

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE AUGUSTO CINI DA SILVA

DORMIR SOBRE UM PROBLEMA DE VIDEO GAME NÃO RESOLVIDO PODE  
ALTERAR A MICROARQUITETURA DO SONO?

CURITIBA

2015

FELIPE AUGUSTO CINI DA SILVA

DORMIR SOBRE UM PROBLEMA NÃO RESOLVIDO PODE ALTERAR A  
MICROARQUITETURA DO SONO?

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Mazzilli Louzada

Co-orientadora: MSc. Sofia Isabel Ribeiro Pereira

CURITIBA

2015

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e irmãs, pela motivação, inspiração e suporte. Não teria chego tão longe se não fosse pelo apoio, amor, carinho e broncas de vocês.

Ao meu orientador, Professor Fernando, por ter confiado em mim essa oportunidade de desenvolver esse trabalho, sempre disponível para discutir e enriquecer trabalho com sua experiência e ensinamentos que vão muito além do desenvolvimento profissional.

À minha co-orientadora Sofia por ter me ajudado com sugestões e críticas construtivas, ensinamentos sobre a ciência, ética e paciência.

Ao pessoal que fazem ou fizeram parte do LabCrono, pela amizade e cooperação.

Em particular, aos meus amigos e amigas, os quais muitos viraram irmãos de coração por terem sido tão extraordinários nesse papel de me aguentar durante esses longos anos. Alegraram tanto os meus dias durante essa etapa da tão grande jornada da vida.

São tantos os nomes que gostaria de colocar nos agradecimentos, porém esses não iriam caber aqui, por isso me considero uma pessoa com sorte imensa de conhecer tantas pessoas que me marcaram.

À Universidade Federal do Paraná e a todos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Muito Obrigado.

Felipe Cini

## RESUMO

Um grande corpo de evidências mostra o importante papel do sono na consolidação de memórias, criatividade e solução de problemas. Estudos sugerem que eventos eletrofisiológicos característicos do eletroencefalograma durante o sono como fusos do sono (12-15Hz), oscilações lentas (OL) (0,5 -1 Hz), e delta (1-4 Hz) estão associados com consolidação de memória. Além disso, em um estudo prévio em nosso laboratório foi mostrado que dormir uma sesta de curta duração tem efeitos positivos na resolução de problemas, particularmente se esta contemplar a fase de sono de ondas lentas (SOL) . Assim sendo, o objetivo do nosso estudo foi investigar se jogar um jogo de computador 3D imediatamente antes de dormir uma sesta é capaz de alterar a sua estrutura. Vinte e sete jovens adultos participaram do experimento. Os voluntários foram distribuídos em dois grupos antes de terem a oportunidade de dormir por até noventa minutos: o primeiro grupo jogou o *Speedy Eggbert Mania*® antes do intervalo de retenção e o segundo grupo não realizou nenhuma tarefa e apenas assistiu a um seriado de comédia antes de dormir. Para acessar a macroestrutura do sono foi utilizado o estagiamento do sono e a análise da densidade de força espectral foi utilizada para acessar a microestrutura da sesta. Para as análises da estrutura da sesta os grupos foram distribuídos em dois outros grupos, sendo que em um foram agrupados os participantes que dormiram SOL e no outro os que não dormiram SOL. Foi encontrada uma diferença na força espectral na faixa de OL e de delta entre o grupo que fez a tarefa e o grupo que não fez a tarefa no eletrodo C3, sendo que o grupo que fez a tarefa e dormiu ondas lentas teve maior força espectral nessas bandas, em relação ao grupo que não fez a tarefa mas também dormiu ondas lentas. Em conclusão, nossos resultados indicam que jogar um jogo de computador antes do dormir pode alterar a microestrutura do sono.

## ABSTRACT

A large body of evidence shows sleep's important role on memory consolidation, creativity and problem solving. Studies have suggested that distinctive electrophysiologic events of the electroencephalogram during sleep like sleep spindles, slow oscillations (SO) and delta are associated with memory consolidation. Furthermore, in a previous study in our laboratory we have shown that sleeping a short nap has positive effects on problem solving, particularly if this contemplates the slow wave sleep stage. Suggesting that the sleep architecture may be altered by the task. Therefore, the aim of this study was to investigate if playing a 3D puzzle computer game previous to a nap change its architecture. Twenty-seven young adults took part on the experiment. The volunteers were distributed in two groups before they were given the opportunity to sleep a 90min nap: the first group realized a task, *Speedy Eggbert Mania*®, right before taking a nap and the second group wasn't exposed to any task before sleeping, just watched a comedy TV sitcom. Standard EEG sleeping stage scoring was used to assess the macrostructure, and power spectrum analysis was performed to assess the microstructure. For the sleep architecture analysis each group was subdivided in two more groups, those that the volunteers slept SWS and those who didn't. Regarding the microstructure, our results show that the task group that slept SWS had more power density of SO ( $p = 0.0016$ ) and Delta ( $p = 0.0010$ ) in the C3 electrode than the control group with SWS. In conclusion, our results suggest that playing a game before going to sleep may alter its architecture.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LINHA DO TEMPO DOS PROCEDIMENTOS NO DIA DO EXPERIMENTO.....	14
FIGURA 2. <i>SPEEDY EGGBERT MANIA</i> ®. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE COMO O JOGO FUNCIONA.....	15
FIGURA 3. GRÁFICO DE DENSIDADE DE FORÇA ESPECTRAL PARA OS ELETRODOS: C3, C4, F3, F4.....	20

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DESCRIÇÃO DEMOGRÁFICA DA AMOSTRA.....	17
TABELA 2. DESCRIÇÃO DOS DADOS DE PADRÃO DE SONO OBTIDOS POR POLISSONOGRRAFIA.....	18

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 .MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4.RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>5.DISSCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>6.CONCLUSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1.INTRODUÇÃO

Várias são as tarefas que nós realizamos no dia a dia que são dependentes ou estão relacionadas com o hipocampo para sua realização, como navegação, orientação no espaço e imaginação (BURGESS *et al.*, 2002; BUCKNER, 2010). Essas habilidades mentais são essenciais para programar o futuro e consequentemente permitem a adaptação dos indivíduos às rotinas e demandas ambientais (HASSABIS *et al.*, 2007).

O sono é um estado neurocomportamental ativo amplamente difundido no reino animal, e sua falta pode levar a prejuízos cognitivos, por exemplo, à perda de atenção, falhas no aprendizado e consolidação da memória. O sono em humanos é dividido dois estágios: o REM (*rapid eye movements*) e NREM (*non-rapid eye movements*), os quais apresentam padrões distintos de sincronização neuronal. Essa sincronização gera padrões de ondas elétricas que podem ser observados através do eletroencefalograma (EEG) (RASCH & BORN 2013).

O estágio NREM de sono é atualmente subdividido em três fases: NREM 1, NREM 2 e NREM 3 ou SOL (sono de ondas lentas), cada um com padrões eletroencefálicos distintos que podem ser diferenciados a partir do estagiamento das fases do sono. O sono NREM 1, que seria o estágio de sono mais superficial, tem ondas de baixa amplitude e com frequências mistas, variando entre 4-7 Hz. Sua principal característica é a presença de ondas agudas do vértex. Já o estágio de sono NREM 2, pode ser identificado pela presença de complexos K e fusos do sono. No sono NREM 3 os neurônios estão mais sincronizados e este é considerado o sono mais profundo. Nesta fase predominam as ondas com baixa frequência (0,5 – 4 Hz) e com amplitude elevada (75  $\mu$ V), porém fusos do sono também podem aparecer nesta fase. O sono REM se caracteriza por ondas de baixa amplitude e alta frequência, com presença característica de ondas do tipo dente de serra, tônus muscular baixo ou até ausente e movimentos rápidos dos olhos (IBER, 2007).

As oscilações lentas (OL), com frequência entre 0,5 -1 Hz, são padrões eletroencefalográficos encontrado em sono NREM, mais especificamente em sono de ondas lentas. É sugerido que as SO refletem sincronização entre a atividade

tálamo-hipocampo-córtex, o que daria suporte aos mecanismos responsáveis pela consolidação de memórias declarativas (MARSHALL & BORN, 2007; SEJNOWSKI & DESTEXHE, 2000).

As ondas do tipo delta, de frequência entre 1 - 4 Hz, foram positivamente correlacionadas com a consolidação de memória espacial após voluntários aprenderem a navegar em um labirinto virtual 3D (WAMSLEY *et al.* 2010). Fusos do sono, outro padrão eletroencefalográfico presente no sono, são marcadores de sono NREM 2 e também estão presentes em sono de ondas lentas (SOL). Fusos possuem frequência entre 12 - 15 Hz e refletem a comunicação neuronal tálamo-cortical (ASTORI *et al.*, 2013). Estudos apontam para uma correlação positiva entre fusos do sono e inteligência (FOGEL & SMITH, 2010) assim como na consolidação de memórias procedurais (FOGEL & SMITH, 2006; WALKER, 2007). Além disso, estudos apontam que os fusos estão relacionados com plasticidade sináptica (GENNARO & FERRARA, 2003; MÖLLE *et al.*, 2011; BERGMANN *et al.*, 2012; JOHNSON *et al.*, 2012 ).

Atualmente, uma das hipóteses mais utilizadas para explicar consolidação de memórias durante o sono é a da consolidação ativa de sistemas. De acordo com essa hipótese, as informações novas que ficam temporariamente armazenadas no hipocampo são reativadas. As OL sincronizam a atividade dos fusos do sono e *ripples* (atividade elétrica de alta frequência gerada no hipocampo), causando a reorganização da memória armazenada no hipocampo para regiões neocorticais, onde elas são integradas em redes pré-existente de informações semelhantes (BORN *et al.*, 2006; DIEKELMANN & BORN, 2010).

Alguns estudos sobre microestrutura do sono fazem correlação entre padrões eletrofisiológicos (fusos do sono, delta, OL) com o desempenho pós-sono em uma tarefa aprendida previamente (WAMSLEY, 2010; CLEMENS, 2005). Porém, poucos estudos avaliaram se e como a realização de uma tarefa anterior a um episódio de sono pode alterar sua estrutura. Um estudo realizado com humanos e utilizando uma tarefa de associação entre palavras, portanto dependente do hipocampo, observou aumento do número de OL sequenciais assim como aumento da atividade de fusos rápidos antes de cada OL no sono noturno, quando comparado ao grupo que não praticou a tarefa antes de dormir (MÖLLE *et al.* 2011). Outro estudo, realizado com ratos, mostrou que depois do aprendizado de uma

tarefa de condicionamento houve aumento na densidade de fusos do sono durante o sono noturno (ESCHENKO *et al.* 2006).

Em um experimento realizado em nosso laboratório, jovens adultos jogaram um jogo de computador que envolvia raciocínio lógico em sua resolução. Quando não obtinham êxito em uma fase do jogo, eles eram distribuídos em dois grupos, um que teve a oportunidade de dormir um episódio de sono curto após o almoço (sesta) e o outro grupo ficou acordado pela mesma quantidade de tempo que o grupo que dormiu. Após esse intervalo de tempo, os dois foram testados novamente no jogo e observamos que o grupo sono teve maior sucesso em resolver a fase em que eles haviam parado antes do intervalo de retenção do que o grupo acordado (BEIJAMINI *et al.* 2014). Porém, não sabemos ao certo se essa diferença está associada a alguma mudança específica na arquitetura do sono.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da realização de uma tarefa que requer raciocínio lógico para a sua resolução, sobre a macroestrutura e microestrutura da sesta subsequente. Nossa hipótese propõe que os jovens adultos que dormiram logo após enfrentar um desafio mental para o qual não acharam a solução apresentarão maior quantidade de ondas OL e fusos do sono do que os jovens que dormiram sem ter um problema por resolver.

## 2.OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se realizar uma tarefa imediatamente antes de um episódio curto de sono diurno altera sua estrutura.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar se a realização de uma tarefa antes de dormir uma sesta altera a macroestrutura da sesta.
- Avaliar se a realização de uma tarefa antes de dormir uma sesta altera a microestrutura da sesta, densidade de força espectral, densidade e quantidade de fusos e oscilações lentas.

### 3 .MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do projeto foram utilizados dados de projetos prévios realizados no Laboratório de Cronobiologia Humana da Universidade Federal do Paraná. No total, os dados de 27 voluntários (23 do sexo feminino), entre 18 e 35 anos, estudantes da UFPR, fizeram parte das análises. Os critérios de exclusão para o experimento foram utilização de medicamentos que possam alterar o ciclo sono/vigília, distúrbios de sono e/ou problemas de saúde relatados.

Para avaliar se os voluntários possuíam o perfil necessário para a realização do experimento, foram utilizados os questionários: Escala de Sonolência Epworth (ESS) (JOHNS, 1991), o questionário de preferência diurna de Horne e Ostberg (MEQ) (HORNE & OSTBERG, 1996), além de perguntas sobre hábitos de sono e estado de saúde e experiência em jogos virtuais.

Após serem selecionados para participar no experimento, os voluntários utilizaram um actímetro e preencheram um diário de sono na semana anterior ao experimento para monitorar os seus ciclos de sono/vigília. Durante a semana anterior ao experimento os sujeitos foram orientados a manter o comportamento habitual de sono e não consumir cafeína nas 24 horas anteriores ao experimento.

No dia da realização do experimento os voluntários chegaram ao laboratório por volta do meio dia. Nesse momento, eles informaram, por meio de questionários, sobre as 24 horas anteriores ao experimento e também entregavam o diário de sono da semana em que usaram o actímetro (semana pré-experimento) (Figura 1). As variáveis analisadas dos dados de actimetria foram: tempo total de sono na noite anterior ao experimento, eficiência de sono na noite anterior.

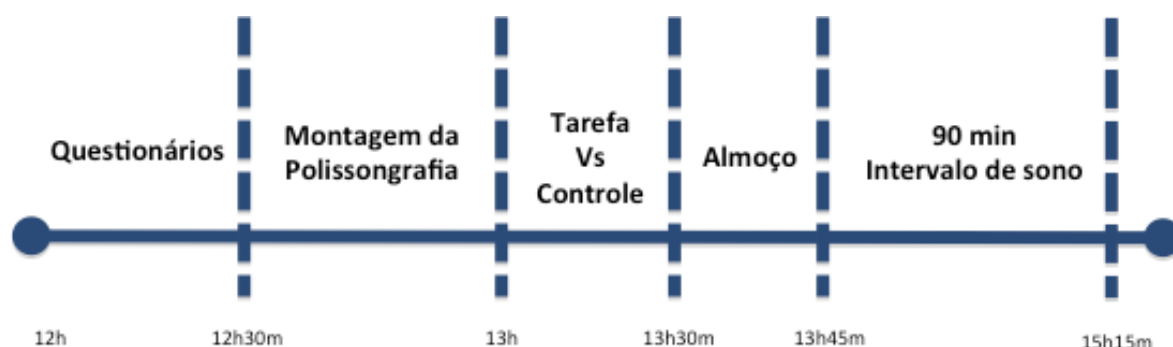


Figura 1 – Linha do tempo dos procedimentos no dia do experimento.

Os voluntários foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos: grupo tarefa ou grupo controle. No grupo tarefa, os voluntários tiveram a oportunidade de jogar, utilizando o computador, o *Speedy Eggbert Mania*®. Para resolver esse desafio é necessária a utilização de pensamento lógico. O jogo é composto por fases nas quais há um aumento gradativo da dificuldade. Os voluntários tinham no máximo 10 minutos para resolver cada fase e caso não conseguissem, a tarefa era interrompida. Nesse momento um almoço leve era servido e os voluntários tinham a oportunidade de dormir uma sesta de até 90 min. No grupo controle, os voluntários não realizavam nenhuma tarefa, porém também tinham a oportunidade de dormir por até 90 min (Figura 2).

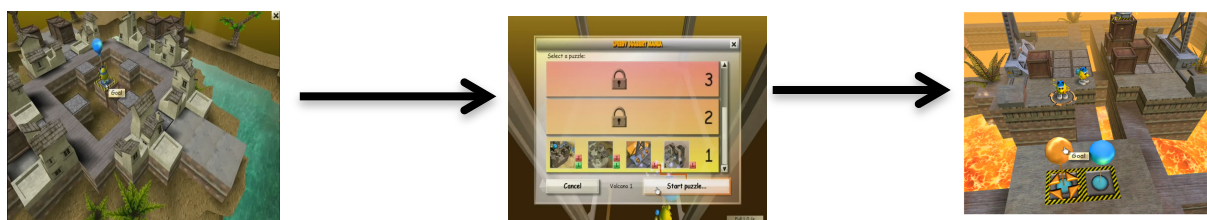


Figura 2. *Speedy Eggbert Mania*®. Esquema representativo de como o jogo funciona. O voluntário tinha 10 minutos no máximo para tentas resolver cada fase. Caso resolvesse o jogo ele passava para a próxima, caso contrário o jogo era interrompido.

### *Polissonografia*

Para realizar a polissonografia, composta pelo eletroencefalograma (EEG), eletrooculograma (EOG) e o eletromiograma (EMG), utilizou-se o polissonógrafo da marca *Philips Respironics* (Alice 5). Utilizou-se o sistema 10-20 para a marcação dos pontos craniométricos. Foram utilizados os pontos F3, F4, C3, C4, O1 e O2, referenciados nos mastoides M1 e M2. Os eletrodos foram colocados de acordo com as recomendações da associação americana de medicina do sono. A classificação dos estágios de sono foi realizada utilizando o manual da Academia Americana de Medicina do Sono (IBER, 2007). As variáveis da macroestrutura da sesta analisados nos dados de polissonografia foram: tempo total de sono (TST), tempo acordado após início do sono (WASO) porcentagem e duração absoluta de cada fase de sono.

Para a avaliação da microestrutura da sesta foi analisado a força

espectral nas faixas de frequência de oscilações lentas (0,5 - 1 Hz), delta (1 - 4 Hz) teta (4 - 8 Hz) e dos fusos do sono (12 - 15 Hz). A análise foi realizada no *Matlab* 2014a (Mathworks, Natick, USA) utilizando a *toolbox SpiSop*, baseada no pacote *Fieldtrip* (OOSTENVELD *et al.*, 2011 <http://fieldtrip.fcdonders.nl>). Força espectral pode ser definido como a força total, no caso o sinal do EEG, está distribuída nas diferentes frequências (OL, delta, teta e fusos). A frequência que possui maior força numa época de EEG é que está mais predominante e assim é possível descobrir qual possui mais força no total do EEG.. Além da força espectral, foi calculada a densidade de fusos e OL por épocas de 30 segundos. Épocas com artefatos visualmente identificados no EEG e EMG foram excluídas da análise.

#### *Análise estatística*

Os dados estão apresentados como média  $\pm$  desvio padrão. A normalidade dos dados foi testada pelo teste Shapiro-Wilk. Variáveis paramétricas foram comparados entre os dois grupos através de teste-t não pareado ou ANOVA e dados não paramétricos através de teste de Mann-Whitney ou ANOVA de duas vias com teste *post-hoc* utilizando Mann-Whitney. Para o valor de significância foi utilizado  $p \leq 0,05$ . Para as análises da estrutura do sono (macro- e microestrutura) os dois grupos foram distribuídos em mais dois grupos, um no qual os voluntários dormiram SOL e outro no qual os voluntários não dormiram SOL. Assim para análise da estrutura, foi aplicada uma ANOVA de duas vias (2x2), com fatores grupo (tarefa e controle), e presença ou não de do estágio de sono de ondas lentas. Isso foi feito pois as análises iniciais indicaram uma variância muito grande e em estudo prévio em nosso laboratório foi mostrado que dormir sono de ondas lentas aumentou a chance de resolver o paradigma em questão (BEIJAMINI *et al* 2014).

#### 4.RESULTADOS

Primeiramente foram comparados os dados de controle entre o grupo tarefa (n = 14, idade =  $22,38 \pm 3,81$ ) e o grupo controle (n = 13, idade =  $22,49 \pm 3,79$ ), os grupos não apresentaram diferenças significativas de idade, IMC, pontuação no HO, no ESS, na duração e nem eficiência de sono na noite anterior ao experimento (todos com  $p > 0,05$ ). Porém, os grupos não foram igualmente separados para sexo, no grupo tarefa todos os voluntários eram do sexo feminino e no grupo controle cinco voluntários eram do sexo masculino (feminino = 8) (TABELA 1).

Tabela 1 – Descrição demográfica da amostra.

	Controle	Tarefa	T/W	p
<b>Sexo (F/M)</b>	8/5	14		
<b>Idade</b>	22,38 ( $\pm 3,81$ )	22,42 ( $\pm 3,79$ )	88	0,9
<b>IMC</b>	21,58 ( $\pm 2,31$ )	23,42 ( $\pm 3,91$ )	61,5	0,25
<b>ESS</b>	9,61 ( $\pm 3,47$ )	11,85 (4,09)	-1,53	0,13
<b>Pontuação MEQ</b>	51,61 ( $\pm 10,78$ )	44,5 ( $\pm 14,86$ )	1,43	0,16
<b>Dur.Pre.teste (min)</b>	419,96 ( $\pm 94,89$ )	423 ( $\pm 88,11$ )	-0,08	0,93
<b>Seff.Pre.teste (min)</b>	86,94 ( $\pm 10,21$ )	85,13 ( $\pm 8,33$ )	0,47	0,64

Descrição da amostra, distribuição de sexo, idade, índice de massa corporal, sonolência, pontuação da escala de preferência diurna, duração (minutos) do sono na noite anterior e eficiência do sono na noite anterior.

As primeiras análises de macro- e microestrutura entre o grupo tarefa e o controle apontaram uma variância muito grande dos dados. Como, também, esperávamos diferenças maiores para a densidade forças espectral das faixas de frequências presentes no sono de ondas lentas, os voluntários foram distribuídos entre aqueles que dormiram ondas lentas e os que não dormiram. Para comparar se haviam diferenças na macro- e microestrutura do sono entre os dois grupos, foram feitas ANOVAs de duas vias (grupo x dormir sono de ondas lentas). Para os dois grupos cinco voluntários não dormiram ondas lentas, para o grupo tarefa nove voluntários dormiram ondas lentas e para o controle oito dormiram ondas lentas. Com relação a macroestrutura da sesta foi observado que relacionado ao fator

dormir ou não SOL houve diferença para porcentagem de tempo que dormiu sono 1 ( $F_{1,23} = 5,409$ ,  $p = 0,029$ ), porém não para o tempo (min) total de sono 1 ( $F_{1,23} = 0,259$ ,  $p = 0,616$ ), também foi encontrado diferença para o tempo (min) ( $F_{1,23} = 11,23$ ,  $p = 0,002$ ), e porcentagem ( $F_{1,23} = 13,49$ ,  $p = 0,001$ ) de sono 3. Como já era esperado, o teste *post hoc* mostra que o grupo que dormiu ondas lentas teve mais tempo ( $p = 0,002$ ) e maior porcentagem ( $p = 0,001$ ) de sono 3, assim como maior porcentagem de sono 1 ( $p = 0,029$ ) do que o grupo que não dormiu ondas lentas. Ainda relacionado à macroestrutura da sesta não foi observado efeito de grupo sobre as demais variáveis: tempo e porcentagem de sono 2 e sono REM, tempo total de sono. Foi observada apenas uma interação para a variável WASO ( $F_{1,23} = 4,686$ ,  $p = 0,041$ ), na qual o grupo tarefa que dormiu ondas lentas passou mais tempo acordado após o início de sono WASO do que o grupo que fez tarefa e não dormiu ondas lentas.

Tabela 2 – Descrição dos dados de padrão de sono obtidos por polissonografia.

	<u>Controle</u>		<u>Tarefa</u>		<u>p</u>
	<u>SOL</u>	<u>SOL</u>	<u>Sem SOL</u>	<u>Sem SOL</u>	
<b>TST (min)</b>	66,33 (±16,53)	72,65 (±8,27)	51,62 (±24,99)	51,52 (±19,61)	0,47
<b>Estágio 1 (min)</b>	13,50 (±5,83)	14,65 (±5,41)	17,12 (±3,75)	13,25 (±1,55)	0,32
<b>Estágio 2 (min)</b>	29,88 (±9,26)	38,65 (±12,67)	33,50 (±22,82)	33,25 (±13,72)	0,24
<b>Estágio 3 (min)</b>	18,22 (±15,06)	13,60 (±10,84)	N.D.	N.D.	0,45
<b>REM (min)</b>	4,72 (± 5,18)	5,85 (±5,06)	1,10 (±2,20)	5,12 (±1,63)	0,84
<b>WASO (min)</b>	14,55 (±13,22)	8,15 (±9,93)	26,62 (±19,69)	10,50 (±4,18)	0,95
<b>Estágio 1 (%)</b>	22,12 (±12,31)	20,63 (±8,81)	40,77 (±24,11)	27,99 (±8,33)	0,59
<b>Estágio 2 (%)</b>	46,20 (±14,55)	53,55 (±17,21)	57,60 (±24,11)	64,52 (±8,37)	0,63
<b>Estágio 3 (%)</b>	25,56 (±18,63)	18,20 (±13,88)	N.D.	N.D.	0,34
<b>REM (%)</b>	6,09 (± 6,71)	7,69 (±6,51)	1,47 (±2,00)	7,48 (±12,22)	0,88
<b>Densidade de fusos</b>	2,22 (±0,39)	2,28 (±0,57)	2,47 (±0,42)	2,66 (±0,47)	0,63
<b>Densidade de SO</b>	1,48 (±0,58)	1,44 (±0,63)	0,61 (±0,14)	0,88 (±0,30)	0,72

Descrição dos dados de padrão sono da sesta por polissonografia, média ± desvio padrão. SOL = grupo que dormiu ondas lentas; Sem SOL = grupo que não dormiu ondas lentas; min = minutos totais; % = porcentagem do tempo total de sono. TST = tempo total de sono; WASO = tempo acordado após início do sono. Densidade de fusos do sono e de oscilações lentas estão apresentados em número total por épocas de 30 segundos.

A análise da microestrutura foi feita em seguida para tentar identificar diferenças em padrões eletroencefalográficos específicos. A primeira faixa de

frequência analisada para densidade de força espectral foi a faixa dos fusos do sono. Não foram encontradas diferenças significativas para nenhum dos canais avaliados (todos com  $p > 0,156$ ). Com relação às ondas do tipo teta, foi observada diferença apenas para o fator dormir ou não ondas lentas nos canais F3 ( $F_{1,21} = 6,93$ ,  $p = 0,015$ ) e F4 ( $F_{1,23} = 6,49$ ,  $p = 0,017$ ), sendo que quem dormiu ondas lentas apresentou maior densidade de força espectral na faixa de teta para esses canais (*post hoc*: F3  $p = 0,015$ ; F4  $p = 0,017$ ). Não foi observado efeito do fator grupo ou interação para essa variável.

Outro tipo de ondas do sono avaliado foram as ondas delta. Não foi observado efeito significativo de grupo em nenhum dos canais, porém observou-se que dormir ondas lentas teve efeito em todos os canais (F3:  $F_{1,21} = 5,32$ ,  $p = 0,031$ ; F4:  $F_{1,23} = 9,53$ ,  $p = 0,005$ ; C3:  $F_{1,22} = 20,95$ ,  $p < 0,001$ ; C4:  $F_{1,23} = 19,46$ ,  $p = 0,005$ ), sendo que para todos os casos o teste *post hoc* mostrou que o grupo que dormiu ondas lentas teve maior densidade de força espectral de delta do que os que não dormiram (F3:  $p = 0,031$ ; F4:  $p = 0,005$ ; C3:  $p < 0,001$ ; C4:  $p = 0,005$ ). Além do fator dormir ondas lentas, foi observada interação entre os dois fatores para delta nos canais C3 ( $F_{1,22} = 14,19$ ,  $p = 0,001$ ) e C4 ( $F_{1,23} = 4,47$ ,  $p = 0,045$ ). Para delta em C3 a interação entre tarefa e dormir ondas lentas teve maior densidade de força espectral do que a interação entre controle e dormir ondas lentas (*post hoc*:  $p = 0,002$ ).

O último padrão de ondas analisado foi o de oscilações lentas, como para o padrão de delta, não houve efeito de grupo, porém houve efeito de dormir ou não SOL para todos os canais (F3:  $F_{1,21} = 6,15$ ,  $p = 0,021$ ; F4:  $F_{1,23} = 9,32$ ,  $p = 0,005$ ; C3:  $F_{1,22} = 18,74$ ,  $p < 0,001$ ; C4:  $F_{1,23} = 10,48$ ,  $p = 0,003$ ) e houve interação entre fatores para o canal C3 ( $F_{1,22} = 6,79$ ,  $p = 0,016$ ). A interação em C3 mostrou que o grupo tarefa que dormiu sonos de ondas lenta teve maior densidade de força espectral do que o grupo controle que dormiu SOL (*post hoc*,  $p = 0,027$ ). As análises de força espectral estão mostradas na Figura 3.

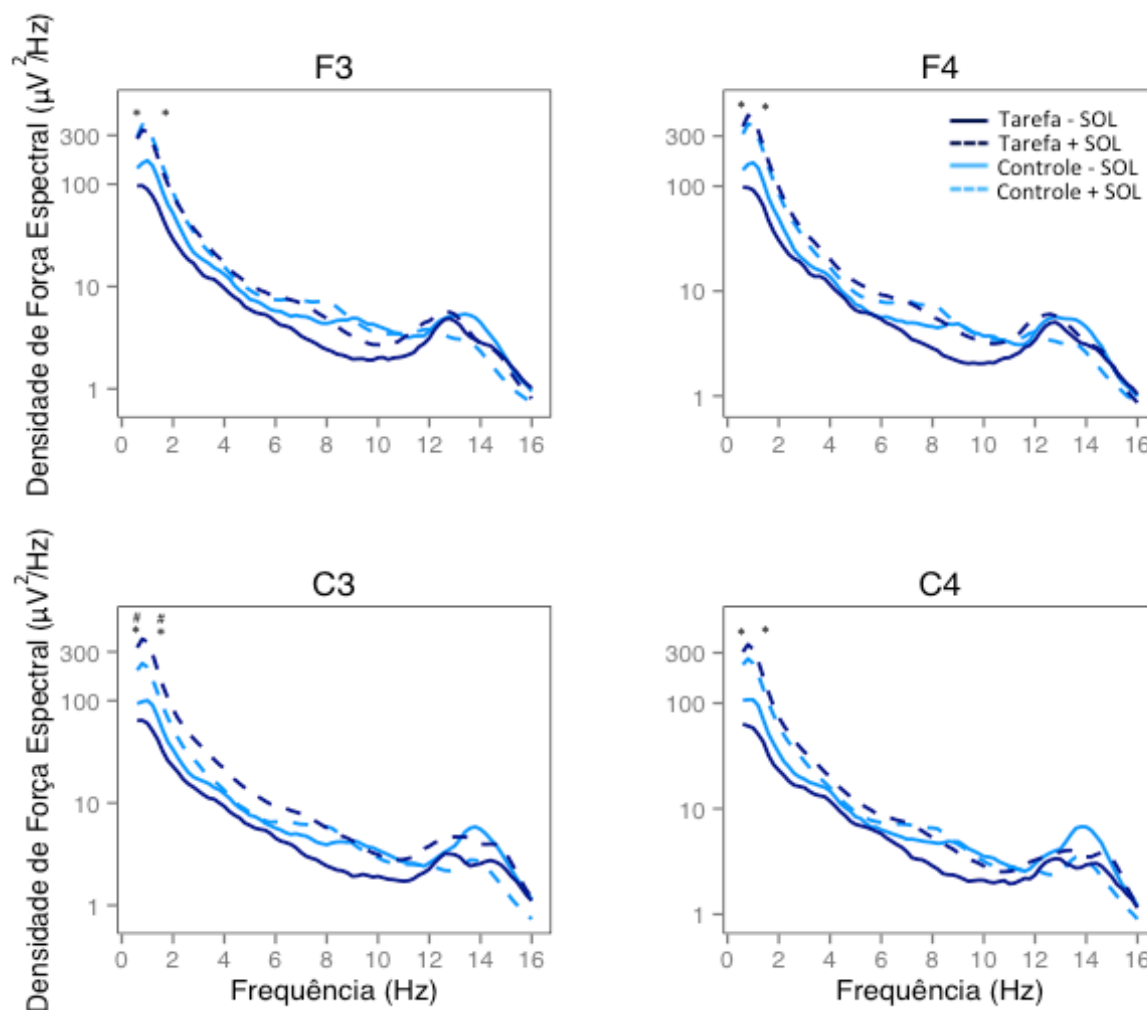


Figura 3. Densidade de força espectral de sono NREM. O dados foram analisados em quatro possíveis combinações: grupo (tarefa e controle) x Dormir SOL (sim ou não), nas seguintes frequências: OL, delta, teta e fusos. Foram analisados os dados de quatro eletrodos: F3, F4, C3, C4. \*diferenças significativas em todos os eletrodos para OL e delta para o fator dormir ondas lentas (ANOVA de duas vias  $p < 0,01$ ), e os que dormiram ondas lentas tiveram maior densidade de força espectral do que os que não dormiram (*post hoc*  $p < 0,031$ ). # Em C3, foi encontrado interação entre grupo e dormir ondas lentas para as frequências OL e delta, o grupo que fez a tarefa e dormiu ondas lentas teve maior força espectral do que o grupo que não fez a tarefa e dormiu ondas lentas (*post hoc*  $p < 0,03$ ). Para as outras frequências não foi encontrado nenhuma interação em nenhum canal (ANOVA, todos os  $p > 0,05$ ).

Foram analisados também o número total e densidade de fusos e ondas lentas, porém para nenhum deles foi observada uma diferença significativa quando comparado entre os grupos (ANOVA de duas vias todos com  $p > 0,05$ ; Tabela 2). Em relação à presença ou não de sono de ondas lentas, não foi observada nenhuma diferença para fusos (ANOVA de duas vias,  $p > 0,05$ ). Porém, quando esta variável foi comparada entre os grupos que dormiram ou não sono de ondas lentas, foi

encontrada diferença significativa para número total e densidade de oscilações lentas para todos os canais (ANOVA de duas vias  $p < 0,05$ ), sendo que quem dormiu ondas lentas teve maior densidade e número OL do que quem não dormiu (*post hoc*,  $p < 0,05$ ), como seria de esperar.

## 5.DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo avaliar se a realização de uma tarefa que necessita de raciocínio lógico para a sua resolução, logo antes da sesta, alteraria sua macro- e/ou microestrutura. Não encontramos diferenças significativas entre os grupos controle e tarefa para as variáveis da macroestrutura da sesta (porcentagem e tempo total em cada fase de sono, tempo acordado após início do sono e tempo total de sono). No entanto, quando avaliamos a macroestrutura do sono durante a sesta observamos que os grupos que dormiram ondas lentas, como esperado, tiveram maior porcentagem e tempo total de sono 3 (sono de ondas lentas), visto que esse foi justamente um dos critérios utilizados para separar os grupos. Além disso, os grupos que dormiram ondas lentas tiveram maior porcentagem de sono 1, porém não tiveram maior tempo total de sono 1. Para a macroestrutura ainda foi observado que o grupo tarefa que dormiu ondas lentas teve mais tempo acordado após o início de sono (WASO) do que o grupo tarefa que não dormiu ondas lentas, o que pode ter sido apenas um artefato da análise.

Com relação à microestrutura da sesta, primeiramente foi observado que os grupos que dormiram ondas lentas tiveram maior densidade força espectral de delta e SO do que os que não dormiram ondas lentas, assim como maior densidade e número total de SO. Isso pode ser explicado pelo fato de que o sono de ondas lentas é composto em sua maior parte por ondas de baixa frequência e grande amplitude, SO e delta são característicos dessas fases de sono (IBER, 2007).

Com relação à maior densidade de força espectral de OL e deltas em C3 para os sujeitos que fizeram a tarefa e dormiram ondas lentas, pode ser um possível indício para o fato de que a realização dessa tarefa antes da sesta pode alterar a sua estrutura. Uma das possíveis explicações é que a tarefa era realizada controlando o *mouse* do computador com a mão direita, talvez isso tenha causado um o aumento da densidade força espectral em C3, hemisfério contralateral à mão que foi realizada a tarefa, e talvez seja consolidação de memória procedural e não tenha relação com o conteúdo da tarefa em si. Porém, tarefas procedurais são relacionadas com fusos do sono (FOGEL & SMITH, 2006; WALKER, 2007) e não com ondas do tipo delta e OL, como observado no nosso experimento.

Outra possível explicação para a diferença de densidade de força espectral seria pelo fato de os grupos não serem homogêneos para sexo, sendo que o grupo tarefa era composto apenas por mulheres enquanto que o grupo controle era composto por mulheres e homens. Como mostrado em outros estudos, mulheres tem maior densidade de força espectral de delta (CARRIER et al, 2001) e maior força de ondas de baixa frequência também (0,5 – 2 Hz) (DIJK et al., 1989; MOURTAZAEV et al, 1995), os quais englobariam SO e parte de delta. Isso pode indicar que essa diferença em força espectral em nosso experimento possa ser explicada pela composição de sexo dos grupos e não esteja relacionado com a realização da tarefa. Entretanto, isso não explicaria porque a diferença foi observada apenas em C3, visto que os estudos citados não indicaram uma diferença hemisfério específica ( DIJK et al., 1989, MOURTAZAEV et al, 1995, CARRIER et al, 2001). Isso poderia sugerir que o sexo não teve influência sobre a diferença de densidade de força espectral observada.

Visto que apesar de o desafio exigir raciocínio lógico para a sua resolução, também existe o componente de navegação espacial para realização da tarefa que pode influenciar a microestrutura da sesta. Uma possível explicação seria que o sono tenha sido alterado pela realização do componente de navegação espacial, uma vez que já foi mostrado que frequências do tipo delta estão relacionadas com uma melhora no desempenho em navegação em um labirinto visual (WAMSLEY *et al.* 2010), o que poderia explicar maior força de delta no grupo tarefa. A maior densidade de força espectral de OL, talvez possa ser explicada pela consolidação de memória declarativa e pela integração de memória proposta pela hipótese de consolidação ativa de sistemas, no qual as OL sincronizam a atividade de fusos e *ripples* para reorganizar a memória no córtex e permitir a sua integração em redes pré-existentes (BORN *et al.*, 2006; DIEKELMANN & BORN, 2010; STARESINA *et al.*, 2015). Durante o processo de atualização de esquemas cognitivos pré-existentes ocorre a abstração de regras/padrões e do conteúdo essencial ('*gist*') da informação recém-adquirida, sendo este, portanto um momento propício ao surgimento de um insight. (LEWIS & DURRANT, 2011).

A presença dessa diferença apenas em C3 talvez seja explicada por ser o hemisfério contralateral à mão que realizou a tarefa. Porém, outra possível explicação seria a lateralização da atividade encefálica para a obtenção do *insight* e da resolução de problemas. Estudos mostram que voluntários que obtiveram *insights*

para a resolução de problemas, assim como maior criatividade, tiveram maior atividade encefálica no hemisfério esquerdo, indicado tanto por um estudo que utilizou eletroencefalograma (RAZUMNIKAVA, 2007) como por um estudo que utilizou ERP (*event-related potentials*) (QIU *et al.* 2008a). No estudo feito por Razumnikova, foi utilizado o RAT (*Remote Associates Test*), paradigma utilizado para avaliar pensamento criativo e no EEG foi observada maior atividade na região parietal-temporal dos hemisférios esquerdos. Porém, grande parte dos estudos contradizem os previamente citados, indicando que o *insight* e a criatividade estão mais associados ao hemisfério direito e ainda há dúvidas com relação à assimetria de atividade na obtenção de *insights* como indicado na revisão feita por Dietrich & Kanso (2010).

É importante ressaltar que os participantes não foram comparados com eles próprios em cada uma das duas situações e existem muitas diferenças individuais na arquitetura do sono que dificultam a tarefa de encontrar diferenças provenientes apenas da intervenção aqui realizada.

## 6.CONCLUSÃO

Podemos concluir que a realização de uma tarefa anteriormente a dormir uma sesta altera a microestrutura do sono, porém não tem efeito sobre sua macroestrutura. Entretanto, não foi possível identificar ao que se deve essa alteração, se é consequência do aprendizado motor para realização da tarefa ou da atividade cognitiva associada à realização e aprendizado da tarefa.

## REFERÊNCIAS

- ASTORI, S.; WIMMER, R. D.; LÜTHI, A. Manipulating Sleep Spindles - Expanding Views on Sleep, Memory, and Disease. **Trends in Neurosciences** v.36, n.12, p. 738–48, 2013
- BEIJAMINI, F.; PEREIRA, S. I. R.; CINI, F. A.; LOUZADA F. A. After Being Challenged by a Video Game Problem, Sleep Increases the Chance to Solve It. **PLoS ONE** v.9, n.1 p.1–5., 2014.
- BORN, J.; RASCH, B.; GAIS, S. Sleep to Remember. **The Neuroscientist**. v.12, n.5, p. 410-424. 2006
- BUCKNER, R. L. The Role of the Hippocampus in Prediction and Imagination. **Annual Review of Psychology** v.61, p.27–48, 2010.
- BURGESS, N.; MAGUIRE, E. A.; KEEFE, J. O. The Human Hippocampus and Spatial and Episodic Memory v.35, p.625–41, 2002.
- CARRIER, J.; LAND, S.; BUYSSE, D. J.; KUPFER, D.J.; MONK, T.H. The Effect of age and gender on sleep EEG power spectral density in the middle years of life (ages 20-60 years old). **Psychophysiology** v.38(2), p.232–42, 2001.
- CLEMENS Z; FABÓ, D; HALÁSZ P. Overnight verbal memory retention correlates with the number of sleep spindles. **Neuroscience** v. 132, p.529 –535, 2005.
- DIEKELMANN, S.; BORN, J. The Memory Function of Sleep. **Nature Reviews. Neuroscience** v.11, n.2, p. 114–26. 2010.
- DIETICH, A.; KANSO, R. A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. **Psychological Bulletin** v.136, n.5, p. 822–848. 2010.
- DIJK, D.J.; BEERSMA, D.G.; BLOEM, G.M. A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. **Psychological Bulletin** v.136, n.5, p. 822–848. 2010

- LEWIS, P. A.; DURRANT, S. J. Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata. **Trends in Cognitive Science**. .15, n.8, p343-351. 2011.
- ESCHENKO, O.; MÖLLE, M. BORN, J.; J SARA, S. J. 2006. Elevated Sleep Spindle Density after Learning or after Retrieval in Rats. **The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience** v.26, n.50, p.12914–20. 2006.
- FOGEL, S. M.; SMITH, C.T. Learning-dependent changes in sleep spindles and stage 2 sleep. **Journal of Sleep Research**. v.15, p.250-255.
- FOGEL, S. M. AND SMITH, C. T. The function of sleep spindle: A physiological index of intelligence and a mechanism for sleep-dependent memory consolidation. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**.v. 35, n.5, p.1154-1165. 2011
- GENNARO, L. D., FERRARA, M. “Sleep Spindles: An Overview” v.7 n.5 . 2003
- HASSABIS, D.; KUMARAN, D.; VANN, S. D.; MAGUIRE, E. A. Patients with Hippocampal Amnesia Cannot Imagine New Experiences. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v.104, n.(5), p.1726–31, 2007.
- JOHNSON, L. A.; BLAKELY, T.; HERMES, D.; HAKIMIAN, S.; RAMSEY, N.F.; OJEMANN, J.G. Sleep Spindles Are Locally Modulated by Training on a Brain-Computer Interface. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. . 2012.
- MARSHALL, L.; BORN, J. The Contribution of Sleep to Hippocampus-Dependent Memory Consolidation. **Trends in Cognitive Sciences**. v.11, n.10, p.442–50, 2007.
- MÖLLE, M.; BORN, J. Hippocampus whispering in deep sleep to prefrontal cortex–for good memories? **Neuron**. v.61 p.496 – 498. 2009
- MÖLLE, M., BERGMANN, T. O.; MARSHALL, L.; BORN, J. Fast and Slow Spindles during the Sleep Slow Oscillation: Disparate Coalescence and Engagement in Memory Processing. **Sleep**. 2011.

- MURTAZAEV, M.V.; KEMP, B.; ZWINDERMAN, A.H.; KAMPHUISEN, H.A. Age and gender affect different characteristics of slw waves in the sleep EEG. **Sleep**. v.18(7), p557-64, 2011.
- OOSTENVELD, R.; FRIES, P.; MARIS, E.; SCHOFFELEN, J. M. FieldTrip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. **Computational intelligence and neuroscience**, V.2011, p.1-9. 2011
- QIU, J.; LI, H.; YANG, D.; LUO, Y.; LI, Y.; WU, Z.; ZHANG, Q. The Neural Basis of Insight and Problem Solving: An event-related potential study. **Brain and Cognition**, V.68, p.100-106. 2008a
- IBER, C. The AASM manual for scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. **American Academy of Sleep Medicine**, 2007.
- RASCH, B.; BORN, J. About sleep's role in memory. **American Physiological Society**, v. 93, p.681-766, 2013.
- RAZUMNIKOVA, O. M. Creativity related cortex activity in the remote associates task. **Brain Research Bulletin**, v. 73, p.96-102, 2007.
- SEJNOWSKI, T. J.; DESTEXHE, A. "Why Do We Sleep?" **Brain Res.** v.886, p.208–23, 2000.
- STARESINA, B. P.; BERGMANN, T. O.; BENNEFOND, M.; JENSEN, O.; DEUKER, L.; ELGER, C. E.; AXMANCHER, N.; FELL, J. Hierarchical nesting of slow oscillations, spindles and ripples in the human hippocampus during sleep. **Nature Neuroscience**. v. 18, p. 1679-1686. 2015
- WAMSLEY, E. J.; TUCKER, M. A.; PAYNE, J. D.; STICKGOLD, R. A Brief Nap Is Beneficial for Human Route-Learning: The Role of Navigation Experience and EEG Spectral Power. **Learning & Memory**. v.17, n.7, p.332–36. 2010.

