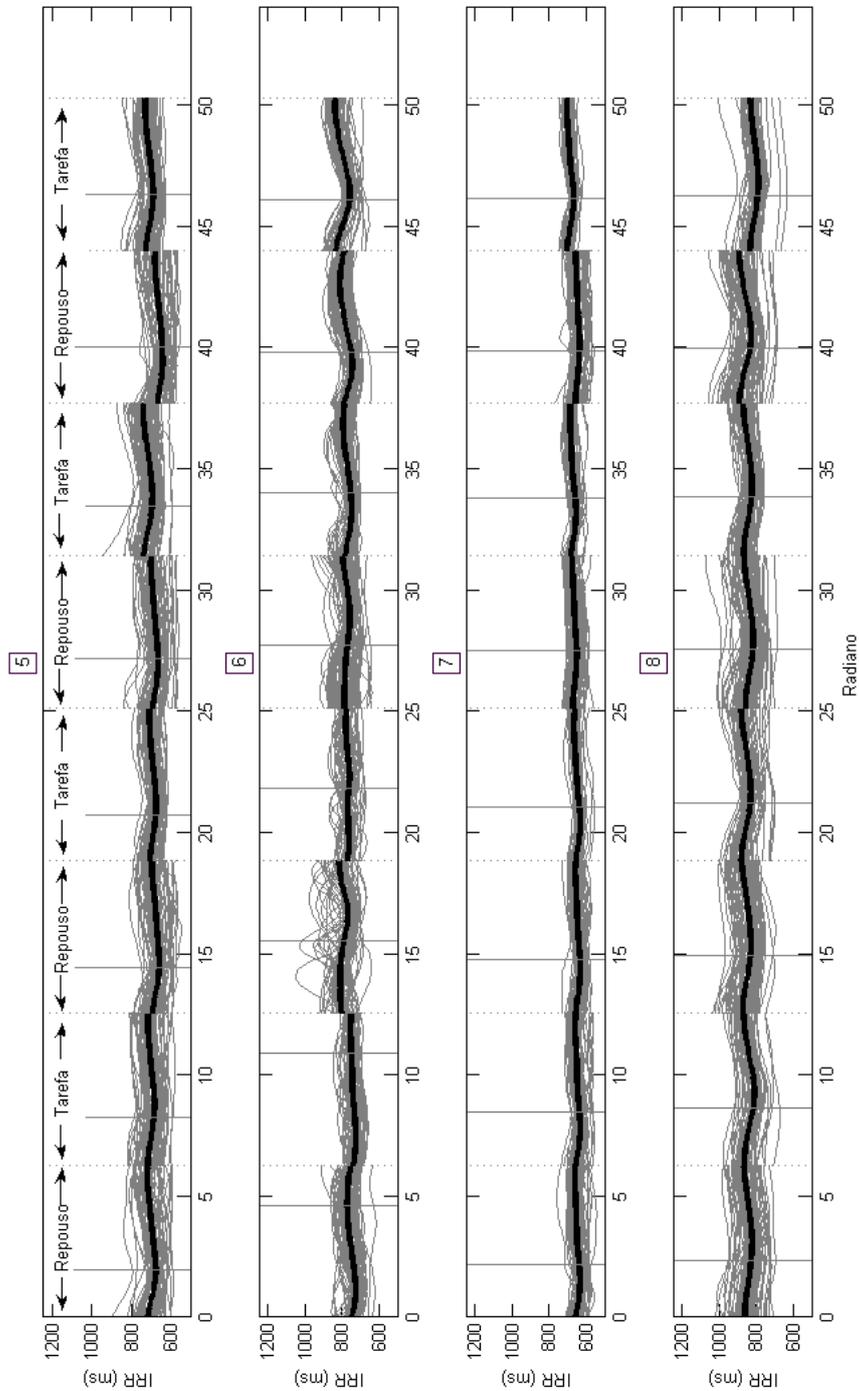


Figura G.2: apresenta o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

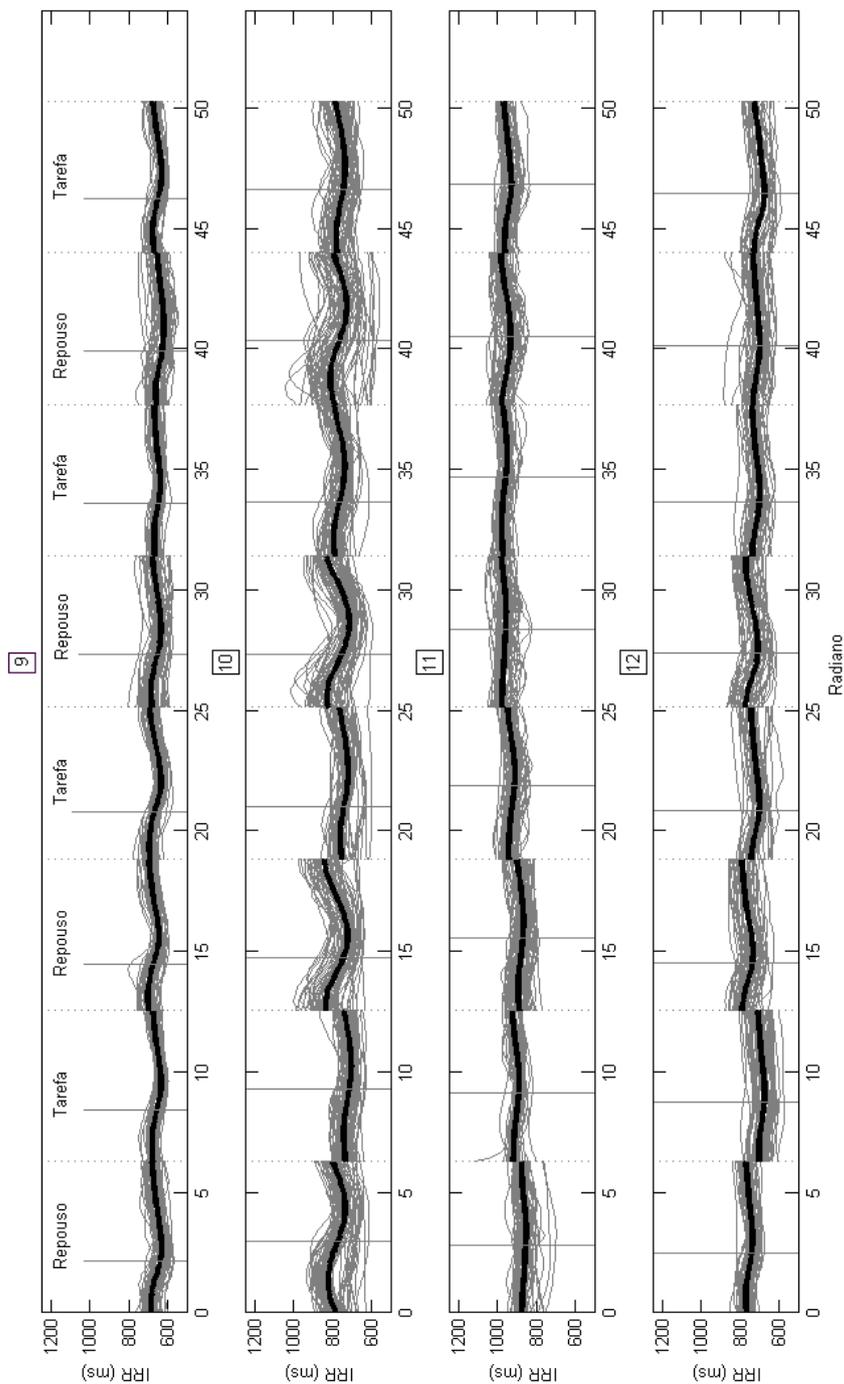


Figura G.3: apresenta o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

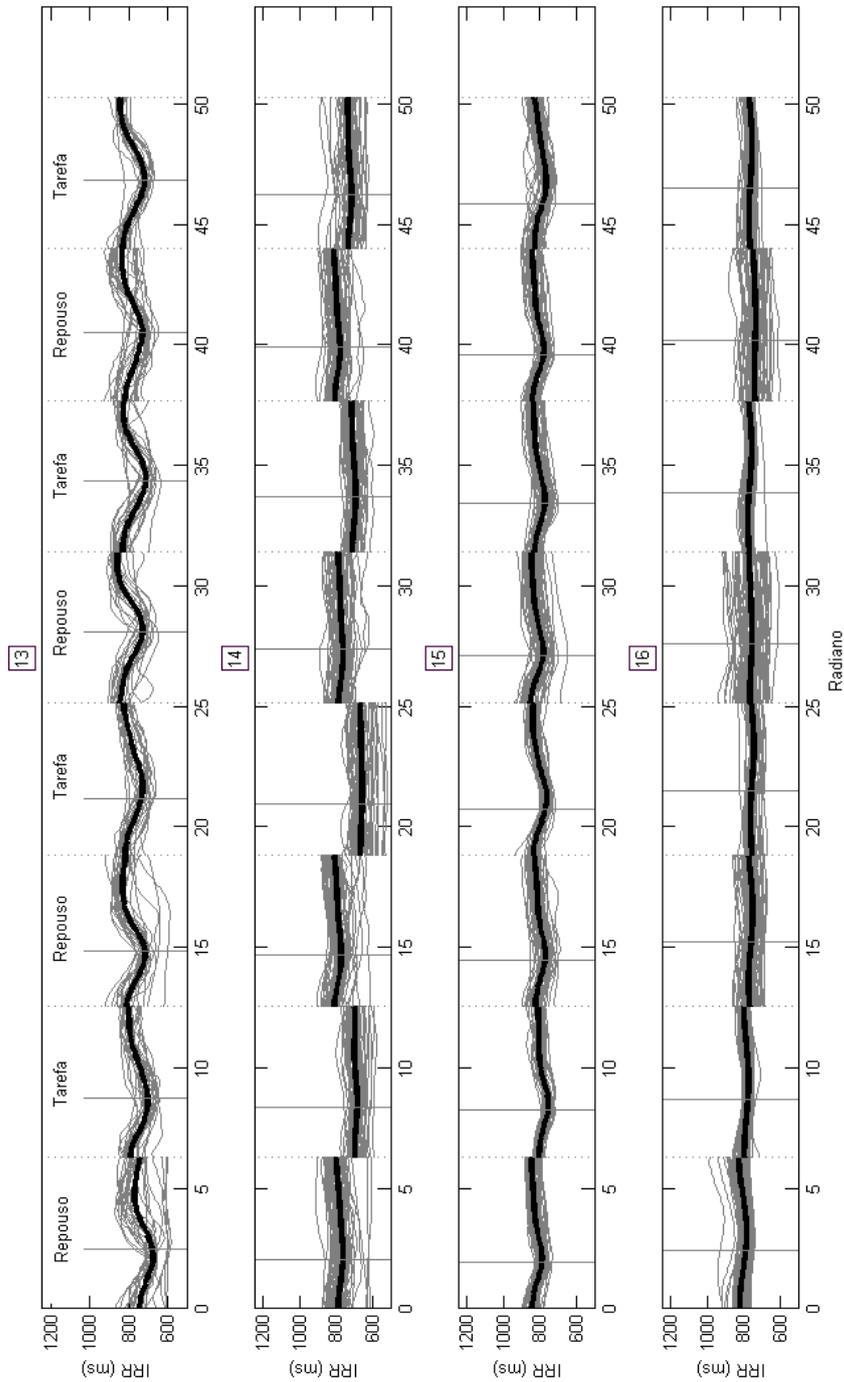


Figura G.4: apresenta o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.

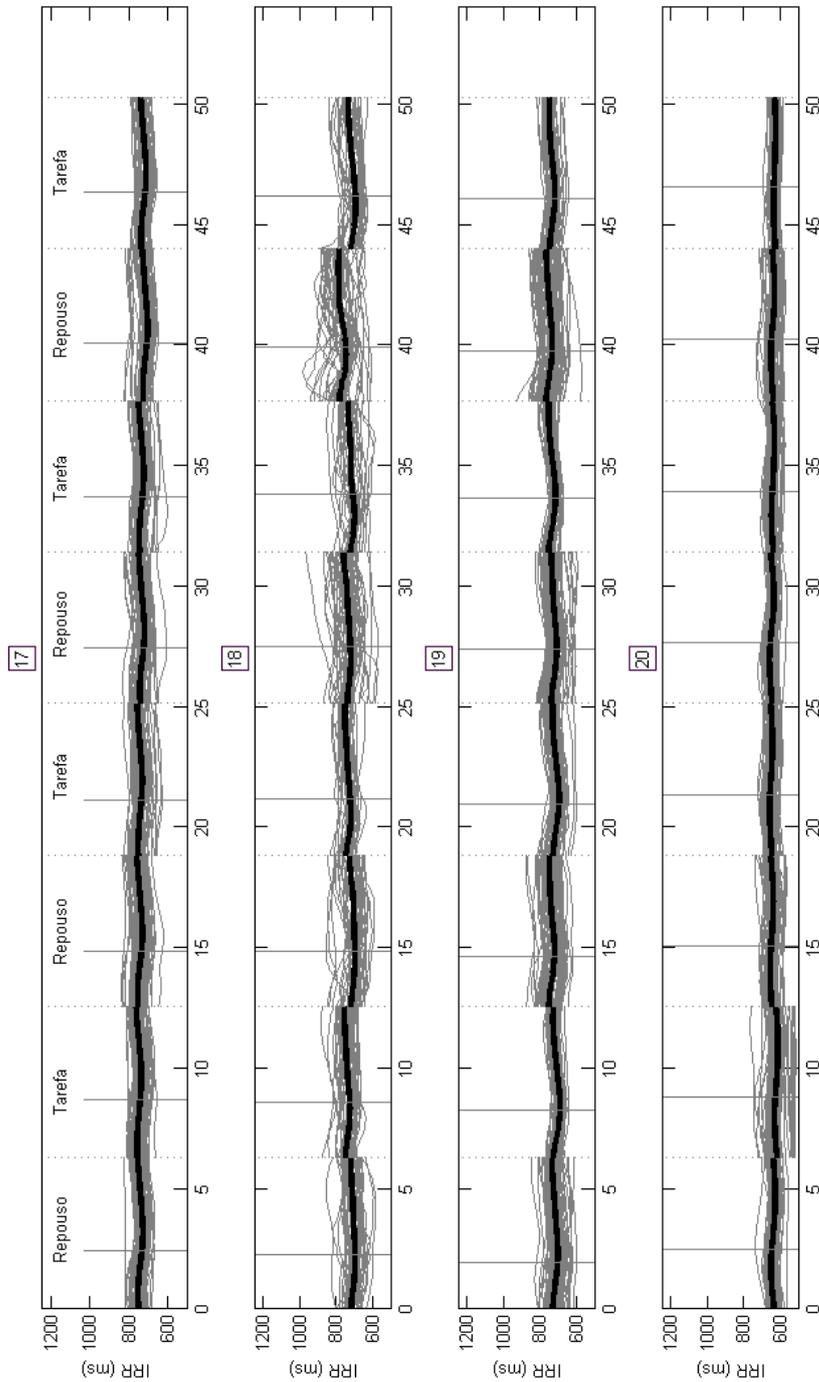


Figura G.5: apresenta o padrão médio da ASR individual, para as etapas do protocolo experimental em sequência. Padrão médio da ASR (linha preta contínua), ciclos respiratórios incluídos (linha cinza), média do início da expiração (linha cinza vertical), transições entre as etapas (linha cinza tracejada). O IRR (ms) é o intervalo R-R. Cada etapa tem a duração de 2π radianos.