

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL

**MODELAGEM DO RITMO CIRCADIANO
UTILIZANDO SISTEMAS MULTIAGENTE: UM
ESTUDO DE CASO DA INFLUÊNCIA DA DOR**

por

Angélica Theis dos Santos

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Modelagem Computacional

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Diana Francisca Adamatti
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Catia Maria dos Santos Machado

Rio Grande, 2018

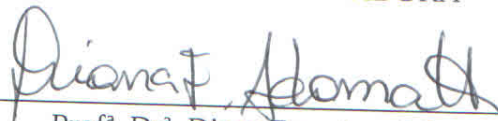
Angélica Theis dos Santos

“ Modelagem do ritmo circadiano utilizando sistemas multiagente: Um estudo de caso da influência da dor ”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área concentração: Modelagem Computacional.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Diana Francisca Adamatti
Orientador - FURG



Prof^a. Dr^a. Catia Maria dos Santos Machado
Coorientadora - FURG



Prof^a. Dr^a. Viviane Leite Dias de Mattos
FURG



Prof. Dr. Marilton Sanchotene de Aguiar
UFPEL

Rio Grande - RS
2018

Ficha catalográfica

S237m Santos, Angélica Theis dos.
Modelagem do ritmo circadiano utilizando sistemas multiagente: um estudo de caso da influência da dor / Angélica Theis dos Santos. – 2018.
59 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Rio Grande/RS, 2018.
Orientadora: Dra. Diana Francisca Adamatti.
Coorientadora: Dra. Catia Maria dos Santos Machado.

1. Modelo matemático 2. Simulação multiagente 3. Ritmo circadiano 4. Dor I. Adamatti, Diana Francisca II. Machado, Catia Maria dos Santos III. Título.

CDU 519.67

*À minha família,
simplesmente pelo apoio
incondicionalmente.
Serei sempre grata.
Amo vocês!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e cuidado incondicionalmente.

A minha família, pelo amor e apoio dedicados, e por entender minha ausência.

Aos amigos, pelo incentivo durante essa caminhada.

À orientadora, Diana Adamatti, pela paciência e ensinamentos.

À co-orientadora, Catia Machado, pela disponibilidade, contribuições e ideias.

Ao curso de Modelagem Computacional por me acolher em seu programa.

À CAPES pelo apoio financeiro.

E, finalmente aos colegas do Laboratório de Modelagem e Simulação Social e Ambiental (LAMSA) e do mestrado pelos bons momentos compartilhados.

*“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.”
Fernando Pessoa
(Mar português)*

RESUMO

SANTOS, Angélica Theis dos. **MODELAGEM DO RITMO CIRCADIANO UTILIZANDO SISTEMAS MULTIAGENTE: UM ESTUDO DE CASO DA INFLUÊNCIA DA DOR**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional. Ministério da Educação, Rio Grande.

O ritmo circadiano é responsável pelas variações diárias no metabolismo e seus distúrbios tem implicações diretas com muitas doenças, como, a obesidade e transtornos mentais. A regulação dos horários do sono é o exemplo mais comum da importância do ritmo circadiano para o funcionamento do organismo humano. Nesse sentido, o trabalho proposto tem como meta o estudo de um modelo matemático e computacional baseado em simulação de multiagente, da sincronização e dessincronização do ritmo circadiano em relação a variável dor. Resultados em um ambiente multiagente mostram o quanto a periodicidade do ritmo circadiano é alterado pela variável dor. Desta forma os ritmos biológicos do ritmo circadiano são alterados pela variável dor. Espera-se que este trabalho possa servir de base para trabalhos futuros, acadêmicos e também atender às necessidades da área médica.

Palavras-chave: Sistemas multiagente, Ritmo Circadiano, Vigília-Sono, Modelo Matemático.

ABSTRACT

SANTOS, Angélica Theis dos. **MODELING THE CIRCADIAN RHYTHM USING MULTIAGENT SYSTEMS**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional. Ministério da Educação, Rio Grande.

The circadian rhythm is responsible for the daily variations in metabolism and its disorders have direct implications for many diseases, such as obesity and mental disorders. The regulation of sleep time is the most common example of the importance of circadian rhythm for the functioning of the human organism. In this sense, this work aims to study a mathematical and computational model based on multiagent simulation, that simulates the synchronization and desynchronization of the circadian rhythm in relation to the pain variables. Results from a multiagent simulation of of circadian rhythms show that in relation to the pain variable, sleep is directly affected by pain, mainly the biological rhythms. In this way, our mathematical model was able to show that the pain changes in circadian rhythm. The main contribution of this work that it will be basis for future work and will contribute to the medical field.

Keywords: Multiagent systems, Circadian Rhythm, Wake-Sleep, Mathematical Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Escala Visual Analógica por MIGUEL (2003)	18
Figura 2	Esquema do Modelo Matemático	20
Figura 3	Curva sinusoidal do ritmo circadiano (JANSEN et al., 2007a)	21
Figura 4	Etapas de um processo de Simulação (ADAMATTI, 2011)	25
Figura 5	Interface inicial do NetLogo	27
Figura 6	Modelo da Biblioteca NetLogo, Wolf Sheep Predation (WILENSKY, 1999).	28
Figura 7	Exemplo do código: Modelo da Biblioteca NetLogo, Wolf Sheep Predation (WILENSKY, 1999)	28
Figura 8	Variáveis do modelo matemático obtidas por meio de dados empíricos	34
Figura 9	Parte do Código do Ritmo Circadiano e Homeostático	35
Figura 10	Interface do Modelo do Ritmo Circadiano	36
Figura 11	Interface do Modelo do Ritmo Circadiano 2	37
Figura 12	Análise do ritmo por 7 dias conforme SKELDON (2014)	38
Figura 13	Modelo influenciado pela dor booleana	39
Figura 14	Inserção da dor booleana no código	40
Figura 15	Influência da dor nos dias da semana	41
Figura 16	Cálculo da dor baseada nos parâmetros do ritmo circadiano	42
Figura 17	Interface final com a influência da dor	43
Figura 18	Cenário 1 - Relógio Biológico Ligado	47
Figura 19	Cenário 2 - Influência do nível de dor zero	48
Figura 20	Cenário 3 - Influência do nível de dor dois	48
Figura 21	Cenário 4 - Influência do nível de dor quatro	49
Figura 22	Cenário 5 - Influência do nível de dor seis	49
Figura 23	Cenário 6 - Influência do nível de dor oito	50
Figura 24	Cenário 7 - Influência do nível de dor dez	50
Figura 25	Cenário 8 - Influência do nível de dor variável	51
Figura 26	Comparação de todos os cenários	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Escala Dor	19
Tabela 2	Trabalhos Relacionados	31
Tabela 3	Trabalhos Relacionados 2	33
Tabela 4	Influência do nível de dor por cenário	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EVA	Escala Visual Analógica.
NREM	Sono de Ondas Lentas.
NSQ's	Núcleos Supraquiasmáticos.
REM	Movimento Rápido dos Olhos.
SWA	Atividade de Onda Lenta.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.2	Estrutura do texto	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Ritmos biológicos	15
2.2	Características do ciclo vigília-sono	16
2.2.1	Ritmo circadiano	17
2.2.2	Ritmo homeostático	18
2.3	Dor	18
2.4	Modelo matemático	19
2.5	Sistema baseado em agentes	25
2.5.1	NetLogo	26
2.6	Trabalhos relacionados	29
2.7	Considerações finais do capítulo	32
3	MODELO DESENVOLVIDO	34
3.1	Modelo do ritmo circadiano e homeostático implementado por Skeldon	34
3.2	Modelo TAM	39
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Os ritmos circadianos são oscilações em processos fisiológicos e comportamentais que ocorrem num período de 24 horas. Essas oscilações estão presentes em todas as atividades inconscientes de todos os seres vivos. Os ritmos biológicos do ritmo circadiano se referem as mudanças cíclicas que se repetem ao longo de um determinado período e estão relacionados com as alterações dos processos fisiológicos (MINATI et al., 2008).

Os ritmos biológicos do ritmo circadiano são mudanças cíclicas que se repetem ao longo de um determinado período e estão relacionados com às alterações dos processos fisiológicos do corpo, sendo que a atividade de dormir é um mecanismo de reparo das células que regulam os processos físicos, intelectuais e psíquicos. Sua regulação é realizada por ritmos circadianos e homeostáticos (BORBELY; ACHERMANN, 1999), caracterizado pela redução significativa da atividade motora e da percepção de estímulos sensoriais.

Os modelos matemáticos são úteis para representar situações reais, para fazer previsões e auxiliar no apoio de decisões. Desta maneira, as principais variáveis que modelam o ritmo circadiano assemelham-se a uma curva sinusoidal em um período de 24 horas (JANSEN et al., 2007b).

Os sistemas multiagente, área pertencente a inteligência artificial, permitem através de suas ferramentas, simular regras de comportamento de um determinado sistema, aproximando do fato real. Segundo SO; DURFEE (1996), os agentes são personagens que atuam com o programa direto ou indiretamente, pelo usuário, podendo, os mesmos, atuar sozinhos ou em comunidades, formando um sistema multiagente.

A simulação é uma técnica que envolve a construção de um modelo de uma situação real para posterior experimentação. Assim, em pesquisas desenvolvidas por BORBELY et al. (1984), foi desenvolvido um modelo matemático que descreve as curvas do ritmo circadiano, sendo que BORBELY; ACHERMANN (1999) aprimoraram este modelo, SKELDON (2014) implementou este modelo aprimorado utilizando sistema multiagente.

Mediante isso, a contribuição deste trabalho é implementar a variável dor no modelo desenvolvido por SKELDON (2014), seguindo o mesmo modelo matemático de BORBELY; ACHERMANN (1999). Diante de todas as pesquisas realizadas, não foi encon-

trado nenhum trabalho sobre a variável dor implementada no ritmo circadiano, utilizando sistemas multiagente.

Desta forma, o objetivo geral é estudar o desempenho do ritmo circadiano influenciado pela variável dor, utilizando sistemas multiagente.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é estudar o comportamento do ritmo circadiano influenciado pela variável dor, utilizando sistemas multiagente. Através das variáveis da simulação, mostrou-se uma aplicação do dia a dia, fazendo com que o modelo desenvolvido fosse o mais similar possível ao modelo real.

O modelo também tem como objetivo obter os resultados que mantenham o modelo do ritmo circadiano com influência da dor o mais próximo possível do natural.

Para atingir os objetivos principais, os demais objetivos específicos devem ser alcançados:

- estudar os modelos matemáticos do ritmo circadiano;
- pesquisar trabalhos relacionados ao tema de pesquisa;
- entender o modelo de simulação;
- estudar a modelagem e a simulação multiagente;
- estender o modelo da Universidade de Surrey;
- validar os resultados obtidos com a simulação multiagente através de comparação de cenários.

1.2 Estrutura do texto

O texto está estruturado em 5 capítulos. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica para a realização deste trabalho. No capítulo 3 está a proposta do trabalho, o modelo desenvolvido por SKELDON (2014) e a descrição de como foi realizada a implementação da influência da dor no ritmo circadiano. No capítulo 4 é realizado, a análise dos resultados e, por fim, no capítulo 5, apresenta-se a conclusão e sugestões de trabalhos futuros, que podem ser desenvolvidas para dar continuidade a este estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ritmos biológicos

Um ramo das ciências que estuda a organização temporal dos fenômenos biológicos, fisiológicos e psicológicos é a cronobiologia. Essa por sua vez permite a compreensão de que o organismo tem capacidade diferente de reagir em determinadas situações (MARCQUES, 1999).

ROTENBERG et al. (1997) definem a cronobiologia como

“estudo sistemático das características temporais da matéria viva, em todos os seus níveis de organização, favorecendo o entendimento da problemática relacionada aos distúrbios do sono.”

Os ritmos biológicos constituem-se do sistema de temporização endógeno. Esse sistema compreende a rede de osciladores acoplados, os quais, medem os ciclos ambientais claro-escuro de 24 horas. Sabe-se que os ciclos ambientais não possuem a mesma capacidade de ajustamento, como a temperatura corporal varia em condições de rotina constante.

O ramo da cronobiologia vêm ganhando seu espaço nos últimos tempos, com o desenvolvimento de investigações nas diversas áreas, sendo perceptível uma melhor compreensão da importância dos ritmos biológicos.

Os ritmos biológicos podem ser classificados em dois grandes grupos, de acordo com o período do ritmo de cada um (CIPOLLA-NETO; CAMPA, 1991):

- Ritmo Biológico Circadiano:
 - Ritmo Circadiano: sincronizado pela vigília-sono, com periodicidade em torno de 24 horas.
- Ritmo Biológico não Circadiano, dividido em:
 - Ritmo Ultradiano: variáveis fisiológicas com periodicidade de milissegundos (batimentos cardíacos), menor que 24 horas.
 - Ritmo Infradiano: regulação das variáveis de repetição maior que 24 horas, Um exemplo é a produção de plaquetas, cujo período é de sete dias.

O ritmo circadiano é um dos mais estudados, pois é muito relevante nas observações decorrentes do dia a dia. Um exemplo marcante é o ciclo vigília-sono, o qual terá seu enfoque principal nessa dissertação.

2.2 Características do ciclo vigília-sono

A variação entre o sono e vigília é fundamental para a saúde mental e física de todos os seres. Além de tornar fundamental o equilíbrio social e profissional, as alterações do sono, provocam insônia, sonolência e anemia.

O ciclo vigília-sono é controlado pelo sistema hipotalâmico e seus sistemas funcionais do sistema circadiano. O circadiano do ciclo vigília-sono é regulado pelos núcleos supra-quiasmáticos (NSQ's) do hipotálamo. Os núcleos estão localizados na base do cérebro, sobre o cruzamento das fibras nervosas originárias dos olhos (CARPENTER, 1978).

O ciclo vigília-sono tem ritmicidade de 24 horas, em que o período de vigília ocorre durante o dia e o sono durante a noite, dando ênfase que o sono realizado durante o dia não tem a mesma qualidade do sono noturno, bem como a vigília que ocorre a noite não é igual à do dia. Assim, tem-se:

- Processo - \tilde{S} - união do ritmo circadiano e ritmo homeostático.
- Ritmo Circadiano.
- Ritmo Homeostático.

Um dos mecanismos importantes da regulação do vigília-sono, é mostrado pelo processo \tilde{S} . Este por sua vez, é dependente da duração e qualidade do sono (BORBELY; ACHERMANN, 1999). A duração da vigília incrementa o processo \tilde{S} , aumentando assim o tempo de dormir. O vigília-sono é regulado pelo modelo de dois processos (ritmo circadiano e homeostático), definidos por BORBELY et al. (1984).

O sono é um processo ativado pelos mecanismos da alternância dos estágios REM (movimento rápido dos olhos - *rapid eye movements*) e NREM (sono de ondas lentas - *slow wave sleep*). Além destes estágios, o sono é dividido entre Desperto, NREM e REM. O desperto é momento em que deitamos e dormimos. Já o NREM é subdividido entre: sono leve, intermediário e ondas lentas. No processo, ondas lentas é o momento em que é realizado o sono mais profundo, que é o descanso das atividades diárias. O sono REM acontece na metade pro final da noite, sendo caracterizado pela ativação das áreas cerebrais (MCCARLEY, 2007).

No século passado, pesquisadores acreditavam que o sono era penetrado por substâncias que se acumulavam durante a vigília. Entretanto, após pesquisas realizadas foi possível verificar a identificação de neurotransmissores e a descoberta de sua correlação com os neurônios específicos (HIPOLIDE, 2008).

Os estudos relacionados ao sono, justificam-se pelo fato do mesmo ocupar parte da vida do ser humano. Dormir é uma necessidade de todos os indivíduos, sendo que a qualidade do sono influencia diretamente no desenvolvimento das atividades do dia. Se o sono for de qualidade ruim pode desencadear alterações comportamentais, por exemplo, irritação, variação de humor e lentidão mental.

O sono é uma necessidade básica humana e a sua preservação e manutenção é de fundamental importância para que a pessoa leve uma vida saudável e com qualidade. A necessidade de dormir varia de cada indivíduo, sendo que ter uma qualidade ruim de sono, desencadeia uma série de alterações comportamentais (BERGAMASCO et al., 2006; RUTENFRANZ et al., 1989).

Dormir pouco interfere negativamente nas atividades realizadas durante o dia, aumentando o risco para acidentes e baixo rendimento no trabalho e em atividades escolares. A curta duração do sono mostrou ter relação com irritabilidade emocional e déficit de atenção, além de ser identificada como fator de risco para a obesidade. Dados experimentais sobre os efeitos de privação do sono mostram que têm efeitos negativos sobre a sono-lência, o humor, no desenvolvimento das atividades cognitivas e motora, assim como em variáveis metabólicas, hormonais e imunológicas (NIXON et al., 2008).

A qualidade do sono muda sistematicamente com a idade. Os bebês têm sono curto durante o dia, reduzindo gradualmente o número de episódios diários de sono até a idade escolar. Na fase da adolescência o período do sono torna-se longo. Já na idade adulta, o período do sono é reduzido, e na fase da velhice esse período aumenta. Há mudanças bruscas na qualidade do sono com a idade. Não se sabe exatamente quais fatores ocorrem no corpo para causar essas mudanças, mas há evidência de que, à medida que envelhecemos, os ritmos circadiano e homeostático tem amplitude diferentes (SKELDON, 2014).

2.2.1 Ritmo circadiano

O ritmo circadiano, regula os ritmos materiais e psicológicos do ser humano, sendo controlado por um marca-passo localizado no cérebro, que é independente da vigília e do sono, que pode ser expresso por uma curva sinusoidal, com valores alcançando seu nível máximo de propagação do sono no início da manhã e o seu mínimo no início da noite.

O relógio que monitora o ciclo de atividades do corpo humano localiza-se, especificamente, no núcleo supraquiasmático. Esse núcleo é conectado a outras partes do cérebro e assim funciona como um marca-passo que regula o ritmo (CHIESA, 2005).

Portanto, é fundamental a sincronização do ritmo circadiano, visto que alterações no ritmo circadiano podem causar desajustes em diversas funções importantes do corpo humano.

2.2.2 Ritmo homeostático

O ritmo homeostático é decorrente da vigília sono que procede do modelo \tilde{S} , na qual é a pressão decorrente do sono acumulado durante o dia e que diminui durante a noite. O ritmo homeostático tem um aumento sinusoidal desde o início da vigília até o início do sono, na qual sofre uma queda até o seu final. O NREM é apresentado por marcadores fisiológicos do ritmo homeostático. O NREM é alto na primeiro estágio, quando é o primeiro sono, e exibe um declive sinusoidal ao longo do período (BORBELY; ACHERMANN, 1999).

A falta de sono provoca prejuízos substanciais no desempenho físico e cognitivo. As tarefas cognitivas complexas e as com componente substancial de vigilância sofrem redução da eficiência do processamento cognitivo devido à privação de sono (HORNE et al., 1983; ELLENBOGEN, 2005). Do mesmo modo, o excesso de sono afeta a eficiência destas tarefas.

2.3 Dor

Segundo a Associação Internacional de Estudos da Dor (*International Association for the Study of Pain - IASP*), a dor é conceituada como "uma experiência sensorial, emocional e desagradável, associada à um dano causado no corpo"(CHAPMAN et al., 1985).

Desta maneira, entende-se que a dor é uma experiência subjetiva que pode estar associada a uma lesão real ou potencial nos tecidos, podendo ser descrita tanto em termos destas lesões quanto por ambas as características (SILVA; PINTO, 2011).

As técnicas utilizadas para medir a dor são variadas, dentre elas questionários e quantificadores de intensidade de dor. Assim, essas técnicas podem ser unidimensionais ou multidimensionais. As unidimensionais analisam as características no geral, a intensidade. Já multidimensionais avaliam a dor em mais de uma dimensão.

A dor é medida através da Escala Visual Analógica (EVA), que pode ser visualizada pela figura 1.



Figura 1: Escala Visual Analógica por MIGUEL (2003)

Tabela 1: Escala Dor

0	2	4	6	8	10
Sem dor	Pouca dor	Dor Ligeira	Dor Moderada	Dor Intensa	Dor Máxima

A EVA é fácil de ser entendida, pois mostra claramente ao paciente a intensidade da dor, sendo que analisa somente a dor física, desconsiderando os demais aspectos. A mesma é classificada pela escala de zero a dez, sendo que uma extremidade é “nenhuma dor” e a outra “é a pior dor”. Desta forma, pede-se ao paciente dizer qual é o tamanho de sua dor.

Adaptou-se a EVA, para a tabela 1, que na simulação baseada em agentes, foi usada essa mesma escala da dor, sendo os valores definidos por “0, 2, 4, 6, 8, 10”.

Estes valores da tabela 1, foram definidos partindo da análise da EVA, sendo que os mesmos foram adaptados, a partir do grupo onde eles se encontra. Um exemplo é dor de intensidade quatro e cinco, pois cada um refere-se a um grupo, mas pertencem à dor moderada.

A dor influencia diretamente a qualidade do sono, sendo que a mesma pode provocar a dessincronização do ritmo circadiano.

2.4 Modelo matemático

O relógio biológico de cada pessoa é sincronizado conforme suas atividades decorrentes do dia. Assim, a marcação horária interna eventualmente é precisa. Na regulação interna, é necessário ter os mecanismos de ajustes que permitem a sincronização. Essa sincronização é realizada pelo fenômeno de ajuste, chamado de “arrastamento”. Esse fator externo que comanda o ajuste, denomina-se “cronômetro”. Os “crônômetros” são os sincronizadores do relógio biológico. Assim, o ritmo circadiano e homeostático são sincronizados pelos “crônômetros”, de maneira que os mesmos estejam sempre interligados, para que possam estar interligados é necessário um “marcapasso”. Para ocorrer a sincronização e dessincronização entre os ritmos, sempre tem um modelo matemático que comanda os ritmos (BORBELY et al., 1984).

Desta forma, BORBELY et al. (1984) definem que o sono é visto como um processo de recuperação da fadiga, decorrente da vigília do dia anterior, e sendo um modo de manter o homeostático em equilíbrio por um maior período. O sono é regulado por dois processos, sendo o processo do ritmo circadiano e o processo do ritmo homeostático. O ciclo vigília-sono é definido como o resultado da interação entre a demanda do ritmo circadiano e homeostático.

Analisando a figura 2, pode-se verificar como (BORBELY et al., 1984) definiram o funcionamento do ritmo circadiano ¹.

¹Figura 2 foi traduzida partindo do modelo de (BORBELY et al., 1984).

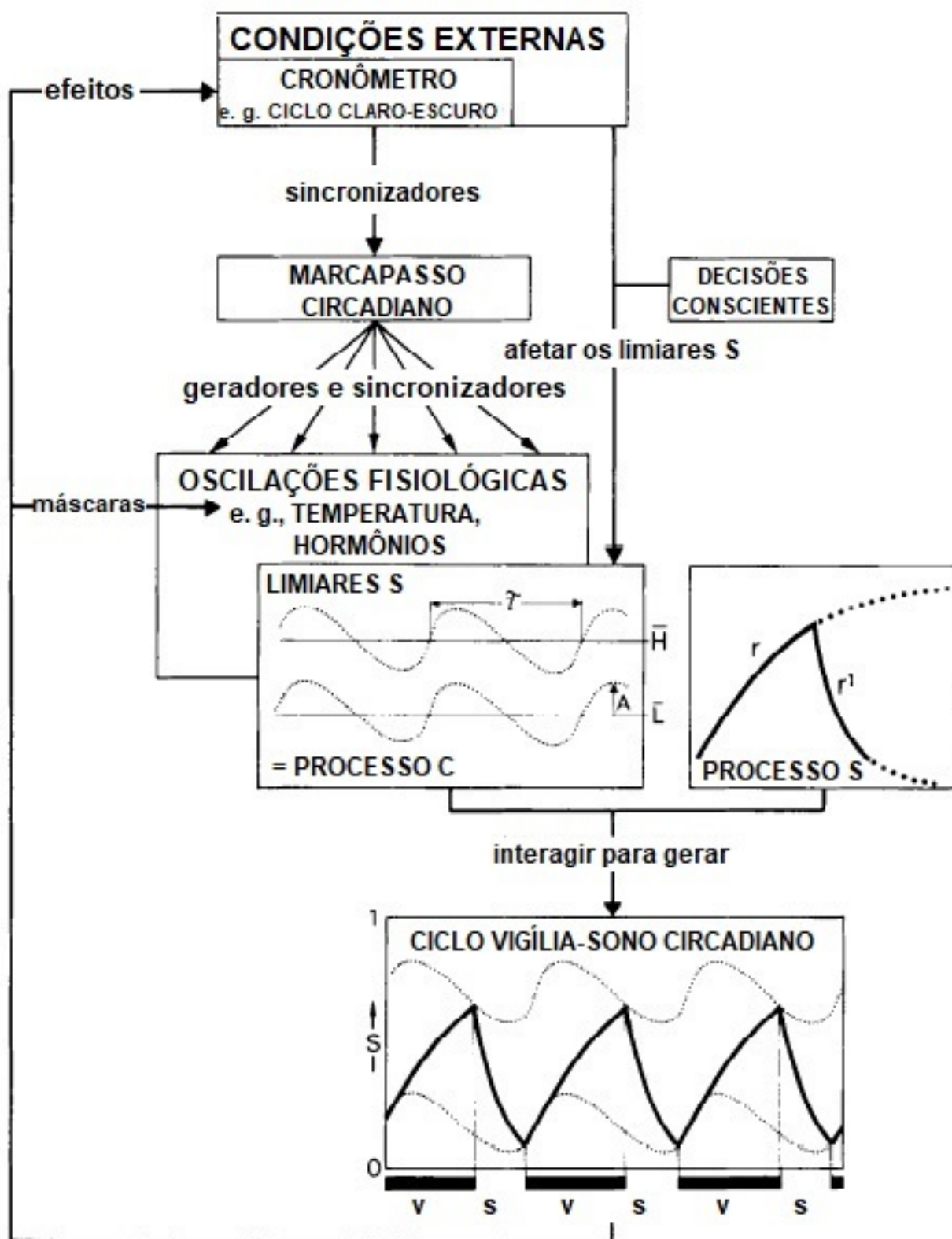


Figura 2: Esquema do Modelo Matemático

O presente modelo analisa apenas um “marcapasso”, localizado no núcleo supraquiasmático do hipotálamo, que funciona através dos mecanismos dos “cronômetro”. O ciclo vigília sono é arrastado pelo trato retinohipotalâmico, assim gerando numerosas oscilações circadianas fisiológicas. Para explicar essas oscilações tem-se dois limiares H e L, onde \tilde{S} (tempo de interação para gerar o processo do ritmo circadiano e homeostático) aumenta durante a vigília até atingir H, onde é a altura máxima para o início do sono. Assim \tilde{S} reduz durante o sono até atingir L, momento em que o sono termina. Assume-se, por combinação que \tilde{S} diminui durante o sono e aumenta durante a vigília.

Desta forma, entende-se que o ritmo circadiano - \tilde{S} , é modelado por uma curva sinusoidal com período de 24 horas, assim analisa-se a figura 3.

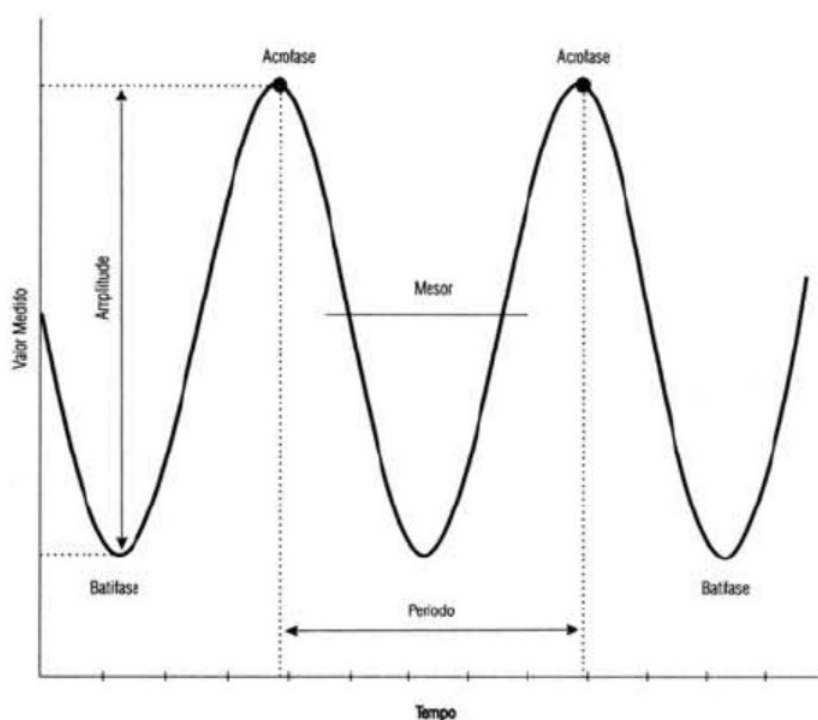


Figura 3: Curva sinusoidal do ritmo circadiano (JANSEN et al., 2007a)

Essa curva sinusoidal é o ajuste de todos os ritmos circadianos e homeostático, representado por (JANSEN et al., 2007a):

- Acrofase: é o pico, onde encontra-se o maior valor da oscilação - H.
- Batifase: é o mínimo, onde encontra-se o menor valor para oscilação - L.
- Amplitude: diferença entre acrofase e batifase - \tilde{S} .
- Período: tempo em horas, decorrente de duas oscilações da acrofase.
- Fase: horário do dia em que ocorre a acrofase.

- Mesor: valor médio da batifase e acrofase, equivalente ao valor médio da função cosseno dos valores de oscilação.

Desta forma, BORBELY et al. (1984) desenvolveram o modelo matemático dos dois processos - \tilde{S} , que foi aprimorado por BORBELY; ACHERMANN (1999), sendo que partindo deste modelo SKELDON et al. (2014), o implantou computacionalmente.

Conforme pode-se analisar pela equação (1), o ritmo homeostático.

$$S_t = \begin{cases} dS_{t-1}; d = \frac{-\Delta t}{\tau d}(\text{sleep}) \\ 1 - r(1 - S_{t-1}); r = \frac{-\Delta t}{\tau r}(\text{wake}) \end{cases} \quad (1)$$

Sendo que:

- S : processo homeostático, que aumenta durante a vigília e diminui durante o sono;
- d : fator de decaimento de S ;
- r : fator de aumento de S ;
- $\tau d, \tau r$ constantes do tempo ;
- δt tempo.

Nota-se que S é descrito por uma interação, onde o tempo são as etapas indicadas pelos índices $t, t-1$.

Ritmo Circadiano, equação (2).

$$C = A * \begin{cases} 0.97\sin[\omega(t - t_0)] + 0.22\sin[2\omega(t - t_0)] + 0.07\sin[3\omega(t - t_0)] + \\ 0.03\sin[4\omega(t - t_0)] + 0.001\sin[5\omega(t - t_0)] \\ \omega = \frac{2\pi}{\tau} \end{cases} \quad (2)$$

Sendo que:

- C : processo circadiano, que é independente da vigília sono;
- A : amplitude da onda sinusoidal;
- t : tempo;
- τ período de C ;
- t_0 fase circadiana com o início da simulação.

Assim, por meio do ritmo circadiano e homeostático, mostra-se a fase inicial e final do sono, que ocorre por meio da interação das equações (3) e (4).

$$\text{Sono - inicial} : S > H_m + C \quad (3)$$

e,

$$\text{Sono - final} : S < L_m + C \quad (4)$$

onde H_m é o limite médio superior e o L_m é o limite médio inferior.

Deste modo o valor de cada parâmetro é:

- $\tau d = 4.2$ h;
- $\tau r = 18.2$ h;
- $\delta t = 0.5$ h;
- $A = 0.12$ h;
- $\tau = 24$ h;
- $t_0 = 8.6$ h;
- $H_m = 0.67$;
- $L_m = 0.17$;
- $N = 0.022$;

Todos os parâmetros apresentados foram definidos por BORBELY et al. (1984), com base em dados obtidos a partir de adultos saudáveis, que foram submetidos a programas de vigília sono natural ou mudados. Essas pessoas estiveram expostas a diversos esforços e reforços nos seus ambientes diários que auxiliam o processo sono vigília à permanecer em sincronia com os demais ritmos.

Estes parâmetros variam nos diversos tipos de simulação. Como utiliza-se a dinâmica ultradiana da atividade de onda lenta (SWA), precisa-se levar em consideração os parâmetros estipulados por: (BORBELY; ACHERMANN, 1999), (ACHERMANN et al., 1993). O modelo de SWA é mostrado pela equação (5).

$$\frac{dSWA}{dt} = \begin{cases} rcSWA \left(1 - \frac{SWA}{S}\right) \frac{S}{S_U} \\ -fC_r(SWA - SWA_L)REMT(t) \\ -fC_w(SWA - SWA_L)W(t) \end{cases} \quad (5)$$

Onde:

- $REMT(t)$ é o sinal de disparo, derivado de dados empíricos;
- $W(t)$ é o sinal de despertar;
- rc é o aumento da constante;
- fC_r e fC_w queda constante de SWA;
- SWA_L limite inferior da assíntota;
- $SWA(0)$ nível inicial de SWA no início do sono.

Assim, ainda tem o processo \tilde{S} que é a interação entre o circadiano e homeostático, baseado na equação (6).

$$\frac{dS}{dt} = -gcSWA + rs(S_U - S) \quad (6)$$

O ganho constante (gc) está relacionado com a taxa de aumento de S (rs), que varia dependendo da assíntota superior de S (S_U) e o nível inicial de S varia no início do sono $S(0)$.

Assim, os parâmetros ficam definidos por:

- $rc = 0.283$;
- $fC_r = 0.236$;
- $fC_w = 1$;
- $n(t)$ = distribuição normal;
- desvio padrão = 0.182;
- $gc = 0.00825$;
- $rs = 0.0009167$.

Já os dados de S e SWA , SWA_L foram escalonados por meio de dados empíricos por (BORBELY; ACHERMANN, 1999), (ACHERMANN et al., 1993).

Para a simulação computacional realizada por (SKELDON, 2014), foram utilizados os parâmetros do SWA.

2.5 Sistema baseado em agentes

A simulação computacional é uma ferramenta que vem ganhando espaço nas mídias digitais, pois a mesma tem várias funcionalidades como projetar, planejar, controlar e avaliar alternativas do mundo real. Para essa prática é necessário softwares que representam o mundo real em simulação (REBONATTO, 2000).

Para VALENTE et al. (1993), o computador também é uma ferramenta educacional, é um instrumento que ajuda a ensinar a aprender, pois, desenvolve um aprendizado por intermédio do computador. O mesmo auxilia em tarefas que partem desde as elaborações primárias, como elaboração de textos, jogos de raciocínio lógico, pesquisa de dados, resolução de problemas. As resoluções de problemas, na maioria das vezes, estão ligados a uma linguagem de programação, que mostra em tempo real por meio de simulações os dados reais.

Uma importante modelagem de aprendizagem que vem sendo usada é a simulação baseada em agentes. Nesse meio é possível mostrar uma população real em uma forma artificial, onde cada indivíduo da população é apresentado por um agente e todos os agentes formam um grupo, sendo que cada um possui suas regras e comportamento.

No sistema de agentes, um fato real do dia a dia é mostrado em um conjunto de elementos e interações. Os elementos são modelados como agentes e o resultado final é as interações entre os agentes. Assim, STRACK (1984), define que a simulação pode ser dividida em três etapas, conforme citado por ADAMATTI (2011), figura 4:

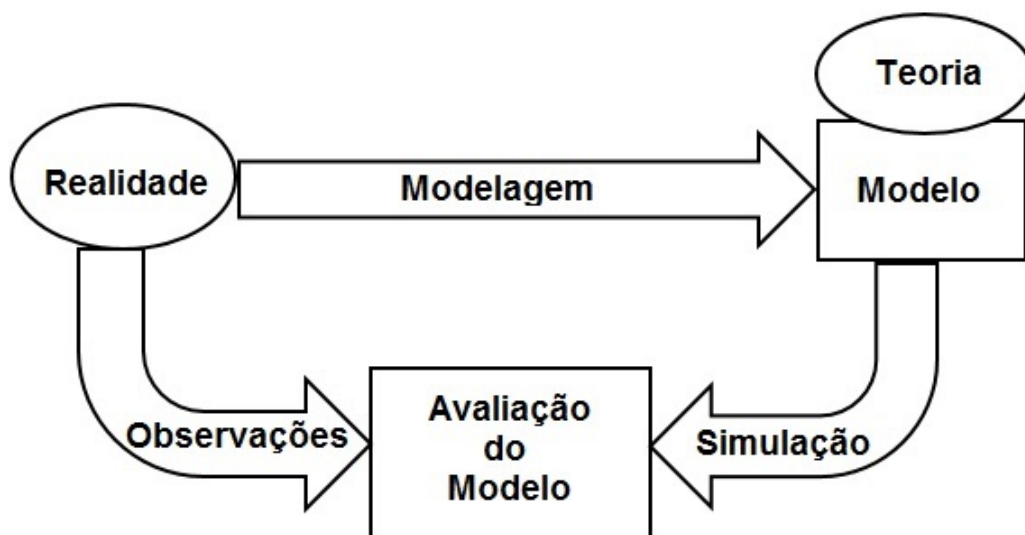


Figura 4: Etapas de um processo de Simulação (ADAMATTI, 2011)

- Etapa da Modelagem: construir o modelo do fenômeno a ser estudado;
- Etapa de Experimento: aplicar variações sobre o modelo construído, alternando parâmetros que influenciam no processo de resolução;

- Etapa da Validação: comparar dados experimentais obtidos com o modelo e a realidade, permitindo a análise dos resultados obtidos.

A simulação computacional de um problema real, exige um estudo rigoroso para obter todas as variáveis e relações que definem o modelo. O mesmo é realizado por meio de leituras, pesquisa, observação e análise do problema real.

Analisar os componentes do modelo da simulação é uma tarefa um pouco difícil, pois, quanto maior o número de variáveis, mais detalhado deverá ser realizado a análise. Após, definido o modelo e realizada a simulação, os resultados obtidos são comparados com dados reais para validar a equivalência.

A escolha pela simulação baseada em agentes para a modelagem do ritmo circadiano se deu pela necessidade da inserção de diferentes comportamentos para os agentes, que facilita a modelagem, a interação entre os agentes, entre ambiente e agentes, além da flexibilidade das modificações e aplicações.

Para utilizar a simulação baseada em agentes, é necessário dispor de ferramentas capazes de simular fenômenos reais. Há muitos ambientes de programação para modelagem baseada em agentes, dentre eles o NetLogo, que será utilizado nesse trabalho para simular o modelo do ritmo circadiano.

2.5.1 NetLogo

O NetLogo é um ambiente de programação de modelagem, com intuito de analisar o comportamento dos fenômenos naturais. O mesmo utiliza a linguagem LOGO, sendo facilmente utilizada por pesquisadores de diversas áreas (AZEVEDO, 2007).

O NetLogo é uma linguagem de programação de simulação de fenômenos naturais e/ou sociais:

- Permite experimentar simulações.
- Permite criar modelos para testar hipóteses sobre sistemas centralizados e descentralizados.
- Grande biblioteca contendo simulações em ciências naturais e/ou sociais.
- Adequada à modelação de sistemas complexos que evoluem no decorrer do tempo.
- É apropriada à modelação de indivíduos (pessoas, bactérias, insectos, nações, organizações, etc.) que interagem entre si e com o meio ambiente.
- Explorar a conexão entre as interações locais dos indivíduos e os padrões macroscópicos emergentes dessas mesmas interações.

O ambiente de programação NetLogo tem uma interface principal, dividida em: *Interface*, *Info* e *Code*, sendo que as mesmas não podem ser mostradas simultaneamente, ver figura 5.

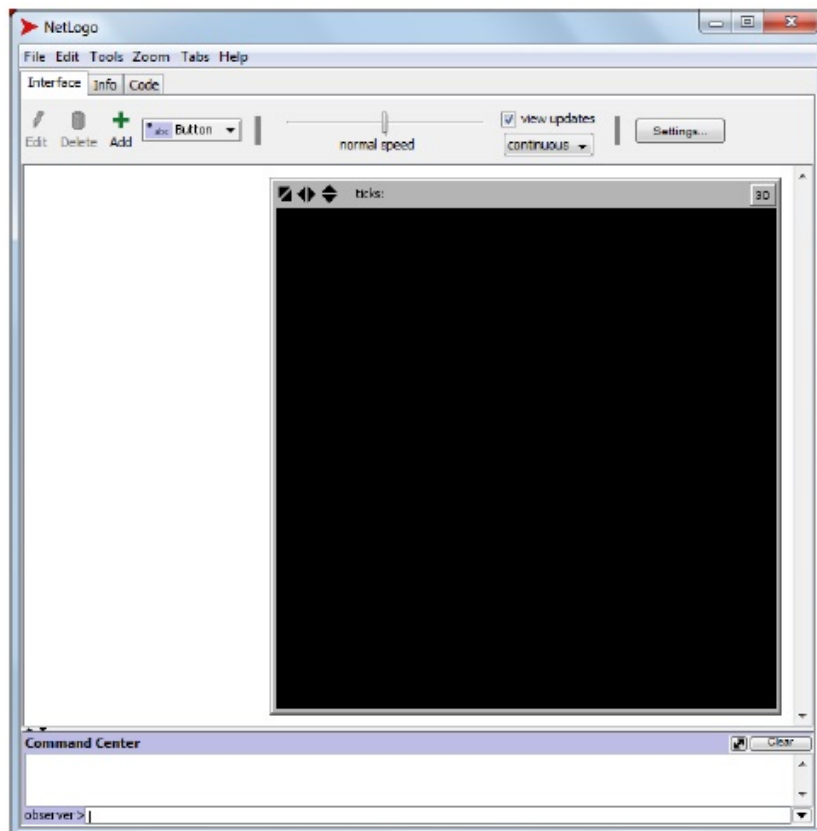


Figura 5: Interface inicial do NetLogo

A aba da *Interface* é onde se visualiza a execução do modelo e o comportamento dos agentes. As ferramentas da janela de interface contém botões que permitem ao usuário criar *buttons*, *sliders*, *switchs*, *monitors* ou *plots*. A figura 6, mostra a organização dos botões e ilustra um modelo existente no ambiente de simulação.

O *Button* comando inicial do conjunto de procedimentos.

Os *Sliders* trazem a possibilidade de inserir parâmetros, que podem ser facilmente ajustados, basta apenas mover a barra do *slider* e os valores são modificados, sem necessidade de alterar o programa.

Os *Plots* são utilizados para mostrar os dados gerados em gráficos.

Os *Switches* são ferramentas que possibilitam opções de ligado ou desligado, onde o usuário define se quer realizar ou não a execução de um evento no modelo.

Pelo *Monitors* é controlado o tempo real da simulação ou também pode mostrar qualquer expressão.

A aba da *Info* é utilizada para realizar toda a descrição do modelo, explicar seu funcionamento, trazer informações adicionais, modo de usar, como explorar o ambiente e possíveis modificações. Essa aba tem a função de informativo do modelo, por isso, que recomenda-se uma leitura inicial antes de explorar modelo.

Já o *Code* é onde se realiza toda a programação, conforme a figura 7. Através da escrita do código é que se define as regras do comportamento dos agentes.

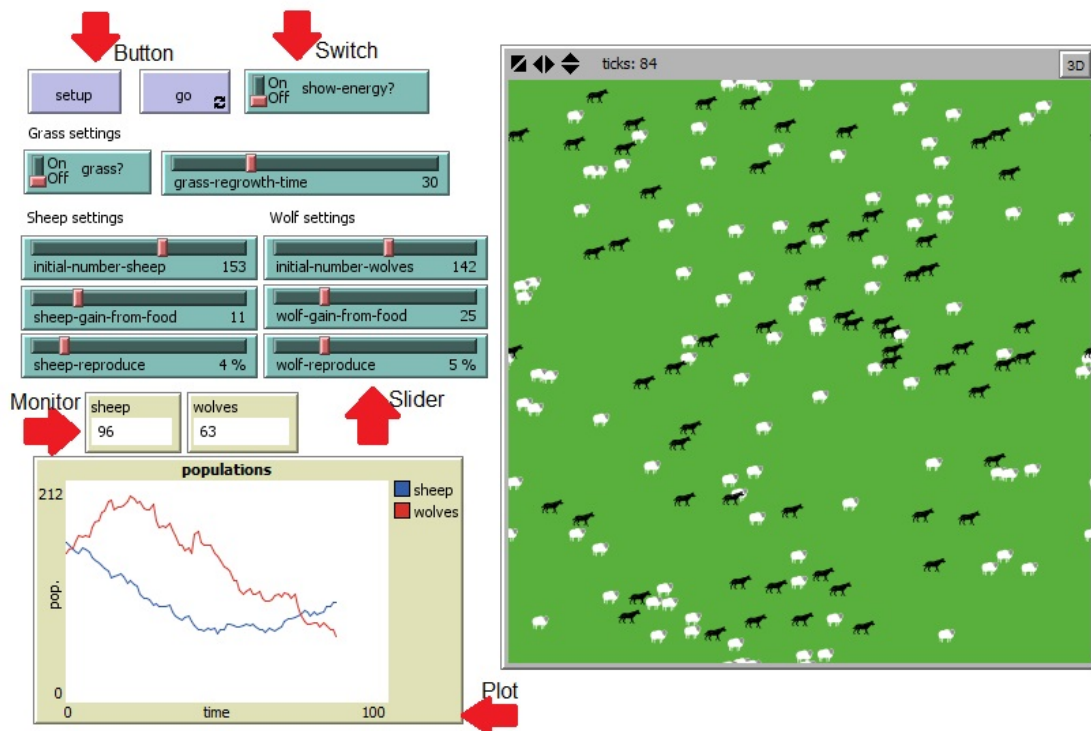


Figura 6: Modelo da Biblioteca NetLogo, Wolf Sheep Predation (WILENSKY, 1999).

```

Wolf Sheep Predation (docked) - NetLogo
File Edit Tools Zoom Tabs Help
Interface Info Code
Find... Check Procedures Indent automatically

;; Sheep and wolves are both breeds of turtle.
breed [sheep a-sheep] ;; sheep is its own plural, so we use "a-sheep" as the singular.
breed [wolves wolf]
turtles-own [energy] ;; both wolves and sheep have energy

to setup
  clear-all
  ask patches [ set pcolor green ]
  set-default-shape sheep "sheep"
  create-sheep initial-number-sheep ;; create the sheep, then initialize their variables
  [
    set color white
    set size 1.5 ;; easier to see
    set label-color blue - 2
    set energy 1 + random sheep-max-initial-energy
    setxy random-xcor random-ycor
  ]
  set-default-shape wolves "wolf"
  create-wolves initial-number-wolves ;; create the wolves, then initialize their variables
  [
    set color black
    set size 1.5 ;; easier to see
    set energy random (2 * wolf-gain-from-food)
    setxy random-xcor random-ycor
  ]
  display-labels
  reset-ticks
end

to go
  if not any? turtles [ stop ]
  ask sheep [
    move
  ]

```

Figura 7: Exemplo do código: Modelo da Biblioteca NetLogo, Wolf Sheep Predation (WILENSKY, 1999)

A programação em NetLogo fundamenta-se em atribuir ações aos agentes, que são as *patches* e as *turtles*. A linguagem de programação tem diversos recursos, como as *shapes* que são as diferentes formas dos agentes *turtles*.

No NetLogo também é permitido definir a espécie *breeds* para os agentes, sendo que essa é uma das condições iniciais da programação, uma vez definido a espécie, torna-se possível programar os diferentes comportamento.

2.6 Trabalhos relacionados

Uma variedade de modelos matemáticos e técnicas estatísticas são utilizados com o intuito de simular o comportamento de variáveis aleatórias. Os modelos de probabilidades são úteis para mostrar situações reais, ou então, para descrever um experimento.

Desta forma, o trabalho de GLAESER (2016) mostra uma realidade sobre o ritmo circadiano e as equações diferenciais ordinárias, onde STROGATZ (2013) realiza uma modelagem do ritmo circadiano através de osciladores. GLAESER (2016) faz a implementação de mais um oscilador, relacionando o vigília-sono, com a dor e temperatura corporal.

O trabalho de FERREIRA et al. (2011) aborda a ritmicidade circadiana em relação aos profissionais que trabalham no turno noturno, e a única possibilidade existente de estudarem é durante o horário diurno. Desta forma, pode-se perceber que esses indivíduos permanecerão um período mais longo que o de rotina acordados, ficando expostos ao risco de sofrerem sonolência diurna e diversas alterações do ritmo circadiano, como exemplo pode-se destacar a relação estreita entre o ciclo vigília-sono e consumo de alimentos, perceptível em trabalhadores noturnos, em que o jejum aumenta a vigília e reduz o sono de ondas lentas e o sono paradoxal, enquanto a privação de sono aumenta o consumo de alimentos.

A relação da vigília-sono, apresentado por CAVALCANTI (2009) faz relação com o modelo de dois processos elaborado por BORBELY et al. (1984), que ocorre através de um ritmo homeostático, relacionado com a duração do sono e um circadiano, que envolve a temporização do sono, no período de 24 horas. Assim, neste modelo, o sono tem função de recuperação, sendo que o mesmo defende que o homeostático é a pressão máxima do sono. Na vigília, o processo homeostático é pouco, mas ao longo do período vai se dissipando gradualmente. Durante o processo da vigília-sono, pode-se relacionar com o claro-escuro, onde a propensão homeostática para o sono é oposto a propensão circadiana que ativa a vigília e exerce uma influência no componente do sono.

Os avanços computacionais, tornaram-se possíveis para analisar sistemas sociais através de estudo de simulação, entre eles, a simulação baseada em agentes, onde AZEVEDO (2007) destaca que o método de simulação baseado em agentes é utilizado para simulação mais próximo ao real.

Outro trabalho, que contribuiu muito para essa pesquisa é de GONÇALVES (2013), onde a simulação computacional permite aglutinar resultados experimentais e propor novas abordagens. Um dos modelos matemáticos que simula as oscilações circadianas, pode estar associado a variáveis sem correlação experimental, a função cosseno. Essa função fornece o ajuste de parâmetros que descrevem a amplitude, a mesorfase, acrofase e o período do ritmo. Como o ritmo de atividade em repouso, não apresenta exatamente um comportamento de um função cossenoidal, outras variáveis de interesses têm sido estudadas e para isso novas metodologias foram desenvolvidas. Assim, como essas variáveis não são associadas a parâmetros de uma função conhecida, elas são chamadas de não paramétricas.

A tabela 2 em cada coluna apresenta aspectos que cada autor utilizou em seu trabalho.

Tabela 2: Trabalhos Relacionados

	Simulação Multiagente	Netlogo	Modelo Matemático	Vigília Sono	Ritmo Circadiano	Ritmo Homeostático	Dor
NESTE TRABALHO	X	X	X	X	X	X	X
GLAESER (2016)	-	-	X	X	X	X	X
SKELDON (2014)	X	X	X	X	X	X	-
GONÇALVES (2013)	-	-	X	-	X	X	-
FERREIRA et al. (2011)	-	-	-	X	X	X	-
CAVALCANTI (2009)	-	-	-	X	X	X	-
BORBELY; ACHERMANN (1999)	-	-	X	X	X	X	-
BORBELY et al. (1984)	-	-	X	X	X	X	-

A Tabela 3 apresenta de forma sumarizada os trabalhos analisados e a proposta dessa dissertação.

2.7 Considerações finais do capítulo

Na bibliografia pesquisada não foram achados trabalhos que mostrassem simulação baseada em agentes com a variável dor. Contudo, PORCELLIS; BERTIN; FONSECA (2015) definem que a escolha de modelos para o ritmo circadiano seja baseado em agentes ou equações, depende do quão detalhado deseja-se que o sistema seja.

Todavia, os autores ainda destacam que é possível que as duas variáveis trabalhem associadas na busca por um resultado geral do modelo baseado em equações aliado ao detalhamento do modelo baseado em agentes.

Tabela 3: Trabalhos Relacionados 2

Autor	Objetivos	Técnicas
Neste trabalho	Modelar o ritmo circadiano baseado em um modelo matemático, utilizando sistemas multi-agente, inserindo variáveis que afetam a qualidade do sono, neste caso a dor.	Implementar a variável dor no modelo desenvolvido por SKELDON (2014), seguindo o mesmo modelo matemático de BORBELY; ACHERMANN (1999), utilizando sistema multiagente.
GLAESER (2016)	Estudar e modelar o ritmo circadiano por meio de equações diferenciais ordinárias.	O modelo matemático usado parte de (STROGATZ, 2013), onde nesse modelo foi inserido um oscilador referente e temperatura.
SKELDON (2014)	Modelar o ritmo circadiano através do NetLogo.	Modelo computacional desenvolvido com o auxílio do NetLogo, que por meio de agentes, mostra a sincronização e dessincronização do ritmo circadiano.
GONÇALVES (2013)	Estudo do sistema circadiano por meio de ferramentas computacionais e matemáticas.	A simulação computacional é uma ferramenta capaz de aglutinar os resultados experimentais e propor explicações e novas abordagens. Os modelos matemáticos que simulam oscilações circadianas podem estar associados a variáveis sem correlato experimental.
FERREIRA et al. (2011)	Investigar os padrões do ciclo vigília-sono e a ritmicidade circadiana da temperatura corporal.	Trabalho voltado para a área médica, pois o mesmo faz as relações entre o vigília-sono.
CAVALCANTI (2009)	Avaliar as alterações do ritmo circadiano e homeostático do vigília-sono em pacientes com acidente vascular.	O sistema circadiano tem finalidade de organizar temporariamente os processos fisiológicos. Este trabalho está mais voltado para a área médica, mas tem um bom embasamento sobre o circadiano, homeostático e vigília-sono.
BORBELY; ACHERMANN (1999)	Aprimorar o modelo do ritmo circadiano e homeostático.	O modelo matemático proposto por Borbely (1984), foi aprimorado, mostrando todas variáveis, constantes e seus respectivos valores.
BORBELY et al. (1984)	Modelar o ritmo circadiano e homeostático.	Modelo matemático, onde mostra as equações da regulação do vigília-sono, sendo o ritmo circadiano e homeostático.

3 MODELO DESENVOLVIDO

Neste capítulo é apresentado o modelo, implementado por SKELDON (2014), do ritmo circadiano baseado em agentes. Também é mostrado, a partir de uma implementação desenvolvida, como a variável dor foi adicionada ao modelo.

3.1 Modelo do ritmo circadiano e homeostático implementado por Skeldon

Evidências crescentes mostram que viver fora de sincronia com o ritmo circadiano - Relógio do Corpo - é ruim para a saúde. Muitas vezes substitui-se os ritmos naturais do relógio do corpo, e fica-se acordado, quando o relógio biológico está dizendo para dormir, e ou, acaba-se despertado por um alarme antes de estar pronto para levantar.

O modelo que serviu de base para o estudo, parte dos pressupostos de SKELDON (2014), onde é utilizada a simulação computacional, por meio do Netlogo. As variáveis iniciais que definem o modelo, são mostradas na figura 8, essas variáveis foram definidas por meio de dados empíricos. Cada variável foi inicialmente definida com valores, para que ao longo da programação, seja apenas necessário indicar a variável, sem precisar todas as vezes dizer o valor correspondente a mesma.

```
1 set-default-shape turtles "circle"
2 set tscale 5
3 set period 24
4 set MSFshift 2.34
5 set mu ( 1 / ( 0.2683 - 0.1716 * exp( - 0.0788 * age ) ) )
6 set upper_asymptote (mu * 4.85)
7 set circadian_amplitude ( - 7.5 + 2900 * exp( - 1.7 * mu))
8 set mean_upper_threshold 12.65
9 set mean_lower_threshold 11.65
10 set phase (( - 87.8 + 41.4 * mu - 4.7 * mu * mu + jetlag + MSFshift) *
360 / period )
```

Figura 8: Variáveis do modelo matemático obtidas por meio de dados empíricos

A implementação das equações (1) e (2), mostrada na seção do modelo matemático é explicitada pelo código em Netlogo. A figura 9, base para a equação (5) da dinâmica ultradiana da atividade de onda lenta (SWA), não explicitada no código, depende dos parâmetros estipulados por BORBELY et al. (1984) e BORBELY; ACHERMANN (1999).

```

1      ;Turtle 0 is the homeostatic
2      ask turtle 0 [
3          pu
4          set H_0 ( mean_lower_threshold + circadian_amplitude * cos (360 *
                    T_start / period - phase) )
5          set Y_0 H_scale * H_0 + H_shift
6          set T_0 T_start
7          set X_0 T_0 * tscale
8          set H H_0
9          set T T_0
10         set X X_0
11         set Y Y_0
12         set wake 1
13         setxy X Y
14     ]
15
16     ;Turtle 1 is the circadian
17     ask turtle 1 [
18         pu
19         set H_0 ( mean_upper_threshold + circadian_amplitude * cos (360 *
                    T_start / period - phase) )
20         set Y_0 H_scale * H_0 + H_shift
21         set T_0 T_start
22         set X_0 T_0 * tscale
23         set H H_0
24         set T T_0
25         set X X_0
26         set Y Y_0
27         set wake 1
28         setxy X Y
29     ]

```

Figura 9: Parte do Código do Ritmo Circadiano e Homeostático

A interface interativa do programa permite determinar variáveis, como, apresentadas na figura 10.

- 1 - Wake e Sleep - O horário de dormir e acordar. É definido pelo indivíduo que vai usar o programa, o mesmo deve inserir seus respectivos horários de dormir e

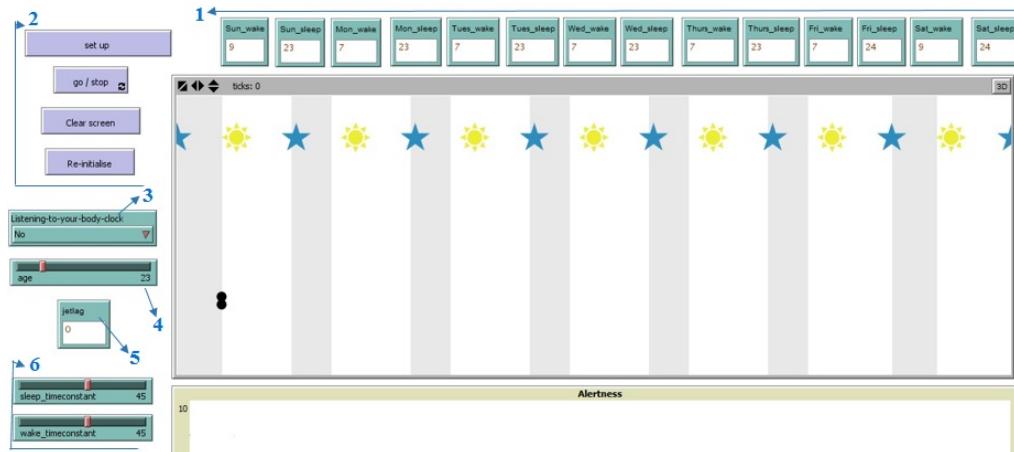


Figura 10: Interface do Modelo do Ritmo Circadiano

acordar. É necessário tomar um cuidado, referente ao tempo, o mesmo é contado a partir de zero na meia-noite em diante. Um exemplo, a analisar é a possibilidade de ficar acordado até às 2h da manhã. Não é possível entrar em 2, pois significa 2h do dia anterior, e em vez disso, defina como 26, que significa acrescentar 2 horas a mais a partir das 24 horas.

- *Set-up* - Inicializar as informações da simulação.
- *Go* - Executar o programa.
- *Re-initialise* - Reiniciar o programa, onde o mesmo voltará ao início e irá fazer o mesmo processo realizado.
- *Ticks* - Tempo de execução do programa.
- 3 - *Listening-to-your-body-clock*: Yes ou No - Relógio Biológico: Ligado ou Desligado. Quer dizer no modelo, o horário correto de dormir e acordar, ou seja, os horários estão de acordo com o período que anoite adentra e o dia clareia.
- 4 - *Age* - Idade. Refere-se ao indivíduo que irá controlar seu sono, onde influência a qualidade do sono ao longo da vida;
- 5 - *Jet-Lag* - Fuso Horário. Um exemplo é que se voar para um local diferente que apresente fuso horário, acontece que os horários de dormir, não são os mesmos do dia a dia. Esse impacto pode ser visto através do cansaço que o indivíduo sofre por meio da alteração dos valores do botão do fuso horário. Colocar um valor positivo é como adiantar e um valor negativo é atrasar o relógio biológico.
- 6 - *Wake-timeconstat* e o *Sleep-timeconstat* - Tempo necessário para adormecer e acordar. É a pressão do sono que se acumula durante a vigília e se dissipa durante o sono. A estrela, o sol, as linhas brancas e cinzas referem-se ao período dia e noite.

Desta maneira, analisa-se a figura 11, onde mostra o ritmo circadiano de um indivíduo por 7 dias. Percebe-se alguns fatores explicativos na figura.

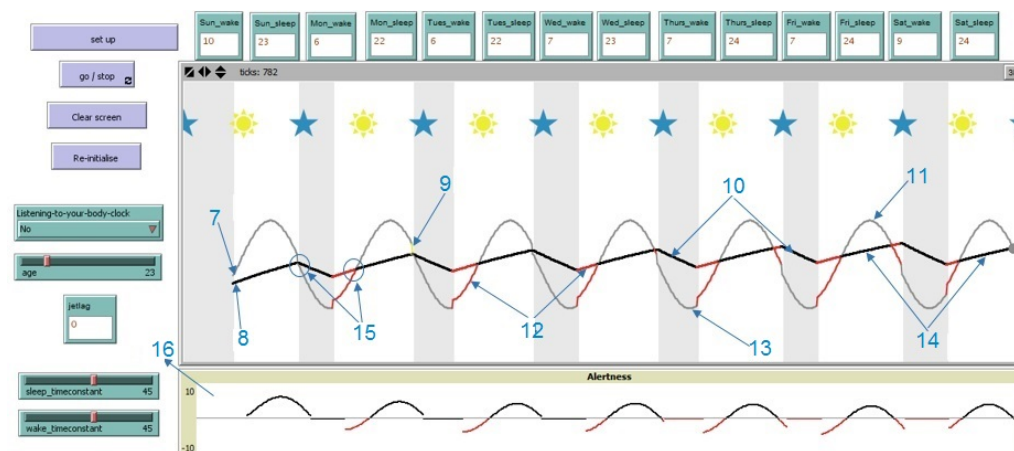


Figura 11: Interface do Modelo do Ritmo Circadiano 2

- O modelo mostra o ritmo homeostático e o ritmo circadiano que modulam e causam mudanças, da mesma forma que evoluem com o tempo em uma sequência de 7 dias. Para maior clareza, apenas o limiar superior é mostrado durante a vigília e o limiar inferior durante o sono.
- 7 - Ritmo Circadiano - curva cinza
- 8 - Ritmo Homeostático - curva preta.
- 9 - As partes amarelas correspondem às vezes em que o relógio do corpo está lhe dizendo que deve estar acordado e, ainda assim, está tentando dormir com dificuldade.
- 10 - sleep - Dormir. Refere-se ao período da noite, momento em que o sono se realiza e o indivíduo adormece.
- 11 - Quanto mais tempo o indivíduo permanecer acordado, maior será a pressão do sono. No momento em que estamos ouvindo o ritmo biológico e indo dormir quando sentimos sono, ficamos adormecidos e a pressão do sono atinge o valor mais alto, chamado de limiar superior.
- 12 - As partes vermelhas correspondem às vezes em que o relógio do corpo está dizendo que a pessoa realmente quer estar dormindo, mas está acordada, refere-se ao sentimento de cansaço do dia a dia.
- 13 - Limiar inferior. O sono depende do quão longe o limiar superior atinge. Durante o sono, a sua pressão diminui até atingir um limiar mais baixo, momento

em que acordamos, chamado de limiar inferior. Os limiares superior e inferior são modulados por um ciclo de 24 horas.

- 14 - Wake - Acordar. É o período do dia, momento de estar acordada, desenvolvendo as atividades do dia a dia, com sua eficiência máxima.
- 15 - Processo \tilde{S} . União do Ritmo Circadiano (7) e Ritmo Homeostático (8).
- 16 - Alertness - Alerta. Gráfico que mostra os períodos de alerta, momentos em que o indivíduo deveria estar dormindo.

Visualmente, a figura 11 detalha o ritmo circadiano de um indivíduo de 23 anos, que mantém seu ritmo quase controlado, sendo que nem todos os dias o mesmo dorme as 8 horas diárias recomendadas, isso sem levar em consideração o *Wake-timeconstat* e o *Sleep-timeconstat*, que é o tempo médio que o corpo leva para adormecer e acordar. As partes em vermelho surgem mais no período diurno, na parte da manhã, onde o mesmo queria estar dormindo, mas está acordado, pois o comando vindo do núcleo supraquiasmático do cérebro diz que o ritmo circadiano está em momento de descanso. Percebe-se que mesmo este indivíduo dormindo 8h ou mais, seu corpo continua cansado, isso é influenciado pela sua idade.

Desta forma, analisa-se pela figura 12, o ritmo circadiano de um indivíduo de 45 anos, sendo que o mesmo dorme todos os dias as 22h e acorda as 7 h, é necessário definir que o mesmo dorme 9 h, pois tem o *Wake-timeconstat* e o *Sleep-timeconstat*, que é o tempo médio que o corpo leva para adormecer e acordar.

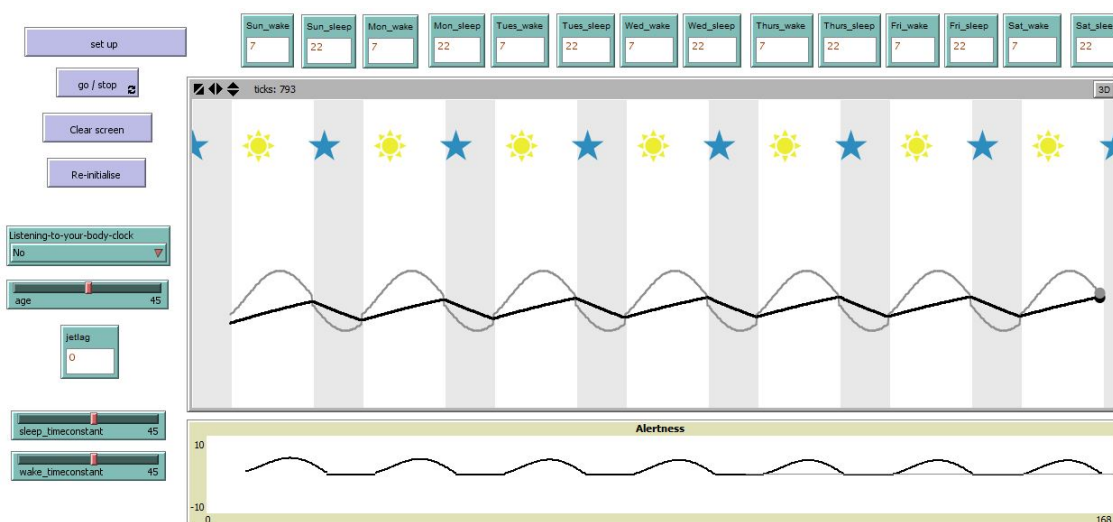


Figura 12: Análise do ritmo por 7 dias conforme SKELDON (2014)

Pela figura 12, percebe-se que o indivíduo tem o seu ritmo circadiano sincronizado, sendo assim, o ritmo circadiano e homeostático, realizam todo o Processo \tilde{S} .

3.2 Modelo TAM

Partindo do modelo base proposto por SKELDON (2014), que analisa o Processo \tilde{S} , união do ritmo circadiano e homeostático, o Modelo TAM tem seu diferencial pela inserção da variável dor, sendo a contribuição do trabalho.

A dor é uma variável que afeta a qualidade do sono, sendo que quando a pessoa tem dor a mesma pode não dormir, ou até dormir, mas não exerce o sono ideal para ter um descanso merecido.

A dor foi inserida no Netlogo de forma booleana, visualizada pela figura 13.

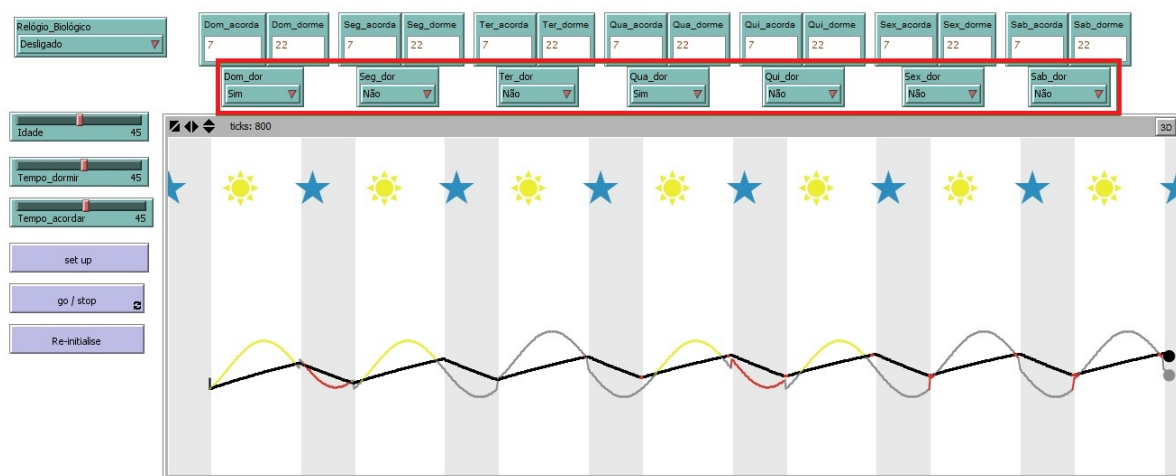


Figura 13: Modelo influenciado pela dor booleana

Desta forma que a dor está inserida, mostrada em destaque pelo retângulo vermelho, o indivíduo somente pode dizer “sim” e “não” para os dias que teve dor.

Assim, com a dor booleana, é difícil analisar o ritmo circadiano do indivíduo, pois a intensidade da dor varia ao longo do dia. Para melhor entender na figura 14, mostra-se parte do código, em que a dor foi inserida.

Sendo que, após setar as variáveis do Netlogo, o programa começa a rodar, dando a partida em “Go”. O agente, primeiramente analisa o dia da semana, se não teve dor “Não”, continua a simulação conforme os parâmetros de SKELDON (2014). Conforme figura 13, o indivíduo declarou dor “Sim”, o agente irá somente trocar a cor da variável em execução, sendo que, onde a curva é cinza, no seu limiar superior o mesmo pintou de amarelo, e no limiar inferior pintou de vermelho. Na dor booleana, somente houve uma inversão das cores, sendo que não tem-se uma precisão de como media a dor.

Analisando a figura 13, o indivíduo declarou evidências de dor no domingo e quarta-feira. Desta forma, os horários de dormir foram definidos como sedo 7 horas e 22 horas, isto para melhor visualizarmos a ritmicidade dos biorritmos como também por não podermos descrever claramente os horários e número de vezes que ele adormeceu e acordou.

As partes em vermelho em ambas as curvas, surgem no período noturno, ou seja, antes o indivíduo queria estar dormindo mas estava acordado, neste momento ele deveria estar

```

1 ; turtle 1 is the circadian
2   ask turtle 1 [
3     pd
4     set T (T_start * tscale + ticks) / tscale
5     if Relógio_Biológico = "Desligado" [
6       if (Sab_dorme > 24) [
7         if (T = Sab_dorme mod 24) [ set wake 0 ]
8       ]
9
10    if Dom_dor = "Não" [
11      if (T = Dom_acorda) [ set wake 1 ]
12      if (T = Dom_dorme) [ set wake 0 ] ]
13    if Dom_dor = "Sim" [
14      if (T = Dom_acorda) [ set wake 0 ]
15      if (T = Dom_dorme) [ set wake 1 ] ]

```

Figura 14: Inserção da dor booleana no código

dormindo, pois o comando vindo do núcleo supraquiasmático do cérebro diz que o ritmo circadiano está em momento de descanso.

Além disso, podemos ver partes em amarelo na curva do ritmo circadiano, estas correspondem às vezes em que o relógio biológico do corpo está dizendo que a pessoa deve estar acordada, e ainda assim ela está tentando dormir, sendo que estas partes referem-se ao momento diurno. Percebe-se que na terça e sexta-feira, ainda continua com períodos em amarelo, isso refere-se ao tempo de recuperação após a dor. Portanto, nos dias em que há evidências de dor o ritmo circadiano não apresenta características de desincronização.

Mediante, vários estudos realizados, procurou-se uma outra maneira de analisar a influencia da dor no ritmo circadiano. Assim, considerando todo o modelo matemático das equações (1), (2), (5) e as figuras 8, 9 que mostram parte do código, a dor é calculada inversamente proporcional, pela equação (7), que foi obtida por meio de testes com dados empíricos.

O procedimento realizado para encontrarmos o valor 0.2955, foi por meio de testes, sendo utilizado valores de zero até um, com uma ou mais casas decimais. Quanto mais próximo à um o valor, mais similar ao modelo de Skeldon situava-se. Assim, foi analisado que o valor precisava ser baixo, quanto mais perto de 0.3, mais mostrava os limiares do ritmo circadiano influenciado pela variável da dor. Desta forma, por meio do processo de testes chegou no valor de 0.2955, para ser o parâmetro de calibragem.

Todo o processo da inserção da variável dor está em inglês, visto que toda a interface e nome de variáveis do modelo base estão nesta língua. Também espera-se, desta forma,

que sua utilização possa ser mais abrangente.¹

$$pain \rightarrow \left(1 - \left(\frac{pain}{10}\right) * 0.2955\right) \quad (7)$$

Somente com a equação (7) não é possível realizar o cálculo da dor. Para ser realizado o cálculo, a mesma necessita ser inserida no código em Netlogo, sempre levando em consideração a tabela 1 da escala da dor.

A variável da dor é inserida na “turtle 1 is the circadian” - ritmo circadiano, tartaruga 1, mostrado na figura 15. No código, a turtle 1 realiza a análise do horário de acordar, intensidade da dor, horário de dormir e intensidade da dor. O sistema multiagente, capta cada variável, inspeciona e realiza o cálculo da dor. Pois, desta maneira o agente, a “turtle”, percorre todo o dia, analisando a dor em relação ao período diurno e noturno.

```

1 ; turtle 1 is the circadian
2   ask turtle 1 [
3     pd
4     set T (T_start * tscale + ticks) / tscale
5     if Listening-to-your-body-clock = "No" [
6       if (Sat_sleep > 24) [
7         if (T = Sat_sleep mod 24) [ set wake 0 ]
8       ]
9
10    if (T = Sun_wake) [ set wake 1
11      set pain Sun_pain]
12    if (T = Sun_sleep) [ set wake 0
13      set pain Sun_pain]
14
15    if (T = Mon_wake + 24) [ set wake 1
16      set pain Mon_pain]
17    if (T = Mon_sleep + 24) [ set wake 0
18      set pain Mon_pain ]

```

Figura 15: Influência da dor nos dias da semana

Desta forma, o agente apenas percorreu o circadiano para verificar os horários de acordar e dormir, não realizou o cálculo da intensidade da dor. Na figura 16 o agente realiza o cálculo do *H level*, nível da pressão do sono que está acumulada no corpo, influenciada pela intensidade da dor.

¹O valor 0.2955 foi adequado através de testes empíricos.

```

1   if wake = 1 [
2     set Y_0 H_scale * (mean_upper_threshold + circadian_amplitude *
3     cos( 360 * T / period - phase)) + H_shift
4     if H_level > (mean_upper_threshold + circadian_amplitude * cos
5     ( 360 * T / period - phase)) * (1 - (pain / 10) * 0.2955)
6     [ set color red ]
7   ]
8
9   if wake = 0 [
10    set Y_0 H_scale * (mean_lower_threshold + circadian_amplitude *
11    cos( 360 * T / period - phase)) + H_shift
12    if H_level < (mean_lower_threshold + circadian_amplitude * cos
13    ( 360 * T / period - phase)) * (1 - (pain / 10) * 0.2955)
14    [ set color yellow ]
15  ]

```

Figura 16: Cálculo da dor baseada nos parâmetros do ritmo circadiano

Logo, o sistema multiagente, percorre toda a semana, faz a análise de cada dia, baseado nos horários de dormir e acordar, e finalmente realiza o cálculo da dor por meio do *H level*. O *H level* é a variável que mostra a altura máxima e mínimo dos picos de dor, relacionado com a pressão do sono, o limiar superior e inferior.

A interface inicial do Netlogo, está definida, conforme a figura 17, onde o retângulo vermelho mostra a variável da dor.

A EVA é definida através da tabela 1, que foi adaptada por meio da figura 1, tendo como base os estudos de CHAPMAN et al. (1985) que mostra os níveis de dor, relacionado ao seu valor. O indivíduo que for usar o programa deve dizer/insere qual seu nível de dor, tendo como base a tabela 1.

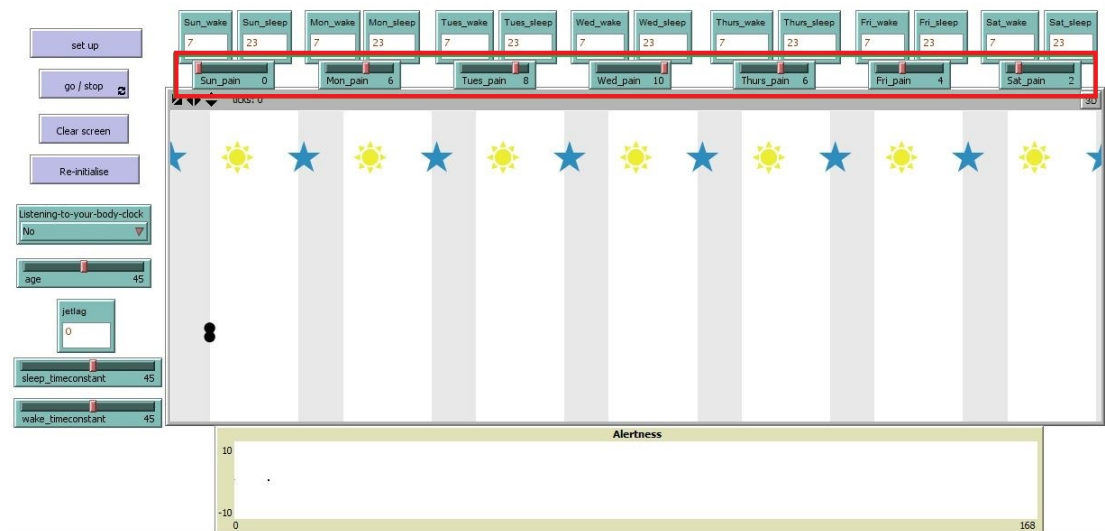


Figura 17: Interface final com a influência da dor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a implementação computacional do modelo proposto. Os resultados foram obtidos por meio de testes, onde toda a análise é por meio de cenários, fazendo assim, uma comparação em relação à influência da intensidade do nível da dor.

Os seres humanos são ativos durante o período do dia e, durante a noite apresentam uma maior disposição para o repouso ou período de sono (MARTINO, 2002).

Trocar o dia pela noite, é a opção que muitas pessoas tem, a mesma passa a dormir de dia, quando se trabalha à noite. Assim, muitos ritmos biológicos podem ficar comprometidos, modificando-se instantaneamente, levando a dessincronização interna. Essa dessincronização ocorre, quando a pessoa tenta dormir de dia, mas se sente alerta, que na verdade, ela precisa descansar no momento em que o seu corpo está preparado para a vigília (SIMONEAU et al., 1985).

Avante, a dessincronização interna está relacionado com o ambiente em que se realiza o sono de descanso, dor, a temperatura corporal, os hormônios, o estresse e as habilidades motoras, desânimo, fraqueza, insônia, sensação de “ressaca”, descontrole, irritabilidade, agressividade, ansiedade, tremor, alterações gastro-intestinais, obesidade e envelhecimento precoce. Todos os fatores externos e internos prejudicam o sono.

Na tabela 4 visualiza-se a organização de cada cenário, sendo que o “1 2 3 4 5 6 7 8” são os cenários e as informações referente à influência do nível de dor, onde cada simulação obteve casos extremos, mínimos, máximos e variável para validar o modelo proposto.²

É importante ressaltar, que para a idade, o wake timeconstant, o sleep timeconstant, jet lag, o horário de acordar e dormir, foram definidos valores padrões, para que desta forma, possa ser realizada uma análise mais detalhada referente à influência da intensidade da dor.

- Idade - 45;
- Wake timeconstant - 45;

²O teve cenárs dias da semana encontram-se em inglês para manter a interface do Netlogo, desenvolvido por SKELDON (2014).

- Sleep timeconstant - 45;
- Jet lag - 0;
- Horário de acordar - 7 horas;
- Horário de dormir - 22 horas;

A escolha do indivíduo foi de forma aleatória, sendo que com 45 anos, a pessoa tem um sono controlado e quase sempre dorme as oito horas recomendadas.

Neste caso, é necessário cuidar que está definido sendo nove horas o período noturno de descanso. Destas nove horas é preciso levar em consideração o wake timeconstant, o sleep timeconstant, que é o tempo médio que o indivíduo leva para adormecer profundamente e acordar.

Tabela 4: Influência do nível de dor por cenário

Cenário	Sun_pain	Mon_pain	Tues_pain	Wed_pain	Thrus_pain	Fri_pain	Sat_pain
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0	0	0	0	0	0	0
3	2	2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4	4	4
5	6	6	6	6	6	6	6
6	8	8	8	8	8	8	8
7	10	10	10	10	10	10	10
8	0	6	10	8	6	4	2

A taxa de “ticks” para todos os cenários de observação, está baseando entre setecentos e noventa a oitocentos e dez “ticks”, sendo que nesse intervalo é possível realizar toda a simulação computacional para o período de sete dias.

A primeira observação realizada é mostrada na figura 18, onde o Relógio Biológico - Listening-to-your-body-clock estava ligado. Quando o mesmo encontra-se ligado, quer dizer que todos os ritmos do corpo estão em perfeita sincronização. Nessa sincronização quer dizer que o ritmo circadiano e ritmo homeostático estão unidos e funcionando perfeitamente, mesmo que o indivíduo não durma as 8 horas recomendadas, o seu relógio biológico sempre estará correto, quando o modo Listening-to-your-body-clock estiver ligado.

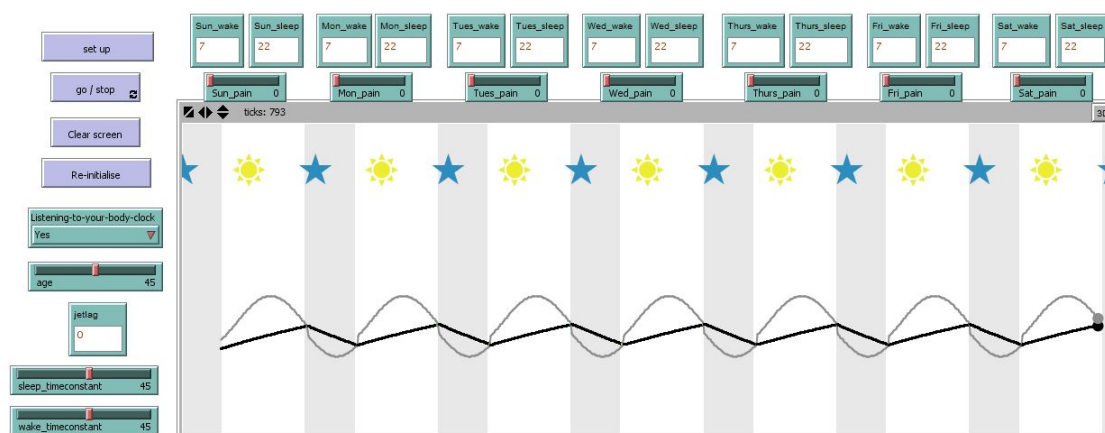


Figura 18: Cenário 1 - Relógio Biológico Ligado

Quando o relógio biológico encontra-se ligado, o ritmo circadiano não tem influência de nenhuma variável da interface, pois o mesmo escuta o corpo. Assim, não pode ser completada as informações de idade, horário de acordar e dormir, pois o programa, realiza a simulação considerando que indivíduo sempre está com seus ritmos sincronizados. Mesmo que o gráfico do Alertness mostre picos em vermelho, o relógio biológico está sincronizado com os ritmos.

Desse modo, foi realizada a observação de um indivíduo que não apresentou sinal de dor em nenhum dia, figura 19.

Visualmente, aparentemente a figura 18 e 19 são iguais, mas possuem as suas diferenças. Na figura 19 o Listening-to-your-body-clock estava desligado, assim, precisando completar as informações do indivíduo.

As curvas em cinza são mais acentuadas, sendo que após o encontro da curva cinza com a preta, a mesma passa a ter uma leve inclinação na horizontal, tanto no início da noite, quanto no início do dia.

Outro ponto a notar é que o gráfico do Alertness não mostra nenhum pico diferente, sendo, assim, o ritmo circadiano e homeostático sincronizados, pela idade de horários de acordar e dormir do indivíduo.

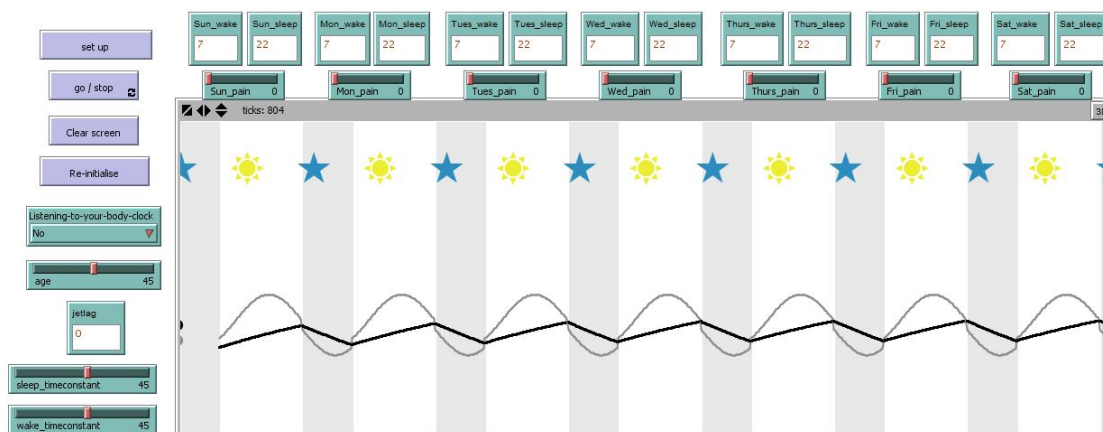


Figura 19: Cenário 2 - Influência do nível de dor zero

A sincronização ocorre pelo Processo \tilde{S} , união do ritmo circadiano e homeostático, sendo que quando os dois se encontram, suas curvas se cruzam e formam a sincronização perfeita deste indivíduo sem dor.

Quando a dor é de intensidade fraca, como na figura 20, o indivíduo, tem seu descanso, mas apresenta um leve incomodo, um dor pequena, à qual altera pouco o pico de elevação das curvas.

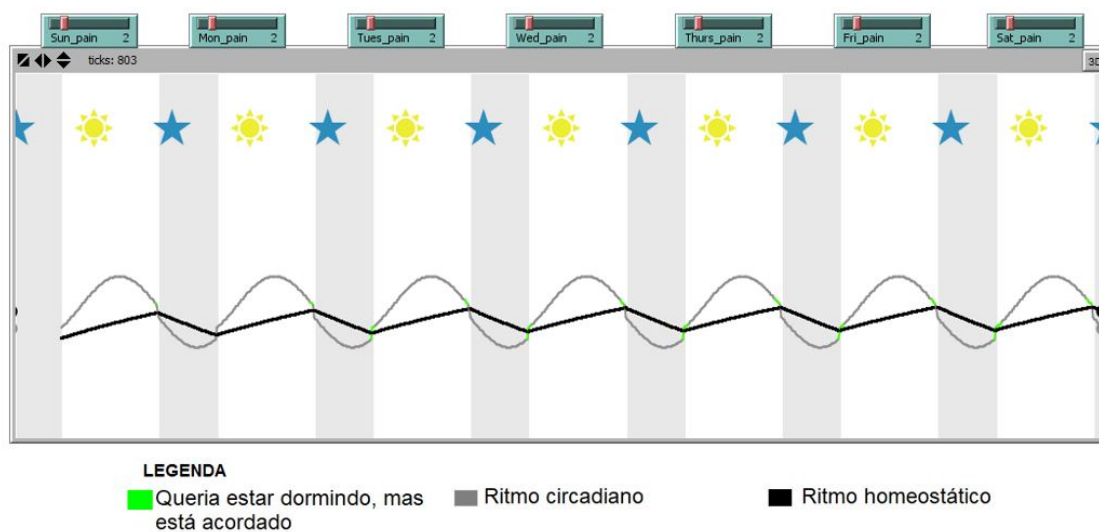


Figura 20: Cenário 3 - Influência do nível de dor dois

A dor apenas aparece no início do dia e da noite, quando os ritmos circadiano e homeostático se cruzam. Esses picos de dor, apresentam-se mais no final da semana, sendo sexta-feira e sábado, pois a mesma também leva em consideração os aspectos de cansaço, estresse e afazeres do cotidiano.

Na dor de nível quatro, figura 21, o indivíduo percebe que existe um incomodo presente em seu corpo, assim, modificando a sua percepção dos afazeres. Neste nível de dor, o indivíduo consegue realizar um sono adequado, com momentos de sono profundo, seguido de alterações no nível do sono.

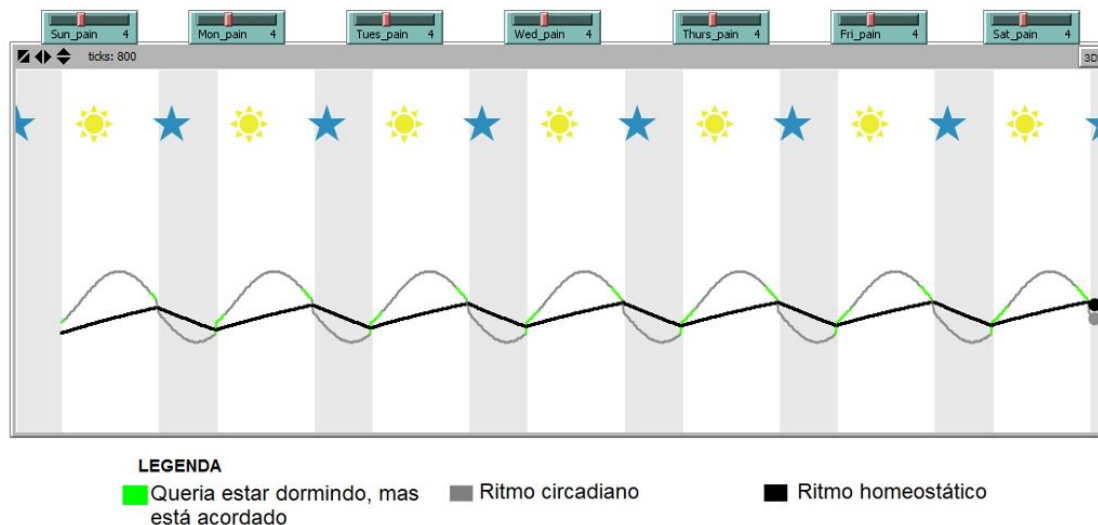


Figura 21: Cenário 4 - Influência do nível de dor quatro

Seguindo toda a análise a dor seis, é mais forte que a dor quatro, figura 22, onde a mesma inicia-se no domingo mais fraca e vai se intensificando durante a semana.

A dor de nível seis, já é uma dor que incomoda o indivíduo, fazendo com que o mesmo deixe de desenvolver suas tarefas e procure um médico.

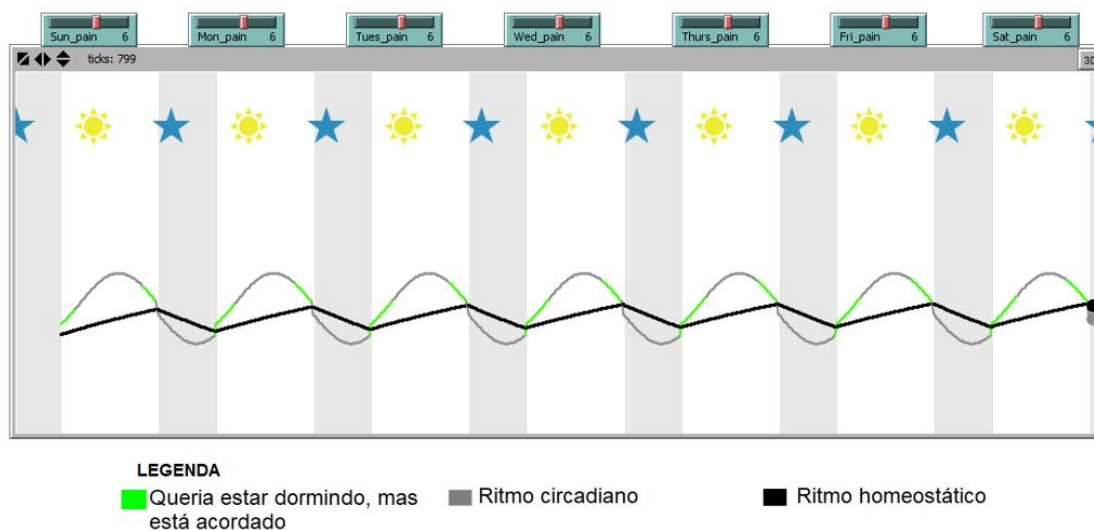


Figura 22: Cenário 5 - Influência do nível de dor seis

Nem sempre o nível de dor está relacionado com alguma doença física, emocional ou psicológica. Quanto mais forte for o nível de dor, maior será os limiares em verde que aparecem na curva que mostra o período diurno.

Quando a dor for mais intensa, de nível oito, a figura 23 propõe-se que os picos sejam elevados devido a intensidade da dor. O nível de dor oito, faz com que o indivíduo não desenvolva suas atividades corretamente, assim, conseqüentemente acarreta todo o seu psicológico.

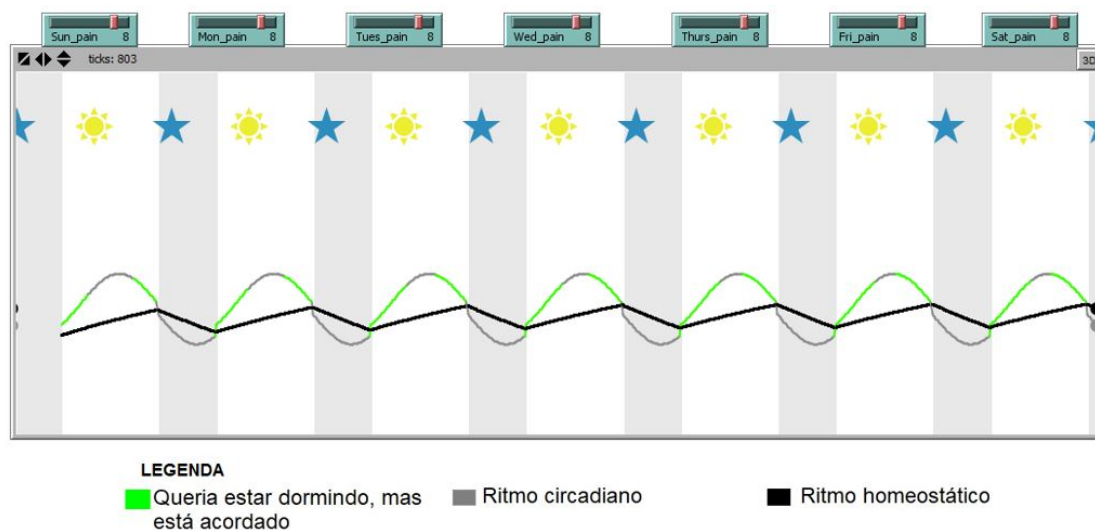


Figura 23: Cenário 6 - Influência do nível de dor oito

Já em um nível de influência de dor altíssimo, como na figura 24, com dor na escala dez, percebe-se que o indivíduo tem picos mais acentuados, onde o mesmo não consegue dormir durante o dia e nem a noite. Acredita-se que o mesmo tem cochilos ao longo do período de 24 horas, pois é difícil ficar tanto tempo sem dormir. Neste caso, estamos desconsiderando o uso de medicação para dor.

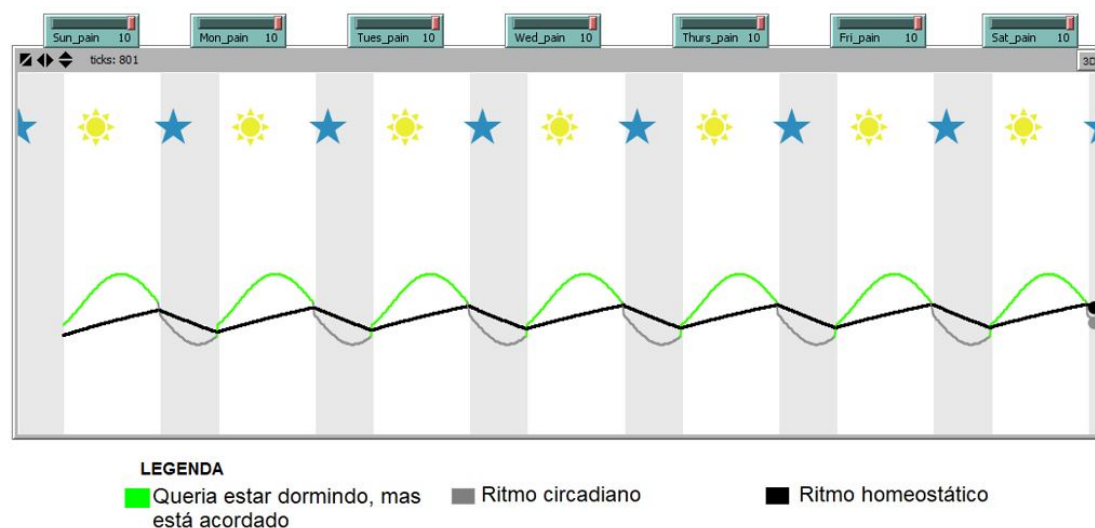


Figura 24: Cenário 7 - Influência do nível de dor dez

A dor influencia diretamente na qualidade do sono, sendo que quando o indivíduo tem dor, ele não tem o descanso merecido durante todos os dias.

Na maioria das vezes, o indivíduo não possui sempre a mesma intensidade do nível de dor. Conforme a figura 25, o indivíduo teve níveis de dor diferentes, em conformidade com a tabela 4.

Com essa variação da influência dos níveis de dor, é perceptível, que como na terça-feira ele teve dor nível dez, no dia seguinte quarta-feira a dor diminuiu de nível, mais

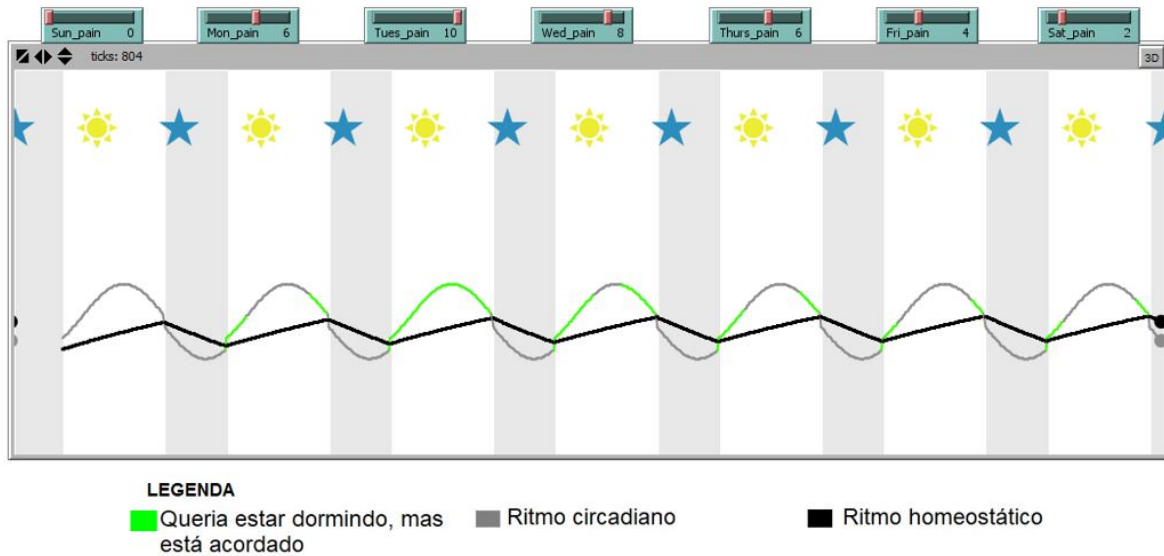


Figura 25: Cenário 8 - Influência do nível de dor variável

ainda continuou com um pico elevado de dor. Consequentemente, na dor aleatória, é intuitivo que o mesmo tenha toda a sua semana de observação alterada, sendo que após a dor dez, todos os dias ficaram comprometidos, pois é difícil ter dor dez em um dia e no seguinte não ter nada de dor.

Na figura 26, a visualização de todos os cenários fica mais fácil de ser realizada. Pois, cada gráfico está alinhado e assim, percebe-se a diferença entre os picos, a intensidade do nível de dor, e consequentemente como o indivíduo realiza seu sono.

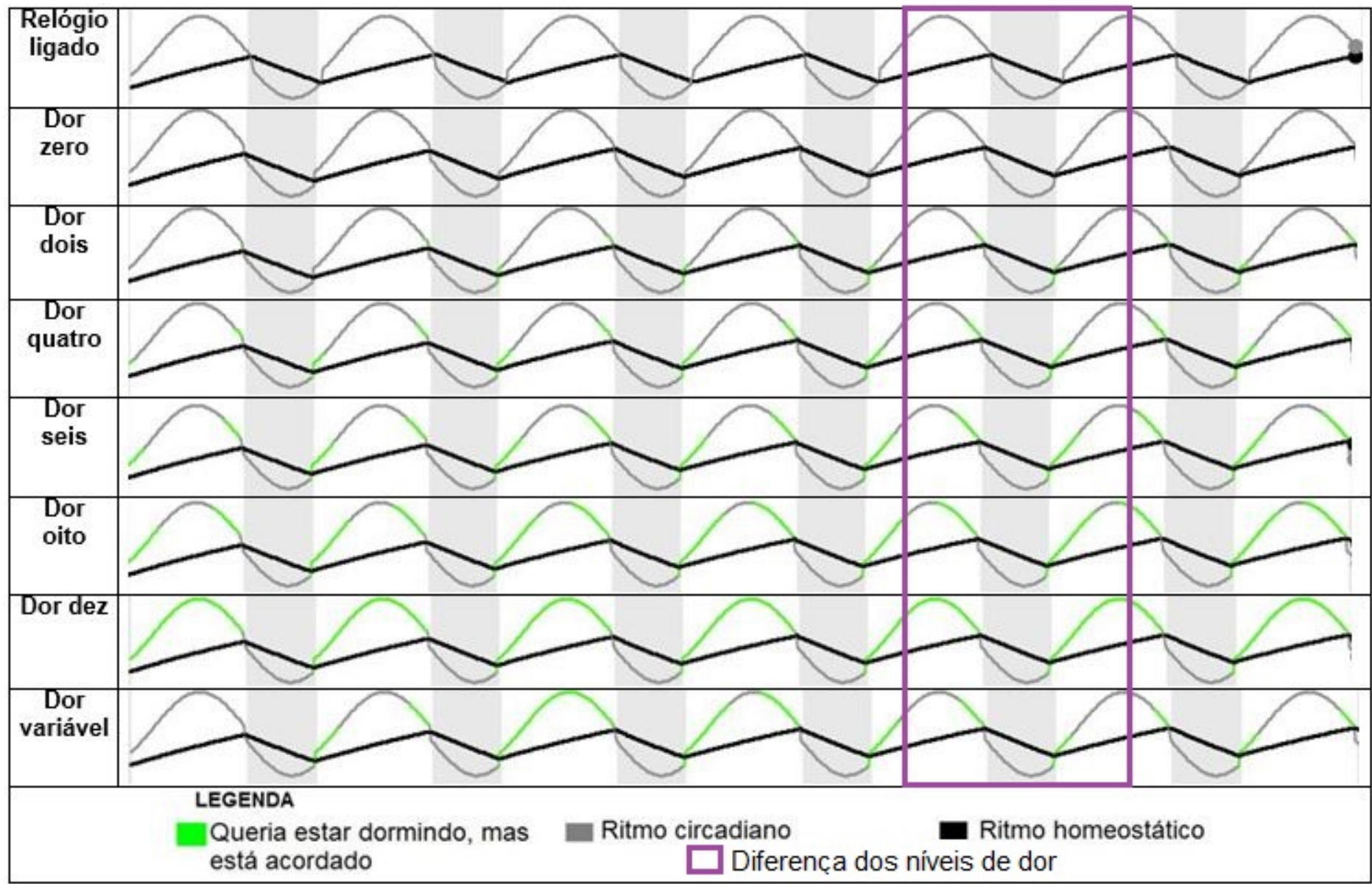


Figura 26: Comparação de todos os cenários

Outro ponto que merece um destaque, é que a má qualidade do sono influenciado pelo nível de dor compromete a qualidade de vida, tanto do indivíduo, quanto da população. Os resultados indicam que os fatores que interferem a qualidade do sono são capazes de interferir na participação ativa do indivíduo em atividades físicas, trabalhos, assim como, no decorrer das atividades do cotidiano.

A qualidade do sono muda sistematicamente com a idade. Os bebês têm sono curto durante o dia, reduzindo gradualmente o número de episódios diários de sono até a idade escolar. Na fase da adolescência o período do sono torna-se longo. Na idade adulta, o período do sono é reduzido, e na fase da velhice esse período aumenta. Há mudanças bruscas na qualidade do sono com a idade. Não se sabe exatamente quais fatores ocorrem no corpo para causar essas mudanças, mas há evidência de que, à medida que envelhecemos, os ritmos circadiano e homeostático tem amplitude diferentes (ROENNEBERG et al., 2004).

Em relação as diferentes simulações, com variação do nível de dor, ainda pode-se realizar outros testes, levando em conta que pode-se variar a idade, tempo constante de dormir e acordar, o fuso horário. Todos estes resultados não podem ser comparados com dados reais, por não ter nenhum dado real, baseado em indivíduo com influencia do nível da dor.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do trabalho, pode-se perceber o desencadeamento do modelo estudado, sendo que foi realizado um estudo aprofundado inicialmente do código em Netlogo, e posteriormente como o modelo matemático foi obtido e qual sua fundamentação teórica, pois o mesmo só continha o código de implementação.

Este modelo apresentado por SKELDON (2014) e BORBELY; ACHERMANN (1999) garante de forma fidedigna a modelagem do ritmo circadiano, visto que todos os dados foram obtidos por testes com dados empíricos, assim garante-se que variável da dor influencia diretamente no ritmo circadiano.

O Netlogo, um ambiente de simulação multiagente, é uma ferramenta interdisciplinar. A utilização do mesmo permite uma aprendizagem facilitada visualizando em tempo real o ritmo circadiano, que pode ser influenciado por diversos fatores. A dor é um destes fatores, pois afeta diretamente a qualidade do sono.

Avaliando o comportamento do ritmo circadiano influenciado pela variável dor, utilizando sistemas multiagente, através das variáveis de simulação foi possível mostrar uma aplicação do dia a dia, onde o indivíduo sofreu alterações no nível de dor, durante o período de sete dias, embasando-se principalmente em SKELDON (2014), BORBELY et al. (1984) e BORBELY; ACHERMANN (1999).

Outro ponto importante à salientar é que para o modelo matemático e o modelo computacional não havia uma publicação que explicasse como tudo foi desenvolvido. Assim, essa descoberta da interligação entre o modelo matemático e o modelo computacional, também é uma contribuição que essa dissertação apresenta.

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, uma vez que o modelo mostrou a importância da sincronização do ritmo circadiano, do indivíduo ter uma boa noite de sono, sem dor, cumprindo com o objetivo proposto. Assim, o modelo apresenta um comportamento similar a realidade, podendo ser utilizado por pessoas que trabalham com a área médica.

Desta maneira, com estes estudos, até o presente momento, gerou-se algumas publicações:

- Estudo do Sistema Circadiano Utilizando Simulação Baseada em Agentes. 15º

Mostra de Produção Universitária da Universidade Federal do Rio Grande, 2016.

- Ritmo Circadiano: uma Abordagem Baseada em Simulação Multiagente. 4ª Conferência Ibero Americana de Computação Aplicada, 2016.
- Ritmo Circadiano sob influência da Dor: uma abordagem baseada em Simulação Multiagente. 11º Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações, 2017, apresentado no período de 04 a 06 de maio.
- Ritmo Circadiano e Fatores Externos: uma proposta baseada em Agentes. 12ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 2017, publicado em junho.
- Modelagem do Ritmo Circadiano utilizando Sistemas Multiagente. 16º Mostra de Produção Universitária da Universidade Federal do Rio Grande, 2017.
- Modeling of Circadian Rhythm under influence of Pain: an approach based on Multi-agent Simulation. Submetido no Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal.

Toda e qualquer tarefa de pesquisa, envolve um estudo aprofundado de um modelo matemático, uma simulação computacional e um embasamento teórico aprofundado. À vista disso, durante toda essa pesquisa não foram achados trabalhos acadêmicos que realizassem uma simulação computacional do ritmo circadiano por meio de sistema multiagente influenciado pela variável da dor.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar testes com uma amostra de indivíduos, podendo assim, comparar dados reais com dados empíricos encontrados nesse trabalho. Também pretende-se estender este modelo, inserindo outras variáveis que afetam o ritmo circadiano, sendo elas: ansiedade, temperatura corporal, hormônios, estresse.

Outro trabalho que pretende ser realizado é estudar os outros modelos existentes do ritmo circadiano, como o de STROGATZ (2013). Assim, pode-se realizar um comparativo entre os modelos existentes e encontrar o melhor modelo que descreva o ritmo circadiano.

Para trabalhos futuros, será realizado testes estatísticos para melhor dividir os intervalos da tabela da dor, partindo da Escala Visual Analógica.

REFERÊNCIAS

ACHERMANN, P.; DIJK, D.-J.; BRUNNER, D. P.; BORBÉLY, A. A. A model of human sleep homeostasis based on EEG slow-wave activity: quantitative comparison of data and simulations. **Brain research bulletin**, v.31, n.1, p.97–113, 1993.

ADAMATTI, D. Simulação Baseada em Multiagentes como Ferramenta em Estudos Interdisciplinares. **RENOTE**, v.9, n.1, 2011.

AZEVEDO, L. L. **AProSiMA - ambiente de resolução cooperativa de problemas baseado em simulação multiagentes**. 2007. Tese — Programa de Doutorado em Engenharia Elétrica, UFES, Vitória.

BERGAMASCO, E. C. et al. Alterações do sono: diagnósticos freqüentes em pacientes internados. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v.27, n.3, p.356, 2006.

BORBELY, A. A.; ACHERMANN, P. Sleep homeostasis and models of sleep regulation. **Journal of biological rhythms**, v.14, n.6, p.559–570, 1999.

BORBELY et al. Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.246, n.2, p.R161–R183, 1984.

CARPENTER, M. Neuroanatomia humana. **Medula: anatomia macroscópica e estrutura interna**, 1978.

CAVALCANTI, P. R. A. **Controle circadiano e homeostático do sono-vigília em pacientes com acidente vascular encefálico e correlações com a qualidade de vida e o nível de atividade física**. 2009. Dissertação — Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CHAPMAN, C. R.; CASEY, K.; DUBNER, R.; FOLEY, K.; GRACELY, R.; READING, A. Pain measurement: an overview. **Pain**, v.22, n.1, p.1–31, 1985.

CHIESA, J. J. **Patrones Del Ritmo De Actividad Motora Como Expresión De La Plasticidad Del Sistema Circadiano**. 2005.

CIPOLLA-NETO, J.; CAMPA, A. Ritmos biológicos. **AIRES, MM Fisiologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan**, 1991.

ELLENBOGEN, J. M. Cognitive benefits of sleep and their loss due to sleep deprivation. **Neurology**, v.64, n.7, 2005.

FERREIRA, L. R. C. et al. **Estudo da variabilidade circadiana da temperatura corporal e ciclo vigília-sono do estudante trabalhador noturno**. 2011. Tese — Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP.

GLAESER, S. S. **Modelagem de Sistemas Biológicos: Ritmo Circadiano**. 2016. 125p. Dissertação — Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande.

GONÇALVES, B. d. S. B. **Estudo da organização funcional do sistema circadiano por meio de ferramentas computacionais e matemáticas**. 2013. 139p. Tese — Programa de Pós-Graduação em PsicoBiologia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

HIPOLIDE, D. Bases neurais do ciclo de vigília e sono. **Medicina e Biologia do Sono**., 2008.

HORNE et al. Effects of sleep deprivation on signal detection measures of vigilance: implications for sleep function. **Sleep: Journal of Sleep Research & Sleep Medicine**, 1983.

JANSEN et al. Cronobiologia e seus Mecanismos. In: **Medicina da noite: da cronobiologia à prática clínica**. SciELO-Editora FIOCRUZ, 2007.

JANSEN et al. O Tempo e o Sono da Medicina da Noite. In: **Medicina da noite: da cronobiologia à prática clínica**. SciELO-Editora FIOCRUZ, 2007.

MARQUES, N. M.-B. L. **Cronobiologia: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; 2. ed., 1999.

MARTINO, M. M. F. d. Estudo comparativo de padrões de sono em trabalhadores de enfermagem dos turnos diurno e noturno. , 2002.

MCCARLEY, R. W. Neurobiology of REM and NREM sleep. **Sleep medicine**, v.8, n.4, p.302–330, 2007.

MIGUEL, J. P. **A dor como 5º sinal vital. Registo sistemático da intensidade da dor, 09/DGCG (2003)**. [Online; accessed 01-October-2017], <http://www.myos.com.pt/files/circular5sinalvital.pdf>.

MINATI et al. A influência dos ritmos circadianos no desempenho físico. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v.14, n.1, p.75–86, 2008.

NIXON, G. M.; THOMPSON, J. M.; HAN, D. Y.; BECROFT, D. M.; CLARK, P. M.; ROBINSON, E.; WALDIE, K. E.; WILD, C. J.; BLACK, P. N.; MITCHELL, E. A. Short sleep duration in middle childhood: risk factors and consequences. **Sleep**, v.31, n.1, p.71, 2008.

PORCELLIS, D. A.; BERTIN, C.; FONSECA, M. Modelo Baseado em Equações versus Modelo Baseado em Agentes: uma abordagem usando sistema predador-presa. In: IX WORKSHOP-ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICAÇÕES OES–IX WESAAC, 2015. **Anais...** 2015.

REBONATTO, M. T. **Simulação paralela de eventos discros com uso de memória compartilhada distribuída**. 2000. Dissertação — Programa de Pós-Graduação em Computação, UFRGS, Porto Alegre.

ROENNEBERG, T.; KUEHNLE, T.; PRAMSTALLER, P. P.; RICKEN, J.; HAVEL, M.; GUTH, A.; MERROW, M. A marker for the end of adolescence. **Current Biology**, v.14, n.24, 2004.

ROTENBERG, L.; MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L.; MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. Desenvolvimento da cronobiologia. **Cronobiologia: Princípios e aplicações**, p.23–44, 1997.

RUTENFRANZ et al. Trabalho em turnos e noturno. In: **Trabalho em turnos e noturno**. Hucitec, 1989.

SILVA, J. A. da; PINTO, N. A dor como um problema psicofísico. **Rev. Dor. São Paulo**, v.12, n.2, p.138–151, 2011.

SIMONEAU, J.-A.; LORTIE, G.; BOULAY, M.; MARCOTTE, M.; THIBAUT, M.-C.; BOUCHARD, C. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v.54, n.3, 1985.

SKELDON, A. **Are you listening to your body clock?** [Online; accessed 15-March-2017], <http://personal.maths.surrey.ac.uk/st/A.Skeldon/sleep.html>.

SKELDON et al. Mathematical models for sleep-wake dynamics: comparison of the two-process model and a mutual inhibition neuronal model. **PloS one**, v.9, n.8, p.e103877, 2014.

SO, Y.-p.; DURFEE, E. H. Designing tree-structured organizations for computational agents. **Computational & Mathematical Organization Theory**, v.2, n.3, p.219–245, 1996.

STROGATZ, S. H. **The mathematical structure of the human sleep-wake cycle**. Springer Science & Business Media, 2013. v.69.

VALENTE, J. A. et al. Diferentes usos do computador na educação. **Computadores e Conhecimento: repensando a educação**, v.1, p.1–23, 1993.

WILENSKY, U. NetLogo.(ccl. northwestern. edu/netlogo). **Center for Connected Learning and Computer Based Modeling, Northwestern University**, 1999.