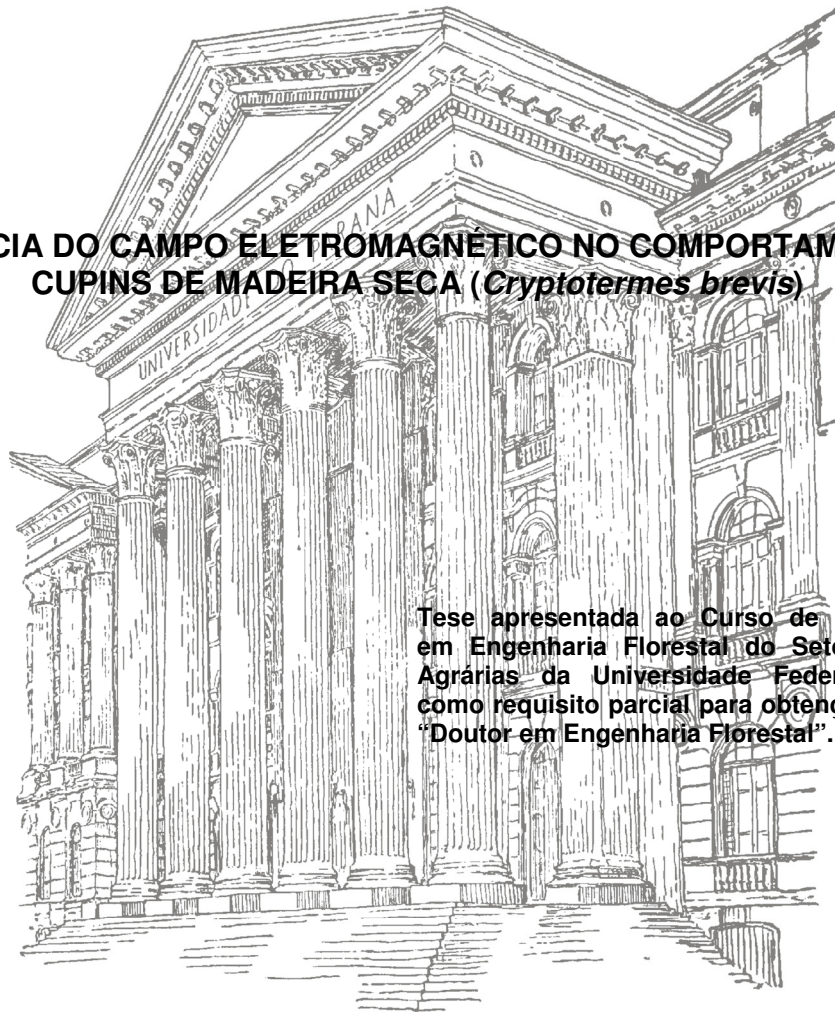


**RODRIGO GIOVANELLA**

**INFLUÊNCIA DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO COMPORTAMENTO DE  
CUPINS DE MADEIRA SECA (*Cryptotermes brevis*)**



Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de "Doutor em Engenharia Florestal".

**CURITIBA**

**2013**

**RODRIGO GIOVANELLA**

**INFLUÊNCIA DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO COMPORTAMENTO DE  
CUPINS DE MADEIRA SECA (*Cryptotermes brevis*)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Doutor em Engenharia Florestal”.

**Orientador: Professor Dr. Márcio Pereira da Rocha**

**Co-orientador: Professor Dr. Sérgio Luiz Meister Berleze**

**Co-orientador: Professor Dr. João Carlos Moreschi**

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Giovanella, Rodrigo

Influência do campo eletromagnético no comportamento de cupins de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) / Rodrigo Giovanella. – 2013  
161 f. : il.

Orientador: Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Dr. Sérgio Luiz Meister Berleze

Dr. João Carlos Moreschi

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 12/07/2013.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Termita. 2. Campos eletromagnéticos. 3. Termita - Comportamento. 4. Madeira – Conservação. 5. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da. II. Berleze, Sérgio Luiz Meister. III. Moreschi, João Carlos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 595.736

CDU – 634.0.845.3



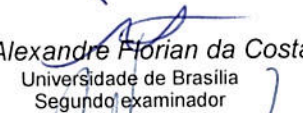
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

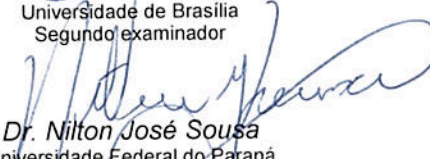
## PARECER

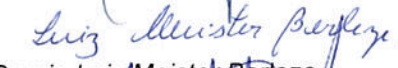
Defesa nº. 977

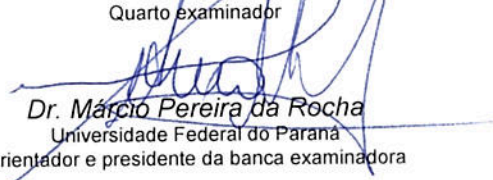
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Rodrigo Giovanella* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**INFLUÊNCIA DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO COMPORTAMENTO DE CUPINS DE MADEIRA SECA (*Cryptotermes brevis*)**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

  
**Dr. Juarez Benigno Paes**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Primeiro examinador

  
**Dr. Alexandre Florian da Costa**  
Universidade de Brasília  
Segundo examinador

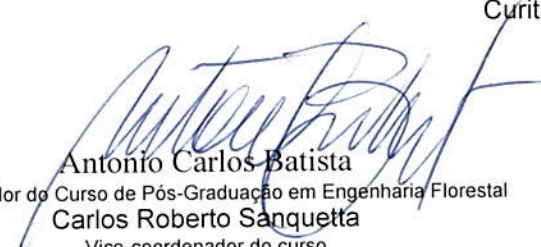
  
**Dr. Milton José Sousa**  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador

  
**Dr. Sergio Luiz Meister Berleze**  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador

  
**Dr. Márcio Pereira da Rocha**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 12 de julho de 2013.

  
**Antonio Carlos Batista**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
**Carlos Roberto Sanquetta**  
Vice-coordenador do curso

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Carlos César Giovanella e Maria Cecília M. N. Giovanella, pela cumplicidade, apoio e dedicação em todos os momentos de minha vida, principalmente durante os caminhos mais tortuosos. Obrigado por me mostrarem que na simplicidade de um pequeno gesto podemos presenciar a grandeza do amor.

Aos meus irmãos, Ricardo Giovanella e Rafael Giovanella, pela oportunidade de participar de suas vidas como mentor, aprendiz e, principalmente, amigo. Que os doces frutos desta relação sejam colhidos eternamente.

À minha esposa, Jamila Ithaia S. Wawzyniak Giovanella, por todos os momentos em que seu olhar carinhoso serviu como alicerce de minha força e sua ternura o conforto de minhas batalhas. Uma companheira única que renova a cada dia o sentido de ser e amar.

À minha filha, Sara dos Santos Wawzyniak Giovanella, uma pequena flor que desabrochou com um sorriso alegre e olhar cativante e pouco a pouco foi tomando espaço em minha vida com a mesma proporção da intensidade do meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Márcio Pereira da Rocha, meu orientador, que sempre incentivou a iniciativa de novas ideias e permitiu, em diversos momentos de minha vida acadêmica, que eu as realizasse.

Ao professor Dr. Sérgio Luiz Meister Berleze por sua ajuda e dedicação na coorientação deste trabalho e por suas palavras de apoio e incentivo.

Aos meus pais que cederam o espaço necessário para a realização deste trabalho e ajudaram na construção e adequação dos materiais para a conformidade dos testes.

A minha esposa pelo auxílio na construção de alguns itens fundamentais para a realização da pesquisa e por sua paciência no decorrer da escrita da mesma.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos que auxiliou o progresso e desenvolvimento deste trabalho.

# 中孚

“Compreender e fazer-se compreender indicam o caminho a ser seguido. A honestidade e a integridade são as bases das relações duradouras.”

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	17
1.1 OBJETIVOS .....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos .....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
2.1 CÉLULA – ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO .....	22
2.1.1 Membrana Celular .....	22
A) Estrutura da membrana .....	22
B) Composição da membrana .....	24
C) Transporte de moléculas .....	26
2.1.2 Equilíbrio Iônico e Potenciais de Repouso da Membrana.....	27
A) Potenciais eletroquímicos dos íons.....	27
B) Equação de “Nernst” .....	29
C) Potenciais de repouso da membrana plasmática.....	30
2.1.3 Geração e condução de potenciais de ação .....	30
2.2 TEORIA DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO .....	32
2.2.1 Carga Elétrica.....	33
A) Carga elementar .....	33
2.2.2 Campo Elétrico .....	34
A) Linhas de força .....	35
B) Energia potencial elétrica.....	36
C) Dipolos elétricos .....	37
2.2.3 Campo Magnético.....	37
A) Lei de Ampère.....	38
B) Lei da indução.....	39
C) Equações para cálculo do campo eletromagnético – condições do trabalho .....	39
2.3 CUPINS - ORDEM ISOPTERA.....	41
2.4 Métodos de Tratamentos.....	43



3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	45
3.2 ELETROIMÃ.....	46
3.2.1 Estrutura e Composição.....	46
3.2.2 Instalação do Eletroímã.....	47
3.3 ESPÉCIE DE CUPIM UTILIZADA.....	48
3.4 TESTES DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS.....	48
3.4.1 Teste Padrão de Comportamento dos Cupins.....	49
3.4.2 Teste de Sensibilidade ao Campo Eletromagnético.....	50
3.4.3 Teste de Variação da Intensidade do Campo Eletromagnético.....	53
3.5 Análise Estatística.....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 TESTE PADRÃO DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS.....	56
4.2 TESTE DE SENSIBILIDADE AO CAMPO ELETROMAGNÉTICO.....	61
4.2.1 Temperatura Padrão (18 °C).....	63
A) Efeitos do tratamento.....	65
4.2.2 Temperatura de 11 °C.....	93
A) Efeitos do tratamento.....	93
4.2.3 Temperatura de 25 °C.....	101
A) Efeitos do tratamento.....	102
4.2.4 Temperatura de 0 °C.....	107
A) Efeitos do tratamento.....	108
4.2.5 Temperatura de 50 °C.....	114
A) Efeitos do tratamento.....	115
4.2.6 Efeitos adversos.....	120
4.3 TESTE DE VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO....	121
4.3.1 Classe 1 – Cinco lâmpadas.....	121
A) Efeitos Associados.....	121
4.3.2 Classe 2 – Quatro lâmpadas.....	125
A) Efeitos Associados.....	126
4.3.3 Classe 3 – Três lâmpadas.....	128
A) Efeitos Associados.....	129
4.3.4 Classe 4 – Duas lâmpadas.....	132
A) Efeitos Associados.....	133
4.3.5 Classe 5 – Uma lâmpada.....	138

A) Efeitos Associados.....	138
5. CONCLUSÕES .....	142
5.1 SUGESTÕES .....	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	145
APÊNDICE .....	150
ANEXOS .....	154

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 –	Classificação das atividades e comportamento dos cupins <i>Cryptotermes brevis</i> – Método de grupo. Fonte: GIOVANELLA, 2009 (a). .....	50
QUADRO 2 –	Classificação das atividades e comportamento dos cupins <i>Cryptotermes brevis</i> – Método individual. ....	51
QUADRO 3 –	Temperatura ambiente (°C) e umidade relativa (%) dos testes de sensibilidade ao campo eletromagnético .....	51
QUADRO 4 –	Intensidade da corrente elétrica no eletroímã para cada classe do campo eletromagnético, desprezando a resistência ôhmica do fio da bobina.....	54

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1	Distribuição do padrão de comportamento dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> observados ao longo de 24 horas para o teste padrão de comportamento dos cupins - Método de Grupo. ....	56
TABELA 2 –	Padrão de comportamento dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> , com associação do Método de grupo e individual. Fonte: Autor. ....	60
TABELA 3 –	Temperatura ambiente real, em °C, e Umidade Relativa (%) dos testes de sensibilidade ao campo eletromagnético .....	62
TABELA 4 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético, à temperatura de 18 °C.....	67
TABELA 5 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Temperatura Padrão.....	88
TABELA 6 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético, à temperatura de 11 °C.....	95
TABELA 7 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Temperatura de 11 °C.....	98
TABELA 8 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético, à temperatura de 25 °C.....	104
TABELA 9 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Temperatura de 25 °C.....	107
TABELA 10 –	Classificação média das atividades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao longo dos tratamentos – Método de grupo .....	110
TABELA 11 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético, à temperatura de 0 °C.....	111
TABELA 12 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Temperatura de 0 °C .....	113
TABELA 13 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético, à temperatura de 50 °C.....	116

TABELA 14 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Temperatura de 50 °C.....	118
TABELA 15 –	Número de mortes por tratamento.....	120
TABELA 16 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético de classe 1 .....	123
TABELA 17 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 1 .....	124
TABELA 18 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético de classe 2 .....	127
TABELA 19 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 2.....	128
TABELA 20 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético de classe 3 .....	131
TABELA 21 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 3.....	132
TABELA 22 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético de classe 4 .....	135
TABELA 23 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 4.....	136
TABELA 24 –	Efeitos da exposição dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> ao campo eletromagnético de classe 5 .....	139
TABELA 25 –	Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 5.....	140

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	Estrutura da membrana formada por moléculas de fosfolipídios. Fonte: <a href="http://www.teliga.net/2010_04_01_archive.html">http://www.teliga.net/2010_04_01_archive.html</a> .....	23
FIGURA 2 –	Estrutura de bicamada de fosfolipídios. Fonte: Berne e Levy (2000).....	23
FIGURA 3 –	Interação Célula – Matriz Extracelular. Fonte: SANTOS, 2009.....	25
FIGURA 4 –	Diferença de concentração nas faces de uma membrana. Fonte: Berne e Levy (2000).....	27
FIGURA 5 –	Respostas de axônio de caranguejo a pulsos retangulares de corrente, registradas externamente a ele por meio de eletródio colocado a diferentes distâncias do eletródio de passagem de corrente. Fonte: Berne e Levy (2000) .....	31
FIGURA 6 –	Interação entre cargas elétricas. Fonte: HALLIDAY, 1995 .....	34
FIGURA 7 –	a. Carga de teste positiva colocada num ponto próximo a um objeto carregado. Uma força eletrostática atua sobre a carga teste; b. O campo elétrico criado no ponto P pelo objeto carregado. Fonte: Halliday (1995) .....	34
FIGURA 8 –	Linhas de força para um par de cargas puntiformes iguais e opostas. Fonte: Nussenzveig (2007).....	36
FIGURA 9 –	Interação do campo magnético. a. – campo gerado a partir de cargas elétricas; b. – campo gerado a partir de corrente elétrica (eletroímã). Fonte: HALLIDAY, 1995 .....	37
FIGURA 10 –	Sala de testes. Fonte: Autor, 2012 .....	45
FIGURA 11 –	a - Elementos de uma bobina de um eletroímã. b – Eletroímã construído. Fonte: Autor, 2012 .....	46
FIGURA 12 –	a – Esquema elétrico do eletroímã instalado. b – Detalhe da resistência – Lâmpadas limitadoras de corrente. Fonte: Autor, 2012 .....	47
FIGURA 13 –	Caixa de teste. Fonte: Autor, 2012 .....	48
FIGURA 14 –	Esquema de observação para o Teste Padrão de Comportamento dos Cupins .....	49
FIGURA 15 –	Eletroímã instalado no interior da caixa de teste. Fonte: Autor, 2012 ....	53
FIGURA 16 –	Tendência de repouso de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> em função do tempo - Método de grupo .....	58
FIGURA 17 –	Tendência de atividade de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> em função do tempo - Método de grupo .....	58

- FIGURA 18 – Primeira hora de atividade dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* em função do tempo para as duas repetições - Método de grupo ..... 59
- FIGURA 19 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento a temperatura de 18 °C - Método de grupo ..... 64
- FIGURA 20 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento a temperatura de 18 °C e no Teste de Comportamento Padrão - Método de grupo..... 65
- FIGURA 21 – Diagrama da caixa de teste, vista de cima, e sentido de orientação dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no momento em que o eletroímã foi ligado - tratamento à temperatura padrão..... 68
- FIGURA 22 – Sentido de orientação e início de movimentação dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no momento em que o eletroímã foi ligado para o tratamento à temperatura padrão – primeira repetição ..... 69
- FIGURA 23 – Diferença de potenciais elétricos (DDP) no interior do corpo de um inseto.  $DDP_1 > DDP_2 > DDP_3$ . Fonte: Adaptado de Leite (2011) ..... 73
- FIGURA 24 – a.- campo magnético no plano da base da caixa. Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_x$  e  $B_y$ .  
b.- campo magnético no plano de simetria longitudinal da bobina. Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_x$  e  $B_z$ . A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida em ambas as figuras.  
c.- campo magnético na parede lateral da caixa em  $y = 0,35m$ . Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_y$  e  $B_z$ .  
Nesta figura os vetores se referem ao valor máximo do campo em um dos semi-ciclos ..... 75
- FIGURA 25 – Campo magnético no plano da base da caixa. Gráfico mostrando os valores das componentes  $B_p$  e  $B_z$ , e o módulo do campo  $B$ , em função de  $x$ , expressos em T. A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida ..... 76
- FIGURA 26 – Campo magnético na parede da caixa; linha vertical central e aresta (comparação). Gráfico mostrando o valor do módulo do campo  $B$  em função de  $z$ , expresso em T ..... 76

FIGURA 27 –	a.- campo elétrico induzido no plano da base da caixa. Diagrama vetorial mostrando as componentes $E_x$ e $E_y$ (valor máximo em um dos semi-ciclos).	
	b.- campo elétrico induzido no plano da base da caixa. Gráfico mostrando o valor do módulo do campo E em função de x, expresso em V/m. A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida .....	77
FIGURA 28 –	Influência fisiológica do campo eletromagnético sobre os cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> .....	79
FIGURA 29 –	1- estrutura geral do tegumento de um inseto; a – endocutícula laminada; b – exocutícula; c – epicutícula; d – seta; e – canais de poro; f – duto da glândula dérmica; g – membrana basal; h – célula epidérmica; i – célula tricógena; j – célula tormógena; l – oenócito; m – hemócito aderente à membrana basal; n – glândula dérmica. 2- Esquema sobre reflexão, refração e absorção da luz sobre os cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> . Fonte: Adaptado de Macedo (2010).....	86
FIGURA 30 –	Região de preferência expandida e eixos de coordenadas .....	91
FIGURA 31 –	Deformação abdominal apresentada após 19 horas do final da exposição ao campo eletromagnético.....	93
FIGURA 32 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 11 °C e no tratamento padrão (18 °C) - Método de grupo.....	94
FIGURA 33 –	Achatamento abdominal do cupim da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> para o tempo de 20 minutos – primeira repetição. Perfil do cupim com achatamento abdominal ao lado de um cupim sadio; imagem obtida com aumento de 3 vezes.....	99
FIGURA 34 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 25 °C e no tratamento padrão (18 °C) - Método de grupo .....	102
FIGURA 35 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 25 °C e no teste de comportamento padrão (primeira hora) - Método de grupo .....	103
FIGURA 36 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 0 °C - Método de grupo .....	109



FIGURA 37 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 50 °C - Método de grupo .....	114
FIGURA 38–	Agrupamento de cupins da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> no instante 0 de observação. a. – frame capturado de vídeo com aumento de 3 vezes; b. – frame a. com ajuste de cor e contraste para auxiliar a percepção do corpo dos cupins .....	115
FIGURA 39 –	Cupim da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> morto por desidratação causada por lesão abdominal. a. – cupim morto com aumento de 3 vezes; b. – cupim morto ao lado de um cupim sadio, com um aumento de 2,5 vezes. ....	119
FIGURA 40 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 1 - Método de grupo .....	122
FIGURA 41 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 2 - Método de grupo .....	125
FIGURA 42 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 3 - Método de grupo .....	129
FIGURA 43 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 4 - Método de grupo .....	133
FIGURA 44 –	Tendência de insetos da espécie <i>Cryptotermes brevis</i> manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 5 - Método de grupo .....	137

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar a relação e influência do campo eletromagnético sobre o organismo de cupins da espécie *Cryptotermes brevis*, ordem Isoptera, família Kalotermitidae, tendo como base o funcionamento fisiológico de seus sistemas. Para isto diferentes cupins foram submetidos a um campo eletromagnético máximo sob distintas temperaturas ambientes para avaliar a relação deste campo com o potencial elétrico biológico (teoria envolvida no desenvolvimento da equação de Nerst). Posteriormente, avaliou-se a variação da intensidade do campo eletromagnético, sob uma mesma temperatura, com o intuito de verificar a sensibilidade dos insetos ao mesmo. A partir dos resultados observou-se que os cupins são capazes de sentir a presença de um campo eletromagnético e responder a seus estímulos, por meio de taxia negativa e movimentações de corpo que se adaptam às variações de campo ao longo da região de exposição, como uma consequência da lei de Faraday de indução magnética e da hipótese ferromagnética, a qual se baseia na presença de partículas magnéticas no organismo que funcionam como sensores de campos. O campo eletromagnético fez com que os cupins tivessem descontrole de segmentos e de membros acessórios e alterações na estrutura de seus corpos. Estas alterações foram desencadeadas pela influência do campo eletromagnético no sistema fisiológico que provocaram inchaço abdominal, escurecimento da extremidade abdominal, alteração cromática e, ou tonal dos segmentos torácico e abdominal, necrose de células e tecidos, perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema) e alteração da permeabilidade da membrana ao sódio, sendo estes efeitos proporcionais à intensidade do campo. O campo eletromagnético ainda, quando em sua intensidade máxima (condições de teste), foi capaz de matar os cupins *Cryptotermes brevis*, independentemente da temperatura empregada.

**Palavras chave:** taxia, alterações fisiológicas, descontrole do corpo, alteração cromática, inchaço abdominal.

## ABSTRACT

This work aimed to study the relationship and influence of the electromagnetic field on the organism of the species of termites *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae), based on the physiological function of their systems. For that, different termites, were subjected to an electromagnetic field under different ambient temperatures to evaluate the relationship of this field with the electric potential biological (theory involved in the development of the equation Nerst). Later on, we evaluated the variation of the intensity of the electromagnetic field, under the same temperature, in order to check the sensitivity of insects to it. From the results it was observed that the termites are able to sense the presence of an electromagnetic field and respond to their stimuli through intense turn away and body movements that fit the changes in the field over the region of exposure, as a consequence of Faraday's law of magnetic induction and the ferromagnetic hypothesis, which is based on the presence of magnetic particles in the body which act as field sensors. The electromagnetic field has termites present uncontrolled of members and accessories segments and changes in the body structure of these insects. These changes were triggered due to the influence of the electromagnetic field in the physiological system that caused abdominal swelling, darkening of the abdominal end, change color and, or tone of the thoracic and abdominal necrosis of cells and tissues, loss of flexibility in the regions of the exoskeleton and soft alteration in membrane permeability to sodium, these effects being proportional to the field strength. The electromagnetic field even when at its maximum intensity (test conditions), was able to kill termites *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae) regardless of temperature.

**Keywords:** physiological changes, uncontrolled of body, color change, bloating.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que, por causa de suas características, esteve presente desde os primórdios do desenvolvimento da civilização humana. Propriedades como resistência mecânica elevada em relação à massa própria, facilidade de usinagem, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico e, inclusive, podendo ser encontrada com uma ampla faixa de texturas e colorações, garantiram a este material um lugar de destaque nas mais diversas indústrias e utilizações (LEPAGE *et al.*, vol. I, 1986; ROCHA, 2000; GIOVANELLA, 2009).

Entretanto, a madeira tem uma vida útil pequena em dadas condições, com sua durabilidade comprometida por uma série de fatores físicos, químicos e, ou biológicos. Isto ocorre em consequência de sua natureza orgânica, em termos de constituintes poliméricos, sendo os principais a celulose e hemiceluloses (LEPAGE *et al.*, vol. I, 1986; ROCHA, 2001). Deste modo, a tecnologia de preservação de madeiras destaca-se como fundamental para a utilização deste material. Seu objetivo inicial é aumentar a durabilidade da madeira e, com isto, incentivar o uso da mesma. Outros pontos são considerados como chaves também na preservação, como exemplo evitar a migração de espécies biológicas a ambientes não naturais, por intermédio das exportações (infestações oriundas de modais).

As técnicas de preservação atuais utilizam-se de artifícios químicos (combinação de grupos funcionais para potencializar os efeitos fisiológicos) e tratamentos relativamente simples, que tem como conceito a fixação de produtos químicos na estrutura da madeira (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986; ROCHA, 2001; MORESCHI, s/d - b). Considerando as necessidades de preservação dos dias atuais, aliadas às exigências ambientais, fez-se necessário um aperfeiçoamento na tecnologia de tratamentos de madeira. Isso gerou um avanço nos tipos de equipamentos e parâmetros de controles e uma evolução nos próprios produtos químicos utilizados levando em consideração os grupos funcionais e suas formas de atuação.

Atualmente tem surgido uma nova vertente, que utiliza conceitos físicos para potencializar a eficiência de desinfestações, sendo estes métodos utilizados tanto como tratamentos preventivos, quanto curativos (GIOVANELLA, 2006). Inclusive alguns trabalhos, ensaios aplicados, já foram publicados no 1º Simpósio Latino

Americano sobre Métodos Físicos e Químicos em Arqueologia, Arte e Conservação de Patrimônio Cultural – LASMAC (2007).

Este trabalho tem como hipótese que um campo eletromagnético é capaz de interagir com organismos vivos (especificamente insetos xilófagos), deste modo podendo ser utilizado em tratamentos curativos e preventivos, dependendo da metodologia de utilização. Este método é inerte à matéria e não tem riscos de contaminação, como os químicos e, ou os de irradiação (ionizante).

A aplicação prática se encontra em diversas áreas da preservação, tanto como tratamento curativo quanto preventivo. Se for levado em consideração que o campo eletromagnético produzido por um eletroímã não consome a corrente que passa pela bobina (exceto perdas), pode-se criar uma blindagem eletromagnética em áreas pequenas ou grandes, como um pátio de estocagem de madeira ou uma sala de museu, utilizando o eletroímã ligado em série com os equipamentos da indústria ou museu, de modo que a corrente normal de alimentação dos equipamentos também produzirá o campo eletromagnético no eletroímã. Esta blindagem pode ser tanto na superfície quanto no interior do solo, fato que permite a substituição de tratamentos químicos de solo em residências para impedir a entrada de insetos, como os cupins subterrâneos.

Na natureza existem quatro tipos de interações fundamentais, que são responsáveis por conformar o mundo na forma em que é conhecido. Estas interações são a nuclear forte, eletromagnética, nuclear fraca e gravitacional, sendo a força de interação decrescente, em termos de intensidade, a partir da nuclear forte à gravitacional (MENEZES, 2002; NUSSENZVEIG, 2007). As forças que atuam na escala macroscópica, responsáveis pela estrutura da matéria e pela quase totalidade dos fenômenos físicos e químicos que intervêm no cotidiano, são de natureza eletromagnética (NUSSENZVEIG, 2007). Com base na hipótese deste trabalho faz-se necessário a compreensão das forças envolvidas na estrutura da matéria e nos fenômenos físicos e químicos, pois estes são o ponto de partida para o desenvolvimento das teorias que compõem os critérios de análise desta pesquisa.

As forças intermoleculares, responsáveis pela estrutura da matéria, podem gerar influências biológicas significativas quando se trata de estrutura fisiológica. Estas interações podem ocorrer a partir de duas formas fundamentais, as forças eletrostáticas e os estados de agregação da matéria. A primeira atua diretamente sobre os orbitais moleculares, alterando a relação núcleo-eletrosfera e,

consequentemente, as relações inter e intra atômica. A segunda atua diretamente sobre a constituição atômica das moléculas, ou seja, a composição e conformidade molecular, que influencia diretamente as relações e interações químicas (iônica, covalente, covalente dativa e metálica).

Os fenômenos físicos podem ser interpretados como a ação dos campos elétricos e magnéticos. O campo elétrico pode interagir de três maneiras distintas no organismo dos insetos, sendo elas a polarização celular, que afeta diretamente os sistemas (controle), ação nos neurotransmissores e na produção e liberação de hormônios. Já o campo magnético pode interagir diretamente no ritmo cardiano (ciclo) e, também, sobre os neurotransmissores. Assim, a relação dos campos elétricos e magnéticos, sobre os pontos levantados, afetam os ínstares de forma a abrir uma relação, de via dupla, entre controle e influência e ciclo de vida.

A ação dos campos combinados, assim como os fenômenos químicos, podem causar distúrbios nos mais diversos processos fisiológicos. Como exemplo pode-se citar a bomba de sódio, alteração da hemolinfa, ciclo de Krebs, diretamente relacionado à retenção e absorção de nutrientes, e a ação celular, sobretudo sobre as mitocôndrias e nos processos de mitose e meiose, que pode levar a uma influência indireta sobre o DNA (ácido desoxirribonucleico) e RNA (ácido ribonucleico).

As formas de atuação destes campos elétricos e magnéticos baseiam-se na teoria de Maxwell e suas relações que levaram ao desenvolvimento da eletrodinâmica. Com a incorporação do eletromagnetismo à relatividade restrita, percebe-se que campos elétricos e magnéticos são aspectos diferentes de um mesmo campo, o campo eletromagnético (MENEZES, 2002; LANDAU e LIFCHITZ, 2004; NUSSENZVEIG, 2007).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a relação e influência do campo eletromagnético sobre o organismo de cupins de madeira seca *Cryptotermes brevis*, tendo como base o funcionamento fisiológico de seus sistemas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Observar e analisar, por meios indiretos, a influência do campo eletromagnético no potencial elétrico de ação da célula;
- Verificar e analisar possíveis influências do campo eletromagnético no funcionamento dos sistemas fisiológicos;
- Determinar e analisar o comportamento dos cupins *Cryptotermes brevis* quando expostos a um campo eletromagnético;
- Analisar as alterações geradas, com base na etiologia, sintomatologia e epizootiologia.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os insetos xilófagos são animais invertebrados da classe Insecta, sendo esta pertencente ao filo Arthropoda e divididos em aproximadamente 30 ordens (LEPAGE *et al.*, vol. I, 1986; ROCHA, 2001). Destas ordens três destacam-se como importantes economicamente para o setor madeireiro, sendo elas Coleoptera (besouros), Isoptera (térmitas ou cupins) e Hymenoptera (formigas, vespas e abelhas) (ROCHA, 2001).

A fisiologia dos insetos é de grande importância para o desenvolvimento de métodos alternativos de prevenção do seu ataque como a utilização de campos eletromagnéticos. Para este método em questão é necessário compreender o potencial de ação da célula (potencial elétrico) que é a base de funcionamento dos sistemas locomotor (músculos), circulatório (composição da hemolinfa e troca de nutrientes) e nervoso (cérebro e transmissões neurais). Portanto, a compreensão do funcionamento base de uma célula (estrutura e funções), fornece suporte ao entendimento mínimo necessário ao estudo proposto.

É importante ressaltar que, como base da comunicação celular entre sistemas, o sistema nervoso dos insetos, assim como de outros organismos vivos, consiste tanto de células nervosas como de células gliais. As primeiras, excitáveis, integram os pulsos de informações, conduzir os impulsos e receber e transmitir informações na forma de sinais químicos e elétricos. As segundas servem como elementos de apoio, proteção e nutrição para os neurônios. Estas células não conduzem impulsos elétricos e circundam os neurônios também agindo como isolantes entre os mesmos.

A disposição dos neurônios e as células gliais podem ser extremamente complexas e muito diferentes de uma região do sistema nervoso para outra. Da mesma forma, o neurônio em si é altamente organizado e compartimentalizado, tendo regiões distintas responsáveis pela transmissão e recepção das informações. Dentro do sistema nervoso dos insetos, existe uma variedade de tipos neurais, dos quais os principais são os neurônios motores, sensoriais, interneurônios locais e principal e neurônios neurosecretórios ou neuromoduladores (KERKUT e GILBERT, vol 5, 1985).



## 2.1 CÉLULA – ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO

### 2.1.1 Membrana Celular

As membranas são um componente de extrema importância e estão presentes em todas as células vivas, tanto as procarióticas como as eucarióticas, e todas são revestidas pela membrana plasmática. Sua principal função é a separação da composição interna celular do ambiente extracelular (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011). Deste modo, atua como uma barreira de permeabilidade que permite à célula manter uma composição interna diferente da composição extracelular (BERNE e LEVY, 2000).

A membrana plasmática contém enzimas, receptores e antígenos que desempenham papéis importantes na interação da célula com outras e com hormônios e outros agentes reguladores no líquido extracelular. Muitos processos celulares vitais (processos bioquímicos determinados) ocorrem no interior ou nas membranas de diversas organelas das células eucarióticas. Como exemplo de processos localizados nas membranas incluem-se o transporte de elétrons e a oxidação fosforilativa, que ocorrem dentro ou através das membranas internas das mitocôndrias (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

#### A) Estrutura da membrana

Os constituintes mais abundantes encontrados nas membranas celulares são as proteínas e os fosfolípidos. Os fosfolípidos possuem uma cabeça polar e duas caudas não polares, formadas por cadeias hidrofóbicas de ácidos graxos (hidrocarbonetos), conforme a figura 1 (BERNE e LEVY, 2000). Este conjunto, de cabeça e cauda, é denominado de fosfatidolína.

Em ambientes aquosos, os fosfolípidos tendem a se orientar com suas cadeias hidrofóbicas de ácidos graxos para longe do contato com a água. Isso conforma a estrutura de bicamada lipídica, figura 2, comumente encontrada nas membranas biológicas (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

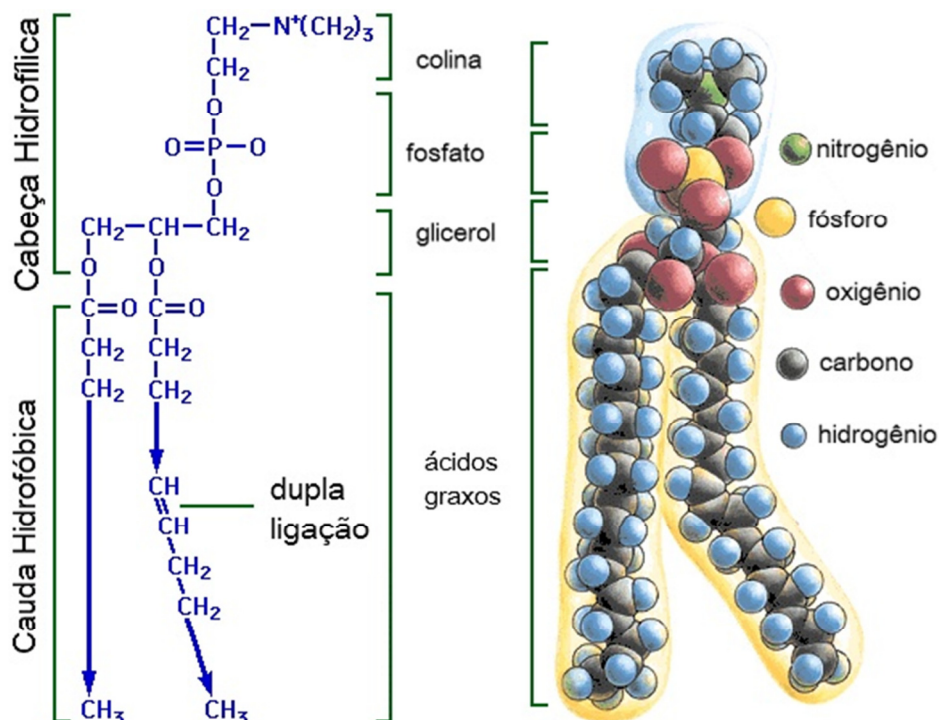


FIGURA 1- Estrutura da membrana formada por moléculas de fosfolípídios. Fonte: [http://www.teliga.net/2010\\_04\\_01\\_archive.html](http://www.teliga.net/2010_04_01_archive.html).

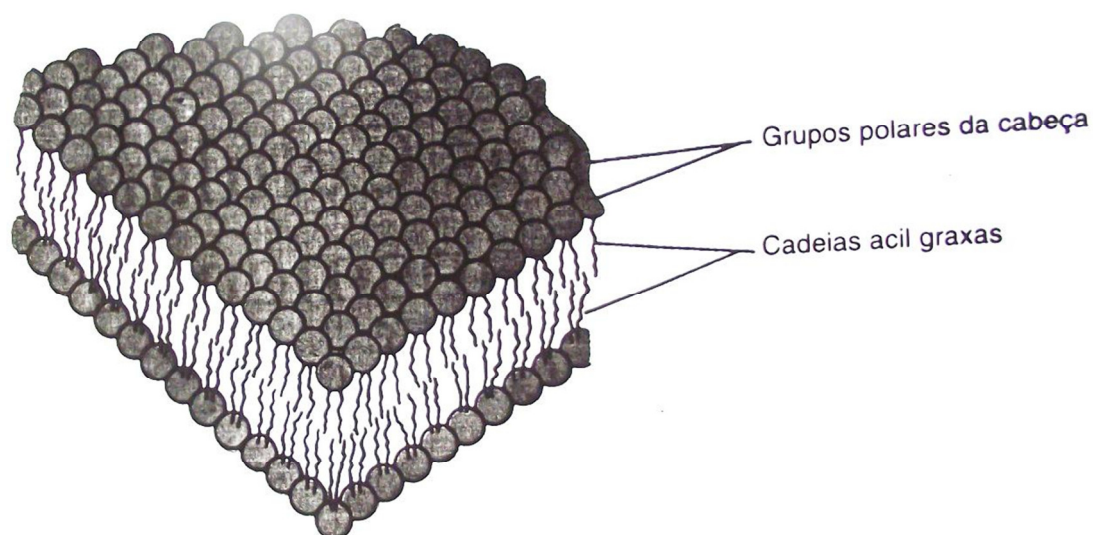


FIGURA 2 - Estrutura de bicamada de fosfolípídios. Fonte: Berne e Levy (2000).

As proteínas estão agregadas à membrana de duas formas e sua nomenclatura varia de acordo com este tipo de agregação. A primeira é a proteína integral ou intrínseca, que está localizada em meio à estrutura de bicamada lipídica

(FIGURA 2). Suas funções principais são servir como canais transportadores de íons ou moléculas, recepção de sinais celulares, ancoragem ao citoesqueleto ou à matriz extracelular. As proteínas integrais da membrana ficam incluídas na membrana por meio de intervenções hidrofóbicas com a parte interna da membrana (BERNE e LEVY, 2000). A segunda é a proteína periférica ou extrínseca que se associa à membrana por meio de interações de carga com as proteínas integrais da membrana. Quando a composição iônica do meio é alterada, as proteínas periféricas são removidas da membrana (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

## B) Composição da membrana

Considerando a parte lipídica da membrana, tem-se que os principais fosfolipídios, em ordem de abundância, são os fosfolipídios com colina, como as lecitinas (fosfatidilcolinas) e as esfingomielinas, seguidos pelos aminofosfolipídios (fosfatidilserina e fosfatidiletanolamina). Há ainda outros fosfolipídios importantes, em menor quantidade, como os fosfatidilglicerol, fosfatidilinositol e cardiolipina. Todos são encontrados na bicamada lipídica que têm como principal função regular as propriedades passivas da permeabilidade das membranas (BERNE e LEVY, 2000).

Segundo Berne e Levy (2000), alguns fosfolipídios presentes em quantidades diminutas nas membranas plasmáticas desempenham papéis vitais nos processos da transdução celular de sinais. Ainda de acordo com estes autores, o fosfatidilinositol bifosfato, quando clivado por uma fosfolipase C ativada por receptor, libera o inositol trifosfato ( $IP_3$ ) e o diacilglicerol. O  $IP_3$  é liberado no citosol, onde atua sobre receptores no retículo endoplasmático para promover a liberação das reservas de  $Ca^{++}$ , que afeta boa parte dos processos celulares. Já o diacilglicerol permanece na membrana plasmática, onde participa, junto com o  $Ca^{++}$ , na ativação da proteinocinase C, que é uma importante proteína de transdução de sinais.

O colesterol também é um importante constituinte da membrana plasmática. Seu núcleo esteroide fica paralelo às cadeias acil graxas dos fosfolipídios da membrana, funcionando assim como um tampão de fluidez. Ou seja, o colesterol tende a manter a fluidez da região de cadeias acil da bicamada fosfolipídica dentro de uma faixa intermediária quando na presença de agentes, como o álcool, que

fariam as membranas ficarem mais fluidas (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

Os glicolipídios, mesmo não tão abundantes nas membranas plasmáticas, têm funções importantes para a célula. Os grupamentos de carboidratos, presentes em sua estrutura, projetam-se da superfície externa das membranas atuando como receptores ou antígenos (BERNE e LEVY, 2000).

Considerando agora a parte das proteínas da membrana, tem-se que a composição proteica pode ser simples ou complexa. As proteínas da membrana incluem enzimas, proteínas de transporte e receptores para hormônios ou neurotransmissores. Algumas proteínas da membrana são glicoproteínas com cadeias laterais de carboidratos covalentemente fixadas. Do mesmo modo que os glicolipídios, as cadeias de carboidratos das glicoproteínas ficam localizadas nas superfícies externas das membranas plasmáticas. A carga negativa da superfície das células é oriunda do ácido siálico com carga negativa dos glicolipídios e das glicoproteínas (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

A fibronectina é uma grande glicoproteína fibrosa que auxilia as células a se prenderem, por meio das glicoproteínas da superfície celular, chamadas de integrinas, as proteínas da matriz extracelular (FIGURA 3). Essa ligação permite que ocorra comunicação entre a matriz extracelular e o citoesqueleto da célula durante o desenvolvimento (BERNE e LEVY, 2000).

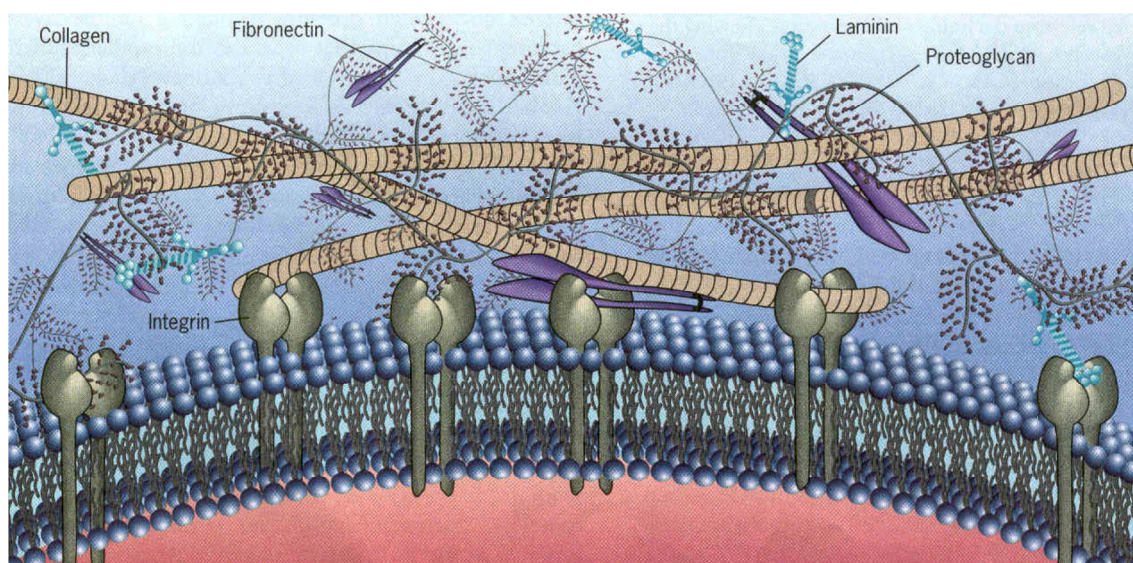


FIGURA 3 – Interação Célula – Matriz Extracelular. Fonte: SANTOS, 2009.

### C) Transporte de moléculas

Existem dois principais grupos de transporte de moléculas, que são divididos em consequência de suas características de processo físico de passagem pela membrana plasmática. O primeiro é o transporte pelas, mas não através das, membranas e se enquadram neste grupo os processos de endocitose, exocitose e fusão das vesículas membranosas. Fator importante, para o presente estudo, é que a endocitose é um processo ativo, mediado por receptores, que depende de energia metabólica (BERNE e LEVY, 2000). Já a exocitose é responsável pela liberação de neurotransmissores pelas terminações nervosas pré-sinápticas (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

O segundo grupo é o transporte de moléculas através das membranas, em que se destaca o processo de difusão. Segundo Berne e Levy (2000), a difusão ocorre por causa do movimento térmico aleatório de átomos ou moléculas, também conhecido como movimento browniano e, eventualmente, a difusão resulta na distribuição uniforme dos átomos ou moléculas. A difusão ocorre, de maneira geral, em consequência da permeabilidade difusa das membranas celulares. Esta permeabilidade pode ser a moléculas solúveis em lipídios ou a moléculas solúveis em água, sendo esta última a mais relevante para este estudo.

Uma das razões para que moléculas solúveis em água sejam altamente permeáveis é o fato de as membranas plasmáticas possuírem proteínas em suas estruturas, que formam canais e permitem o fluxo intenso de água (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011). Por causa das cargas moleculares (íons), que afetam a permeabilidade, há a difusão iônica que ocorre por meio dos canais iônicos. Alguns canais iônicos são controlados pela diferença de potencial elétrico através da membrana e outros por neurotransmissores ou por moléculas reguladoras (BERNE e LEVY, 2000).

Outro tipo de transporte é o mediado por proteínas através da membrana. Deste ressalta-se o transporte ativo, em que é capaz de bombear uma substância contra seu gradiente de concentração, ou potencial eletroquímico. Segundo Berne e Levy (2000), um gradiente de concentração representa uma reserva de potencial químico que pode ser usado para realizar trabalho. Entretanto, o autor ressalta que os processos de transporte ativos necessitam de energia e devem estar ligados ao metabolismo energético.

### 2.1.2 Equilíbrio Iônico e Potenciais de Repouso da Membrana

De maneira geral, o citoplasma é eletricamente negativo em relação ao líquido extracelular, o que gera uma diferença de potencial elétrico através das membranas celulares (comum na maioria das células animais). Sendo a diferença de potencial elétrico entendida como o trabalho que deve ser realizado contra a força exercida pelo campo elétrico para levar uma carga unitária de um ponto a outro (NUSSENZVEIG, 2007). Esta diferença de potencial é denominada de potencial de repouso da membrana, que tem participação essencial na excitabilidade das células nervosas e musculares e em certas outras respostas celulares (BERNE e LEVY, 2000; AIRES, 2008).

#### A) Potenciais eletroquímicos dos íons

Quando se considera um recipiente dividido por uma membrana (figura 4) e que a concentração de um determinado íon  $X^+$  é maior no lado A, presume-se que, não havendo diferença de potencial elétrico entre os lados A e B, este íon  $X^+$  tende a se difundir do lado mais concentrado para o menos concentrado, de A para B, como se fosse uma molécula sem carga. Entretanto, se o lado A for eletricamente negativo em relação ao lado B, o íon  $X^+$  pode se deslocar, também, na direção oposta, de B para A, por causa da diferença de potencial elétrico. Ou seja, a direção do movimento efetivo de um íon  $X^+$  depende de qual é o maior efeito, se o da diferença de concentração ou o da diferença de potencial elétrico. Quando comparadas estas duas tendências, uma pode prever a direção do movimento efetivo do íon  $X^+$  (BERNE e LEVY, 2000).

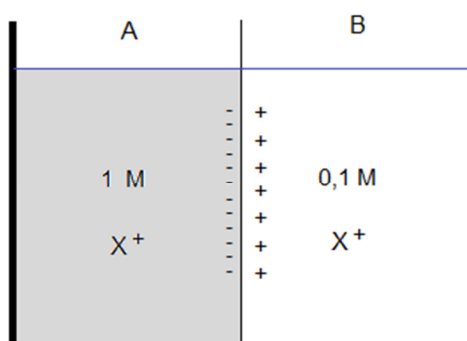


FIGURA 4 – Diferença de concentração nas faces de uma membrana. Fonte: Berne e Levy (2000).

Segundo Berne e Levy (2000), a quantidade que permite comparar as contribuições relativas das concentrações iônicas e do potencial elétrico sobre os movimentos de um íon é denominada de potencial eletroquímico ( $\mu$ ) de um íon. O autor apresenta também que a diferença de potencial eletroquímico através da membrana é definida pela equação 1;

$$\Delta\mu(X^+) = \mu_A(X^+) - \mu_B(X^+) = RT \ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B} + zF(E_A - E_B) \quad \text{eq. 1}$$

onde,  $\Delta\mu$  é a diferença de potencial eletroquímico do íon entre as faces A e B da membrana,  $R$  é a constante universal dos gases,  $T$  é a temperatura absoluta,  $\ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B}$  é o logaritmo natural da proporção entre as concentrações de  $X^+$  nos dois lados da membrana,  $z$  é o número de carga do íon,  $F$  é o número de Faraday e, por fim,  $E_A - E_B$  é a diferença de potencial elétrico através da membrana.

Desta equação é importante ressaltar que o primeiro termo no lado direito,  $RT \ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B}$ , demonstra a tendência dos íons  $X^+$  de se moverem do lado A para o lado B, frente à diferença entre as concentrações. Já o segundo,  $zF(E_A - E_B)$ , se refere à tendência para os íons se moverem de A para B por causa da diferença de potencial elétrico. Ou seja, conforme o autor, o primeiro termo representa a diferença de energia potencial entre um mol de íons  $X^+$  no lado A e um mol de íons  $X^+$  no lado B, como resultado da diferença de concentração. O segundo representa a diferença de energia potencial entre os mesmos mols, causada pela diferença de potencial elétrico entre A e B.

Assim, os autores (BERNE e LEVY, 2000, p. 20) concluem que “ $\Delta\mu(X^+)$  descreve a diferença de energia potencial que existe entre um mol de íons  $X^+$  no lado A e um mol de íons  $X^+$  no lado B, que resulta das diferenças de concentração e de potencial elétrico;” deste conceito deriva a denominação “diferença de potencial eletroquímico”, sendo sua unidade dada por energia.mol<sup>-1</sup>. Isto revela a tendência dos íons  $X^+$  em se moverem espontaneamente de um potencial eletroquímico maior para um potencial eletroquímico menor. Deste modo, se  $\Delta\mu$  for positivo, os íons tendem a se moverem de A para B; se  $\Delta\mu$  for zero, não existe tendência efetiva de movimento; e se  $\Delta\mu$  for negativo, os íons tendem a se moverem do lado B para A.

Para fazer os íons fluírem no sentido contrário ao espontâneo, há necessidade de se realizar trabalho com a energia mínima equivalente a  $\mu_A(X^+) - \mu_B(X^+)$ . De modo semelhante, quando os íons fluem no sentido espontâneo, a

energia liberada pode ser utilizada para a realização de trabalho (energia disponível). Isto significa que uma diferença de potencial eletroquímico, através da membrana, representa a energia potencial que pode ser utilizada para a realização de trabalho (BERNE e LEVY, 2000).

### B) Equação de “Nernst”

O equilíbrio eletroquímico, ou seja, quando  $\Delta\mu$  é igual a zero, representa um estado em que não existe força efetiva atuando sobre o íon  $X^+$ , deste modo não há movimento deste íon através da membrana. A partir disto se obtém a equação 2, conhecida como Equação de Nernst.

$$RT \ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B} + zF(E_A - E_B) = 0$$

$$E_A - E_B = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X^+]_B}{[X^+]_A} \quad \text{eq. 2}$$

Essa equação é usada para o cálculo da diferença de potencial elétrico,  $E_A - E_B$ , necessária para a produção de força elétrica,  $zF(E_A - E_B)$ , que é igual e contrária à força da concentração,  $\frac{RT}{zF} \ln \frac{[X^+]_A}{[X^+]_B}$  (BERNE e LEVY, 2000). Isto significa que, a partir do equilíbrio eletroquímico entre as faces da membrana celular, pela ação de um campo eletromagnético, podem-se criar desordens nos arranjos iônicos que originarão patologias sistêmicas nos insetos.

A equação prática (eq. 3), calculada a partir de aproximações e conversões, reflete a maioria das condições experimentais em biologia (BERNE e LEVY, 2000). Entretanto, uma das variáveis possíveis de se controlar é a temperatura, pois nas aproximações foi estimado um valor de 29,2 °C. Aumentando ou diminuindo este valor, alteram-se as condições fisiológicas e, conseqüentemente, o potencial elétrico biológico, 60mV, permitindo que diferentes intensidades de campos eletromagnéticos possam agir de forma significativa.

$$E_A - E_B = \frac{60mV}{z} \lg \frac{[X^+]_B}{[X^+]_A} \quad \text{eq.3}$$



### C) Potenciais de repouso da membrana plasmática

Uma perturbação elétrica é a chave para a comunicação entre células neurais. Esta perturbação, denominada de potencial de ação, propaga-se pela membrana plasmática da célula neural induzindo seu funcionamento. Todas as células que produzem potenciais de ação possuem potenciais de repouso da membrana com amplitude significativa (citoplasma negativo) através de sua membrana plasmática (BERNE e LEVY, 2000). Mesmo as células tidas como inexcitáveis, tem um potencial de repouso da membrana negativo, entretanto, com menor amplitude (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

Berne e Levy (2000) explicam que, por convenção, se expressa a diferença de potencial da membrana como o potencial elétrico no citoplasma menos o potencial elétrico do líquido extracelular. Os mesmos afirmam que o valor negativo demonstra que o citoplasma é eletricamente negativo em relação ao líquido extracelular, sendo o potencial de repouso da membrana necessário para que a célula produza potencial de ação.

#### 2.1.3 Geração e condução de potenciais de ação

Os potenciais de ação são provenientes de alterações eletroquímicas de membrana, causados por variações de permeabilidade iônica da membrana, as quais permitem sua propagação sem perda ao longo dos prolongamentos dos neurônios (AIRES, 2008). Ou seja, o potencial de ação é uma variação rápida do potencial de membrana, seguida por retorno ao potencial de repouso da membrana (BERNE e LEVY, 2000). De acordo com o tipo de tecido excitável, o potencial de ação pode apresentar características diferentes.

Entretanto pode-se concluir, para os diferentes tipos, que *“um potencial de ação é propagado com a mesma forma e tamanho ao longo de todo o comprimento de fibra nervosa ou muscular; o potencial de ação é a base da capacidade de transportar sinais das células nervosas; nas células musculares, um potencial de ação permite que todo o comprimento dessas células muito alongadas se contraia de forma quase simultânea; as proteínas dos canais iônicos voltagem-dependentes, na membrana plasmática, são responsáveis pelos potenciais de ação. Os diferentes potenciais de ação, nos diversos tipos celulares, ocorrem porque essas células*

*contêm populações distintas de canais iônicos, dependentes da voltagem*” (BERNE e LEVY, 2000, p.29).

É importante ressaltar que o potencial de ação ocorre por causa dos pulsos de correntes elétricas que afetam a diferença de potencial elétrico, e polaridade, referente ao interior e exterior da célula (BERNE e LEVY, 2000; AIRES, 2008). Quanto mais intensa for a corrente que passa através da membrana plasmática, maior será a variação do potencial de membrana. É demonstrado na figura 5 que, quando o pulso de corrente atinge uma determinada intensidade limiar, a célula produz um potencial de ação (BERNE e LEVY, 2000; COSTANZO, 2011).

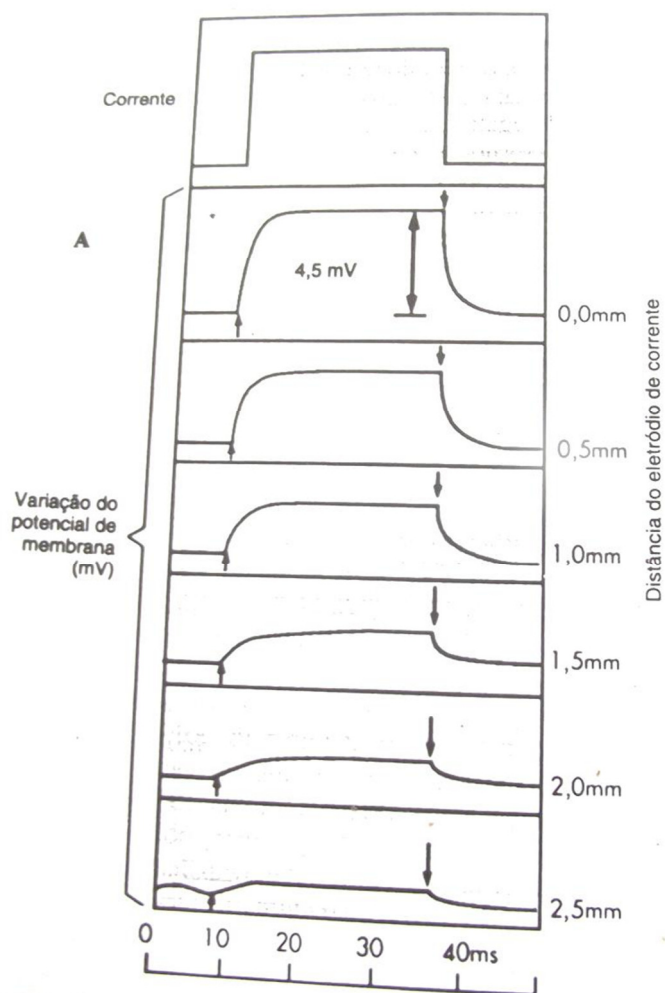


FIGURA 5 – Respostas de axônio de caranguejo a pulsos retangulares de corrente, registradas externamente a ele por meio de eletrodo colocado a diferentes distâncias do eletrodo de passagem de corrente. Fonte: Berne e Levy (2000).

Um aumento da diferença de potencial, tornando o interior da célula mais negativo, é denominado hiperpolarização. Já quando há uma diminuição do potencial de membrana, que torna o interior da célula menos negativo, é denominado despolarização (BERNE e LEVY, 2000; AIRES, 2008). Assim, se pulsos de correntes despolarizantes, com intensidade crescente, forem aplicados à membrana plasmática, será atingido um potencial de membrana limiar, o qual caracteriza o potencial de ação (BERNE e LEVY, 2000). Durante o potencial de ação há uma inversão na polaridade da membrana e esta resposta apenas aparece para pulsos despolarizantes.

A partir da hiperpolarização e da despolarização tem-se as duas formas de sinais elétricos que a membrana neural é capaz de produzir. A primeira forma são os sinais locais, os quais são variações passivas de potencial causadas por correntes de baixa intensidade, que tendem a se dissipar ao longo de distâncias curtas, e cuja amplitude é proporcional à intensidade do estímulo. A segunda, sinais prolongados que estão veiculados pelos potenciais de ação, diferem dos primeiros por várias propriedades. Apenas aparecem a partir da estimulação da membrana com correntes despolarizantes a partir de uma determinada intensidade, sendo esta propriedade denominada limiar de excitabilidade.

Correntes que produzem apenas sinais locais são ditas subliminares, e correntes suficientes para disparar um potencial de ação são chamadas supraliminares. Uma vez atingido o limiar, os impulsos não guardam proporcionalidade com a corrente de estimulação, e se propagam sem alterações apreciáveis de forma e amplitude. Esta propriedade é decorrente da geração de um novo potencial de ação a cada ponto, sucessivamente ao longo da membrana (AIRES, 2008; BERNE e LEVY, 2000).

## 2.2 TEORIA DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO

O eletromagnetismo, como uma das quatro forças fundamentais da natureza, é percebido graças a uma interação entre forças eletromagnéticas, que se comportam de acordo com as regras de um meio, denominado de campo eletromagnético. Deste modo, faz-se importante o conhecimento prévio de alguns conceitos relacionados à base do eletromagnetismo para a compreensão dos efeitos do campo eletromagnético em cupins de madeira seca.

### 2.2.1 Carga Elétrica

É uma propriedade fundamental da Física que funciona como o alicerce das interações eletromagnéticas. Ao contrário da força gravitacional (sempre atrativa), a carga elétrica pode se manifestar de duas formas que, por convenção, denominou-se de positiva ou negativa. Isto levando à possibilidade de atração e repulsão e um estado neutro, normalmente associado à matéria (NUSSENZVEIG, 2007).

A descoberta de dois diferentes tipos de cargas, positiva e negativa, foi realizada de forma experimental por Charles François du Fay em 1733. Através da indução de um desequilíbrio na distribuição de cargas por meio do atrito, eletrização por atrito, du Fay mostrou que duas porções do mesmo material (âmbar) repeliam-se entre si mas, ao mesmo tempo, eram atraídos por outros materiais (vidro eletrizado) (NUSSENZVEIG, 2007). Desta experiência concluiu-se que cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem.

#### A) Carga elementar

Existe na natureza, de acordo com Nussenzveig (2007), um valor mínimo de carga ( $e$ ) referente à carga do elétron ( $-e$ ) e do próton ( $+e$ ). Esta carga foi quantificada em  $1,602177 \times 10^{-19}$  coulombs (C), sendo iguais em módulo nas duas partículas, mas opostas em intensidade, gerando assim os efeitos de atração e repulsão. Todas as partículas, chamadas elementares, carregadas observadas possuem cargas múltiplas e inteiras de ( $e$ ), em geral ( $\pm e$ ).

Sem contradizer este conceito de quantização de carga, o modelo dos quarks define estas partículas elementares como tendo cargas compostas por  $-e/3$  (quark *down*) e  $+2e/3$  (quark *up*). Deste modo, o próton (partícula tipo hádron) seria formado por dois quarks *up* e um *down*, resultando em uma carga  $+e$ . Já o elétron (partícula tipo lépton) é representado como  $q/|e| = -1$  (MENEZES, 2002; NUSSENZVEIG, 2007).

### 2.2.2 Campo Elétrico

Considera-se nos dias de hoje, o campo elétrico ( $E$ ) como sendo um intermediador entre a interação de cargas, fazendo com que a ação entre elas seja como mostrado na figura 6 (HALLIDAY, 1995).



FIGURA 6 – Interação entre cargas elétricas. Fonte: HALLIDAY, 1995.

O campo elétrico, portanto, representa uma força por unidade de carga que atua sobre outra carga ( $q_i$ ), na posição onde está disposta no espaço. Ele pode ser entendido como uma distribuição de cargas no espaço vazio, vácuo, que afeta todos os pontos do espaço, produzindo em cada um destes pontos um valor do campo elétrico. Uma carga de prova ( $q_i$ ) revela a existência deste campo por meio da força sobre ela exercida. Deste modo, o campo elétrico apresenta-se como um campo vetorial que consiste em uma distribuição de vetores ao redor de um objeto eletricamente carregado, conforme figura 7 (HALLIDAY *et al.*, 1995; NUSSENZVEIG, 2007).

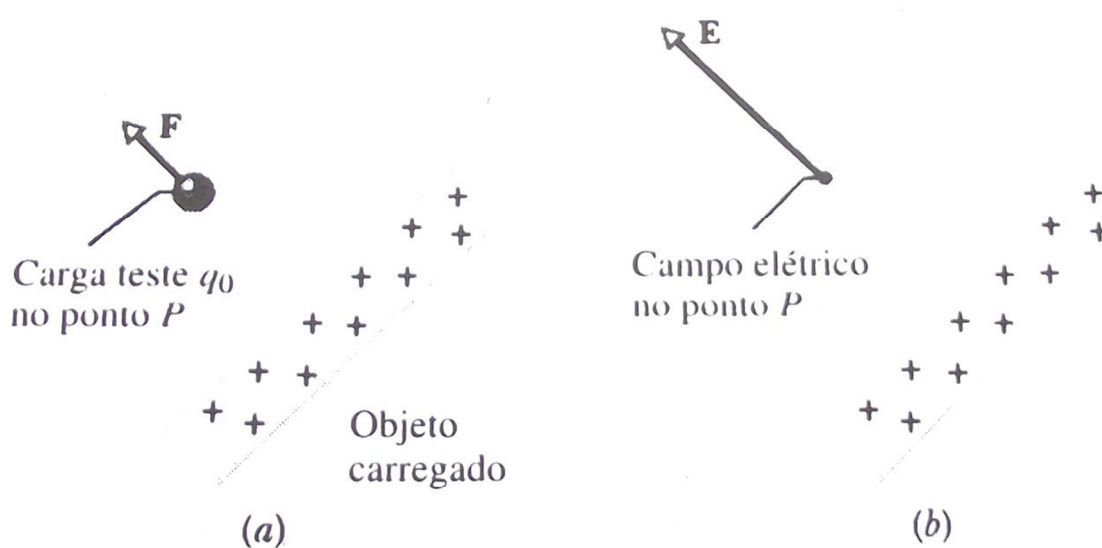


FIGURA 7 – a. Carga de teste positiva colocada num ponto próximo a um objeto carregado. Uma força eletrostática atua sobre a carga teste; b. O campo elétrico criado no ponto P pelo objeto carregado. Fonte: Halliday (1995).

Assim sendo, o campo elétrico se define a partir de uma carga de prova, positiva, colocada em algum ponto próximo de um objeto carregado, podendo ser calculado a partir da força eletrostática ( $F$ ) e a carga ( $q_i$ ), como apresentado na equação 4,

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i \neq j} \frac{q_j}{(r_{ji})^2} \hat{r}_{ij} \quad \text{eq. 4}$$

onde  $E$  é o campo elétrico,  $F$  é a força eletrostática,  $q_0$  é a carga de prova,  $\epsilon_0$  é a permissividade do vácuo e  $r$  é a distância entre as partículas. Embora se empregue uma carga de prova para definir o campo elétrico, o mesmo existe independentemente desta carga (HALLIDAY *et al.*, 1995; NUSSENZVEIG, 2007).

Dois fatores são importantes para a análise da interação do campo elétrico. O primeiro é o cálculo do campo elétrico produzido por uma dada distribuição de carga e, o segundo, é calcular a força que um dado campo exerce sobre uma carga nele colocada (HALLIDAY *et al.*, 1995).

#### A) Linhas de força

As linhas de força ou linhas do campo elétrico ajudam na visualização da configuração dos campos elétricos (HALLIDAY *et al.*, 1995). Por definição, uma linha de força é uma curva tangente em cada ponto à direção do vetor campo elétrico neste ponto. Assim é possível se determinar a direção e o sentido do campo em cada ponto, bastando traçar a tangente à curva e indicar uma orientação sobre cada linha (NUSSENZVEIG, 2007).

Sem discordar, Halliday *et al.* (1995) apresentam duas relações entre linhas do campo e os vetores campos elétricos. A primeira é que em qualquer ponto, a direção de uma linha retilínea do campo ou a direção da tangente a uma linha curva do campo fornece a direção do campo elétrico ( $E$ ) naquele ponto. Já a segunda é que as linhas do campo são desenhadas de modo que o número de linhas por unidade de área de um plano perpendicular às linhas seja proporcional ao módulo do campo elétrico ( $E$ ), como pode ser visto na figura 8.

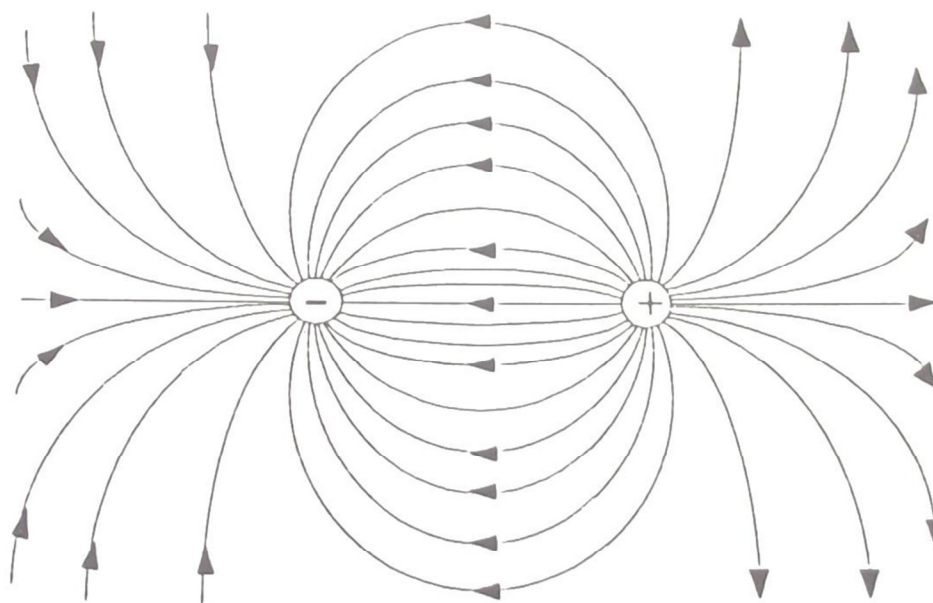


FIGURA 8 - Linhas de força para um par de cargas pontiformes iguais e opostas.  
Fonte: Nussenzveig (2007).

#### B) Energia potencial elétrica

A energia potencial elétrica corresponde a capacidade da força elétrica realizar trabalho (NUSSENZVEIG, 2007). De acordo com o mesmo autor para estabelecer uma determinada configuração de cargas, há necessidade de realização de trabalho contra as forças elétricas entre as cargas. O autor ressalta que considerando a conservação da energia, o trabalho deve ficar armazenado na configuração.

Entretanto, a energia pode ser armazenada de duas formas, sob o ponto de vista da ação à distância ou do ponto de vista do campo. Para a primeira a energia permanece armazenada nas cargas, sob a forma de energia potencial de interação entre elas. Para a segunda, a energia fica armazenada no campo, ou seja, em todo o espaço onde existe campo. Halliday *et al.* (1995) apresentaram a energia potencial de uma carga teste, em qualquer ponto dentro do campo, como sendo igual ao negativo do trabalho realizado sobre a carga teste pelo campo elétrico, quando a carga se move do infinito até o ponto no qual se encontra.

### C) Dipolos elétricos

É definido como um par de cargas de mesma magnitude e sinais opostos,  $q$  e  $-q$ , localizadas em pontos diferentes (NUSSENZVEIG, 2007). Da mesma forma, Halliday *et al.* (1995) apresentaram o dipolo elétrico como duas cargas de mesmo módulo  $q$ , de sinais opostos, separadas por uma distância  $d$ .

Nussenzveig (2007) comentou que pode haver, em dadas situações, distribuição superficial de dipolos, a qual se denomina de dupla camada. O autor ressaltou que este fenômeno ocorre em abundância na natureza e apresentou o exemplo da membrana celular. Segundo o mesmo, a membrana funciona como um isolante que separa o fluido no seu interior do fluido externo. Ambos são soluções salinas diluídas e, mesmo que sejam neutras, a superfície interna da membrana tem um excesso de íons negativos e a superfície externa um excesso de íons positivos. Levando isto em consideração, juntamente com o fato de a membrana ter uma espessura de alguns angstroms (Å), pode-se considerar como modelo de distribuição de cargas sobre ela, uma dupla camada.

#### 2.2.3 Campo Magnético

O campo magnético é oriundo de cargas elétricas em movimento. Esta carga gera um campo elétrico quando em movimento e em repouso, mas esta apenas cria um campo magnético quando em movimento (HALLIDAY *et al.*, 1995). Assim como no campo elétrico, o campo magnético é um meio de interação entre cargas (elétricas), em que se leva em consideração o esquema demonstrado na figura 9.

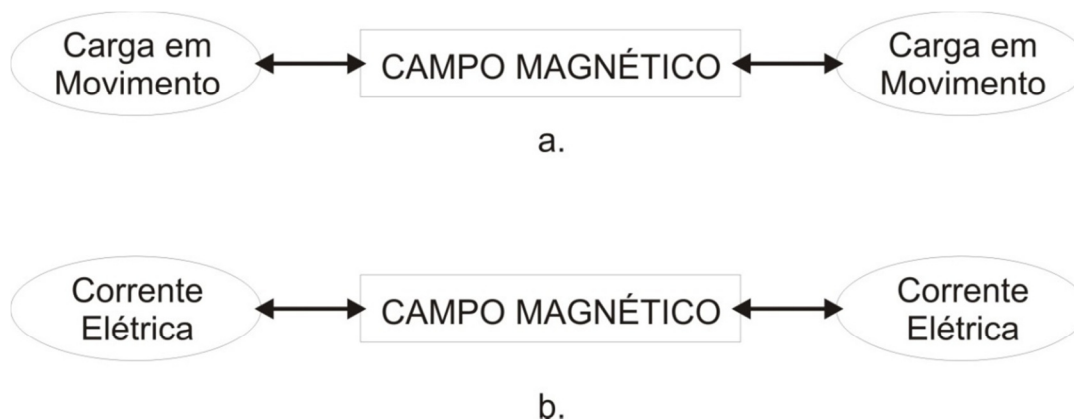


FIGURA 9 – Interação do campo magnético. a. – campo gerado a partir de uma carga elétrica em movimento; b. – campo gerado a partir de corrente elétrica (eletroímã). Fonte: HALLIDAY, 1995.



De acordo com Halliday *et al.* (1995), a partir da figura 10, conclui-se que uma carga em movimento ou corrente cria um campo magnético e se for colocada uma carga em movimento ou fio transportando uma corrente num campo magnético, uma força magnética atuará sobre eles. Ou seja, o campo magnético  $B$  é definido em termos da força magnética exercida sobre uma carga elétrica em movimento (HALLIDAY *et al.*, 1995; NUSSENZVEIG, 2007), sendo esta força calculada a partir da equação 5.

$$F = k q v \times B \quad \text{eq. 5}$$

Onde  $B$  é o campo magnético,  $k$  é uma constante positiva que depende da escolha do sistema de unidades, e  $v$  é a velocidade da partícula de carga  $q$  em relação a um referencial inercial.

Halliday *et al.* (1995) apresentaram cinco resultados com base na equação 5 que auxiliam a compreensão da atuação do campo magnético. O primeiro é que a força magnética sempre atua perpendicularmente ao vetor velocidade. Segundo, um campo magnético não exerce nenhuma força sobre uma carga que se move paralelamente ao campo. Terceiro, o valor máximo da força defletora ocorre quando a carga teste está se movendo perpendicularmente ao campo magnético. Quarto, o módulo da força defletora é diretamente proporcional a  $q$  e a  $v$ . Quanto maior a carga da partícula e mais rápido ela se movimenta, maior será a força defletora magnética. Quinto, o sentido da força defletora magnética depende do sinal de  $q$ .

#### A) Lei de Ampère

Inicialmente desenvolvida por Andre Marie Ampère, a lei de Ampère apresenta relações entre uma distribuição de corrente e o campo magnético que ela gera (HALLIDAY *et al.*, 1995). De acordo com alguns autores como Halliday *et al.* (1995) e Nussenzveig (2007), a lei de Ampère é utilizada no lugar da lei de Biot-Savart por ter uma maior compatibilidade com as outras equações do eletromagnetismo, permitindo a resolução de problemas de campo magnético de altos graus de simetria. Matematicamente a lei de Ampère é representada pela equação 6.

$$\int B \cdot ds = \mu_0 i \quad \text{eq. 6}$$

Onde  $\mu_0$  é permeabilidade magnética no vácuo e  $i$  a corrente elétrica.

A lei de Ampère é aplicada a uma curva fechada denominada curva amperiana (HALLIDAY *et al.*, 1995). Segundo Nussenzveig (2007), estas curvas são as linhas de força magnéticas que são necessariamente fechadas, provavelmente no infinito. Portanto, com base nos resultados de Ampère, a magnitude e orientação da força magnética são proporcionais à intensidade de corrente  $i$  total que atravessa a curva (NUSSENZVEIG, 2007).

#### B) Lei da indução

A lei da indução eletromagnética se baseia na descoberta de Faraday, em 1831, de que uma corrente elétrica é induzida num circuito por meio da variação do fluxo magnético ao seu redor (NUSSENZVEIG, 2007). De acordo com Faraday, a corrente elétrica induzida em um circuito fechado por um campo magnético, é proporcional ao número de linhas do fluxo que atravessa a área envolvida do circuito, na unidade de tempo, equação 7 (HALLIDAY *et al.*, 1995; NUSSENZVEIG, 2007).

$$\oint_C E^e \cdot dl = - \frac{d\Phi_C}{dt} \quad \text{eq. 7}$$

Onde  $\Phi$  é o fluxo do campo magnético através da área delimitada pela curva C.

Para este trabalho, as leis de Ampère e da Indução são de extrema relevância para a compreensão de como o campo eletromagnético interfere no funcionamento do sistema fisiológico dos insetos. Estas leis serão melhores detalhadas na medida em que seus efeitos forem sendo relatados na discussão deste trabalho.

Por causa da particularidade de cálculo dos campos elétrico e magnético as condições de cada sistema, para este trabalho utilizou-se as equações apresentadas por Derby e Olbert (2010) e Mungan (2010).

#### C) Equações para cálculo do campo eletromagnético – condições do trabalho

Para o cálculo do campo elétrico se utilizou a formulação apresentada por Mungan (2010), o qual considerou os eixos cartesianos x, y, z orientados para leste, norte e para cima, respectivamente. O autor supôs ainda que o campo magnético  $B = -B\hat{k}$  é perpendicular ao plano da página tendo seu sentido para dentro da

mesma ao longo do interior de um solenoide. Deste modo, apresenta que a força eletromotriz (fem) induzida pode ser obtida a partir da lei de Faraday, segundo a equação 8, para uma superfície aberta S.

$$\int_{\partial S} E \cdot dr = - \frac{d}{dt} \int_S B \cdot dA \quad \text{eq. 8}$$

O autor escolheu essa superfície por ser um círculo de raio r, e nota-se pela simetria que o campo elétrico deve ser tangencial a ela,  $E = E\hat{\Phi}$ . Assim, para  $r \leq R$ , a equação 8 torna-se, no interior do solenoide (EQUAÇÃO 9),

$$E_{in} 2\pi r = c\pi r^2 \rightarrow E_{in} = \frac{1}{2} cr\hat{\Phi} \quad \text{eq. 9}$$

enquanto que para  $r > R$ , fora do solenóide (EQUAÇÃO 10),

$$E_{out} 2\pi r = c\pi R^2 \rightarrow E_{out} = \frac{cR^2}{2r} \hat{\Phi} \quad \text{eq. 10}$$

Para o campo magnético, Derby e Olbert (2010) apresentaram expressões que consideram um cilindro envolto por um material condutor, se assemelhando a um solenoide. Sendo a origem o centro do solenoide e utilizando-se coordenadas cilíndricas tem-se, as equações 11 a 19,

$$B_z = \frac{\mu_0 n I}{2} \left\{ \frac{z+b}{\sqrt{(z+b)^2+a^2}} - \frac{z-b}{\sqrt{(z+b)^2-a^2}} \right\} \quad \text{eq. 11}$$

$$B_\rho = B_0 [\alpha_+ C(k_+, 1, 1, -1) - \alpha_- C(k_-, 1, 1, -1)] \quad \text{eq. 12}$$

e,

$$B_z = \frac{B_0 a}{a+\rho} [\beta_+ C(k_+, \gamma^2, 1, \gamma) - \beta_- C(k_-, \gamma^2, 1, \gamma)] \quad \text{eq. 13}$$

com,

$$B_z = \frac{\mu_0}{\pi} n I \quad \text{eq. 14}$$

$$z_\pm = z \pm b \quad \text{eq. 15}$$

$$\alpha_\pm = \frac{a}{\sqrt{z_\pm^2 + (\rho+a)^2}} \quad \text{eq. 16}$$

$$\beta_{\pm} = \frac{z_{\pm}}{\sqrt{z_{\pm}^2 + (\rho + a)^2}} \quad \text{eq. 17}$$

$$\gamma = \frac{a - \rho}{a + \rho} \quad \text{eq. 18}$$

$$k_{\pm} = \sqrt{\frac{z_{\pm}^2 + (a - \rho)^2}{z_{\pm}^2 + (a + \rho)^2}} \quad \text{eq. 19}$$

Derby e Olbert (2010) consideraram importante a verificação das situações limite do sistema, assim, compatível com o adotado neste trabalho, têm-se ao longo do eixo do solenoide ( $\rho = 0$ ),  $k_{\pm} = \gamma = 1$  e  $C(1,1,1,1) = \pi/2$ . Assim  $b \rightarrow 0$  com  $2bnI = I_{total}$  finito, o solenóide torna-se um circuito de corrente e as expressões de campo acima com  $0 < b \ll a$  fazem uma aproximação de uma espira. No limite  $b = 0$  tomam a forma, conforme as equações 20 a 22;

$$B_{\rho} = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{I_{total} a z}{[z^2 + (\rho + a)^2]^{3/2}} C(k_1, k_2, -1, 1) \quad \text{eq. 20}$$

e,

$$B_z = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{I_{total} a (\rho + a)}{[z^2 + (\rho + a)^2]^{3/2}} C(k_1, k_1^2, 1, \gamma) \quad \text{eq. 21}$$

onde,

$$k_1^2 = \frac{z^2 + (a - \rho)^2}{z^2 + (a + \rho)^2} \quad \text{eq. 22}$$

Finalmente, para grandes distâncias do solenoide ( $r \gg a, b$ ), o campo é reduzido ao campo de um dipolo magnético, conforme equações 23 e 24;

$$B_{\rho} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{3\rho z}{r^5}, \quad B_z = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{(2z^2 - \rho^2)}{r^5} \quad \text{eq. 23}$$

com

$$r^2 = \rho^2 + z^2 \quad \text{eq. 24}$$

### 2.3 CUPINS - ORDEM ISOPTERA

Os insetos pertencentes a esta ordem têm cabeça livre, com forma e tamanho variáveis dependendo da espécie e também nas diferentes castas (ou formas) de

uma mesma espécie. Nos indivíduos alados geralmente se encontram presentes olhos facetados e nas formas ápteras, quando presentes, são atrofiados. Possuem antenas simples, cujos segmentos variam, dentre as castas, de 9 a 32 segmentos sub-iguais, inseridas aos lados da cabeça numa depressão pouco profunda acima da base da mandíbula. Possuem aparelho bucal mastigador, com mandíbulas normalmente bem desenvolvidas e por vezes, como no caso dos soldados, robustas, conspícuas ou mesmo disformes. Possuem palpes maxilares longos de cinco segmentos e labiais de três (SANTOS, 1982).

Apresentam três pares de patas, e todas elas são cursoriais. Os indivíduos reprodutores adultos possuem dois pares de asas sub-iguais e membranosas. Próximo à base das asas há uma sutura curvada, ponto este onde a asa se rompe ao se destacar do corpo após a revoada. Seu abdome é volumoso, aderente ao tórax, de 10 segmentos que apresenta o último par de cercos curtos (SANTOS, 1982).

Os cupins são insetos hemimetábolos, eusociais e predominantemente tropicais (LEPAGE *et al.*, vol. I, 1986). Suas castas ou formas são divididas em três grupos, sendo eles o rei e rainha da colônia, os operários e os soldados. Algumas espécies podem possuir também os nasutos, que possuem a mesma função dos soldados (ROCHA, 2001).

Os cupins são divididos em três grupos, sendo classificados de acordo com seus hábitos. O primeiro destes grupos é o dos cupins de madeira úmida, que se caracterizam por ataque a madeiras com alto teor de umidade e desenvolvem-se melhor em madeiras em condições abafadas e já apodrecidas. O segundo grupo é o dos cupins subterrâneos, que se caracterizam por formarem suas colônias no solo. Fazem isto por não possuírem um revestimento de quitina, que os torna vulneráveis a baixa umidade. Deste modo, desenvolvem-se em condições de elevada umidade, como o subsolo. Entretanto, estes insetos podem atacar madeira seca, mas necessitam construir túneis de barro e outros materiais para manter em seu interior a umidade requerida para o seu metabolismo. O terceiro grupo é o dos cupins de madeira seca, que se caracterizam por atacarem madeiras com baixos teores de umidade. Por causa da sua maior resistência a variação de umidade, estes insetos podem ser encontrados em diversos tipos de habitat (móveis, pisos, janelas e elementos estruturais) e permitem-se desenvolver a colônia na própria peça de madeira atacada (SANTOS, 1982; ROCHA, 2001).

Segundo Lepage *et al.* (vol. I, 1986), a ordem Isoptera contém mais de duas mil espécies distribuídas em sete famílias, dentre as quais quatro podem ser encontradas no Brasil. Estas famílias são Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae, sendo esta última ocorrendo apenas no Brasil e possui apenas uma espécie. Os insetos utilizados neste trabalho foram da espécie *Cryptotermes brevis* que, ainda de acordo com Lepage *et al.* (1986), vivem exclusivamente dentro da madeira da qual retiram seu alimento. As colônias da família Kalotermitidae são pouco populosas, contendo alguns milhares de indivíduos e suas galerias são apenas escavadas na madeira.

#### 2.4 Métodos de Tratamentos

Os tratamentos de madeira têm como objetivo aumentar a durabilidade de uma peça de madeira em uso, visando o combate a agentes externos, denominados de agentes xilófagos. Existem três grandes grupos de tratamentos em que, os mesmos, são classificados de acordo com o tipos de aplicação, produto e finalidade. Estes grupos são os métodos preventivos, curativos e tratamento químico de solo (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986; ROCHA, 2001).

Os métodos preventivos buscam evitar que a madeira venha a sofrer um ataque biológico e envolvem processos de preservação temporários e de longo prazo, em que os produtos químicos são incorporados à madeira sem modificá-la em sua natureza intrínseca, ou reagindo com os componentes poliméricos da parede celular (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986).

Os métodos curativos são utilizados quando a peça de madeira em uso já está sob um ataque ativo e processo de deterioração instalado e seu objetivo é deter este processo, conferindo proteção à peça para que não haja reincidência de ataque do agente xilófago (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986; MORESCHI, s/d - b). As técnicas utilizadas para este tratamento são para controlar a ação de biodeterioradores e se baseiam no uso de produtos químicos biocidas com boa persistência (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986).

O tratamento químico de solo visa criar uma barreira química na região superficial do solo sob a edificação, com o intuito de impedir o acesso de agentes xilófagos, em especial os cupins subterrâneos, ao interior da construção (LEPAGE *et al.*, vol. II, 1986).

Todos estes métodos e produtos químicos podem ser substituídos, ou utilizados em conjunto, pelo método proposto de campo eletromagnético, contanto que se façam as devidas adequações ao propósito, seja em um pátio de toras, de secagem de madeira serrada, um mobiliário com infestação ativa ou mesmo tratamento de solo, por intermédio de uma barreira formada por um campo induzido em uma dada região no solo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os ensaios foram realizados em um ambiente adaptado para as condições dos testes, que incluíram a mínima interferência eletromagnética externa e condições de clima controlado (descrito no item 3.4.2, Teste de Sensibilidade ao Campo Eletromagnético) (FIGURA 10). Este ambiente consistiu em uma sala, de 1,56 m<sup>2</sup> (1,20 x 1,30 m), localizada em uma residência particular, na região de Curitiba, Paraná, concedida pelos proprietários para a realização desta pesquisa.



FIGURA 10 – Sala de testes. Fonte: Autor, 2012.

A sala de testes não possuía nenhum tipo de equipamento elétrico, estando em seu interior apenas os materiais utilizados nos testes. A sala foi construída longe das instalações elétricas da residência e sua estrutura era composta de material do tipo *dry wall*.



## 3.2 ELETROIMÃ

### 3.2.1 Estrutura e Composição

O eletroímã foi construído a partir de um núcleo composto por vergalhões de ferro envernizados, com 10 mm de diâmetro, dispostos no interior de um tubo de PVC (policloreto de vinila), com 10 cm de raio e 18 cm de comprimento (FIGURA 11). Os vergalhões foram escolhidos por causa do pequeno diâmetro, e posteriormente envernizados, com o intuito de minimizar os efeitos das correntes de *Foucault*. Foram feitas 300 espirais, revestindo externamente o tubo de PVC, utilizando-se um fio de cobre encapado de 25 mm<sup>2</sup> de seção transversal. As dimensões foram calculadas a partir da figura 11-a, buscando maximizar a indução magnética.

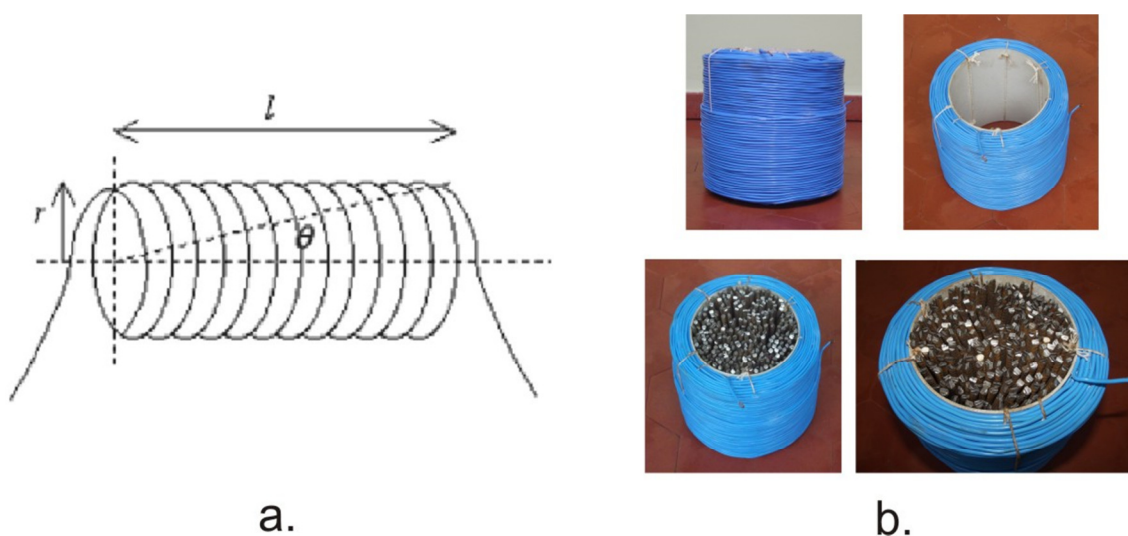


FIGURA 11 – a - Elementos de uma bobina de um eletroímã. b – Eletroímã construído. Fonte: Autor, 2012.

A fonte de alimentação foi a rede de distribuição de energia de Curitiba, com tensão nominal de 127 V e frequência de 60 Hz, sendo estes valores escolhidos pela facilidade de disponibilidade para aplicações posteriores. No circuito do eletroímã foram distribuídas em série seis lâmpadas de 200 W de potência cada, como resistências limitadoras, para evitar que uma corrente muito intensa circulasse pela bobina (FIGURA 12 - a). Além de limitar a corrente, as lâmpadas forneceram um valor de referência para o cálculo do campo (FIGURA 12 – b). Estas lâmpadas

também foram inseridas no experimento de forma que indicassem o funcionamento do equipamento e permitissem o controle da intensidade da corrente e do campo eletromagnético.

As lâmpadas foram dispostas em paralelo umas com as outras, permitindo o funcionamento independente entre si (FIGURA 12 - a e b). Entretanto, uma das lâmpadas sempre permaneceu associada ao circuito servindo como uma resistência de segurança para o eletroímã. Também, por critérios de segurança, foi inserido ao circuito um disjuntor de 10 A.

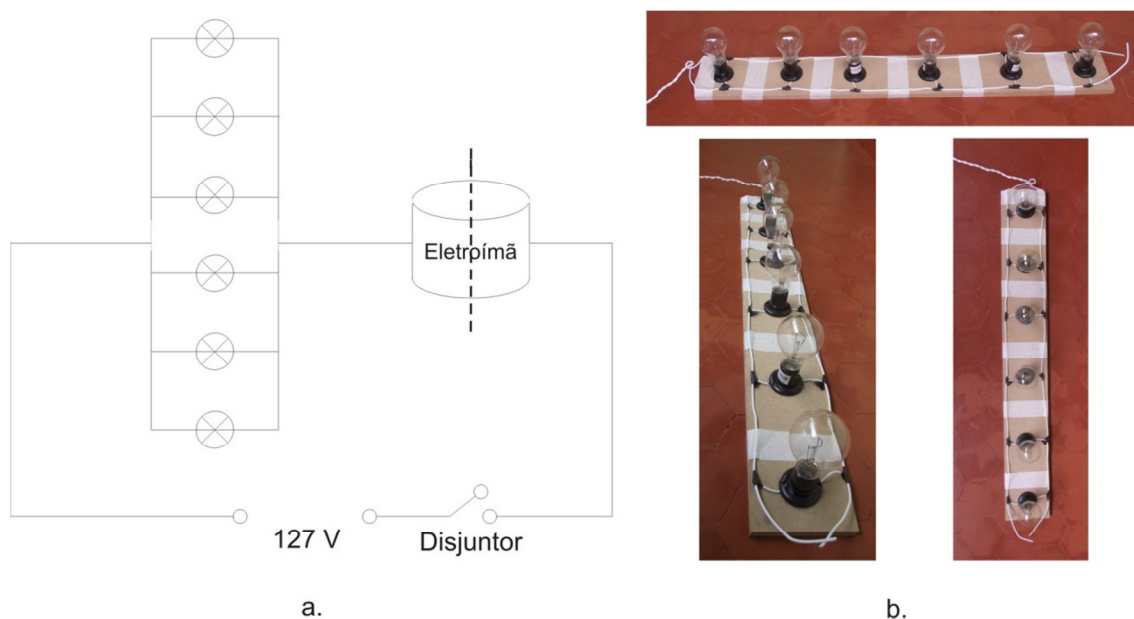


FIGURA 12 – a – Esquema elétrico do eletroímã instalado. b – Detalhe da resistência – Lâmpadas limitadoras de corrente. Fonte: Autor, 2012.

### 3.2.2 Instalação do Eletroímã

Para a realização dos testes, o eletroímã foi fixado no interior de uma caixa, com dimensões de 70 x 70 x 80 cm, tendo cinco de suas superfícies compostas por madeira reconstituída (MDF, *Medium-Density Fiberboard* ou chapa de fibras de média densidade) e uma de vidro, para facilitar as observações (FIGURA 13).



FIGURA 13 – Caixa de teste. Fonte: Autor, 2012.

O intuito da caixa de teste foi delimitar uma área para estudo, na qual havia a atuação do campo eletromagnético, assim, sendo possível descrever as linhas de campo magnético na região e sua forma de atuação. Outra questão relevante foi o controle das condições internas da caixa de teste, permitindo uma condição favorável aos cupins, garantindo-lhes umidade relativa adequada e proteção contra luz (nos períodos de não observação).

### 3.3 ESPÉCIE DE CUPIM UTILIZADA

Os insetos xilófagos escolhidos para a execução desta pesquisa foram os cupins da família Kalotermitidae, gênero *Cryptotermes* e espécie *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853), identificados no Departamento de Entomologia da Universidade Federal do Paraná, provenientes de uma colônia situada na região de Curitiba, Paraná.

### 3.4 TESTES DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS

Para a determinação dos efeitos de um campo eletromagnético sobre os insetos estudados, foram realizados três tipos de ensaios. Os ensaios foram

desenvolvidos a partir de um campo eletromagnético conhecido (intensidade e configuração), conforme as especificações anteriormente descritas sobre a composição do eletroímã e a área de atuação das linhas de campo (limites da caixa onde o mesmo foi instalado).

Os três testes objetivaram analisar o comportamento dos cupins sem a influência do campo eletromagnético e, posteriormente, com a influência deste campo de forma a determinar a sensibilidade dos indivíduos e, ainda, estimar as intensidades de campo eletromagnético para um tratamento eficiente, podendo ser ele curativo ou preventivo.

### 3.4.1 Teste Padrão de Comportamento dos Cupins

Este teste teve como objetivo determinar um padrão de comportamento para os insetos, de modo que se pudesse avaliar os efeitos causados pelo campo eletromagnético no grupo de cupins como um todo e de forma individual.

Para estimar um padrão de comportamento foi utilizada a metodologia apresentada por Giovanella (2009 a, pg. 48), adequando-a às condições do teste deste trabalho. Deste modo, foram consideradas duas amostras com seis indivíduos cada, as quais foram observadas durante um período de 24 horas. Na primeira hora, foram realizadas observações de cinco em cinco minutos e na segunda e terceira hora em intervalos de 10 minutos. Da quarta a oitava hora, as amostras foram observadas a cada hora e, na nona hora, de 10 em 10 minutos. Nas 14 horas seguintes foram realizadas observações de duas em duas horas e posteriormente, completando o período de tempo estipulado, foi realizada uma observação na 24<sup>a</sup> hora. A figura 14 apresenta de forma esquemática esta sequência de observações.

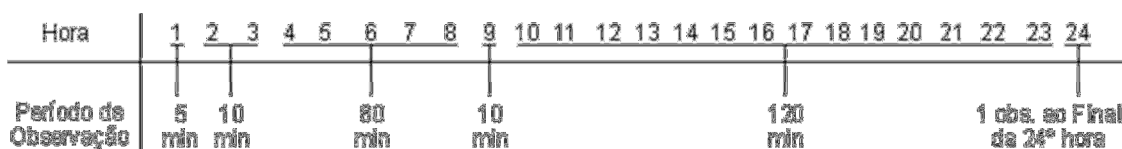


FIGURA 14 – Esquema de observação para o Teste Padrão de Comportamento dos Cupins.

Foram adotadas duas metodologias de observação, na sequência do teste, para a classificação do comportamento dos insetos estudados. A primeira, com o intuito de analisar os indivíduos dentro do grupo amostral, seguiu conforme o modelo de teste descrito por Giovanella, (2009 a), sendo a classificação do comportamento padrão apresentado no quadro 1. Em cada observação, os insetos foram classificados como apresentando um dos tipos de atividades descritas. Isto foi realizado para que se pudesse construir uma curva de atividade dos insetos, permitindo estimar um comportamento padrão para os mesmos.

QUADRO 1 – Classificação das atividades e comportamento dos cupins *Cryptotermes brevis* – Método de grupo. Fonte: GIOVANELLA, 2009 (a).

Atividade e comportamento dos cupins
Parados
Lento/ Moderado
Acelerado/ Agitado

A segunda metodologia, com o objetivo de analisar os efeitos individuais em cada inseto, seguiu o padrão de comportamento apresentado no quadro 2. A verificação da forma com que os indivíduos se movimentavam, não apenas em termos de deslocamento, mas também na maneira de interagir com o meio foi imprescindível para avaliar os possíveis efeitos do campo eletromagnético nos testes subsequentes.

As observações foram realizadas de acordo com as condições do experimento, ou seja, seguiu a montagem experimental, descrita a seguir, subitem 3.4.2.

### 3.4.2 Teste de Sensibilidade ao Campo Eletromagnético

O objetivo deste teste foi verificar como o campo eletromagnético poderia afetar o organismo dos insetos testados. De acordo com a equação de Nernst (eq. 2) e a teoria envolvida em seu desenvolvimento, foi considerada a variação de temperatura do meio para potencializar os efeitos do campo eletromagnético, a partir da alteração do potencial elétrico biológico.

Foram consideradas cinco classes de temperaturas, sendo a primeira uma temperatura padrão ambiente definida pela média anual, num período de cinco anos (janeiro de 2006 a outubro de 2010) da cidade de Curitiba, Paraná (ANEXO I). As outras quatro classes foram definidas com base na temperatura média padrão, sendo duas em limites próximos e duas em limites extremos, conforme o quadro 3.

QUADRO 2 – Classificação das atividades e comportamento dos cupins *Cryptotermes brevis* – Método individual.

Atividade e comportamento dos cupins				
Parte do Segmento Analisada	Efeito Associado			
	1	2	3	4
Cabeça				
Tórax		Movimentos	Movimentos	Movimentos
Abdômen	Imóvel	Lentos	Rápidos	Descontrolados (ato de tremer)
Antenas				
Pernas				

QUADRO 3 – Temperatura ambiente (°C) e umidade relativa (%) dos testes de sensibilidade ao campo eletromagnético.

Classe de Temperatura	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Temperatura Padrão	18	84
1	11	84
2	25	84
3	0	84
4	50	84

As temperaturas adotadas nas classes 1 e 2 foram definidas buscando uma diferença em relação à temperatura padrão dentro de variações possíveis de serem encontradas nas mais diversas localidades, bem como, sendo valores não tão próximos, permitindo verificar alterações sensíveis no potencial elétrico biológico por meio de diferenças no padrão de comportamento. As temperaturas definidas para as classes 3 e 4, buscaram situações extremas para a vida dos insetos, entretanto,

dentro da realidade encontrada em circunstâncias do cotidiano em exportações ou importações, como no compartimento de carga de aviões e no interior de containeres, bem como em regiões de clima mais agressivo onde a peça de madeira pode estar em uso sob quaisquer extremos de temperatura. Da mesma forma que nas classes 1 e 2, o principal objetivo destas temperaturas foi determinar a influência da variação deste parâmetro no efeito do campo eletromagnético sobre os insetos, sendo este, resultado direto da alteração do potencial elétrico biológico.

Para o controle das temperaturas mais altas foi utilizado um aquecedor com 1500 W de potência, o qual possuía a função de funcionamento intermitente e outro aquecedor, com 1500 W de potência (tensão de 127 V e frequência de 60 Hz) com um termômetro digital e termostato. A temperatura foi controlada também com o auxílio de um termômetro de bulbo. Os testes com temperaturas mais baixas foram realizados em dias mais frios, sendo planejados mediante análise do clima com informações fornecidas pelos centros de meteorologia da região, com ajuste de temperatura com os aquecedores mencionados para o tratamento 1 (11 °C) e, para o tratamento 5 (0 °C), com a utilização de gelo na região externa da caixa de teste.

Outro fator que foi levado em consideração para esta fase do experimento foi a umidade relativa do ar. Utilizou-se a umidade relativa média, num período de cinco anos (janeiro de 2006 a outubro de 2010) da cidade de Curitiba, Paraná (ANEXO II), para todas as temperaturas avaliadas, conforme quadro 3. O valor encontrado foi utilizado em todos os testes a fim de proporcionar um ambiente não hostil aos insetos utilizados e, dentro da caixa de teste, utilizou-se ainda papel de filtro umedecido como revestimento da face inferior interna (onde os insetos foram colocados). O controle de umidade foi realizado utilizando dois umidificadores.

Para este teste foram utilizados o eletroímã construído e a caixa de teste, sendo o eletroímã instalado no interior da mesma, conforme a figura 15.

Foram retiradas, por amostragem aleatória simples, 25 amostras com quatro indivíduos cada, os quais foram expostos ao campo eletromagnético nas diferentes classes de temperatura. Para cada classe de temperatura foram realizadas cinco repetições por causa do número reduzido de indivíduos por amostra. Foram escolhidos quatro indivíduos por amostra por duas razões. A primeira, pela atenção necessária para avaliar nos insetos, de maneira individual e em cada segmento, o efeito do campo eletromagnético (QUADRO 2) e a segunda, em consequência dos insetos terem sido coletados de uma única colônia e esta quantidade foi definida

partir do tamanho da colônia (pequena e potencialmente com poucos indivíduos) e o número de testes realizados.



FIGURA 15 – Eletroímã instalado no interior da caixa de teste. Fonte: Autor, 2012.

O tempo de exposição ao campo eletromagnético foi de 60 minutos ininterruptos e o mesmo inseto não foi exposto a mais de uma classe de temperatura. A intensidade utilizada para o campo eletromagnético, para todos os testes, foi a máxima, segundo as propriedades do eletroímã construído.

As observações ocorreram em intervalos de cinco minutos, iniciando no momento em que os insetos foram expostos ao campo eletromagnético. Para auxiliar as observações foi utilizado o recurso de filmagem, deste modo permitindo uma avaliação mais fiel ao tempo proposto e eliminando falhas na classificação de padrão de comportamento por eventual dúvida. Após a exposição ao campo eletromagnético, foram realizadas observações em intervalos de uma hora, num período total de 24 horas e mais duas observações realizadas 48 e 72 horas após o teste.

### 3.4.3 Teste de Variação da Intensidade do Campo Eletromagnético

A partir dos resultados do teste anterior foi possível estimar o potencial de interação do campo eletromagnético sobre o organismo dos insetos testados. Deste modo, este teste teve como objetivo determinar os diferentes efeitos a partir de



intensidades diferentes de campo, permitindo assim estimar uma faixa ótima de intensidade a ser recomendada em aplicações práticas de tratamento, tanto curativos como preventivos.

Para este teste foi utilizada a condição ambiente considerada padrão, temperatura de 18 °C e umidade relativa de 84%. Foram utilizadas as mesmas metodologias de amostragem do teste anterior, sensibilidade ao campo eletromagnético, ou seja, o mesmo número de amostras, forma de amostragem e observações.

Foram analisadas cinco intensidades de campo eletromagnético, não sendo considerada a intensidade máxima, pois esta foi avaliada no teste anterior. Deste modo, obtiveram-se seis resultados comparativos para discussão. As intensidades foram classificadas de acordo com o quadro 4 e foram obtidas por meio da retirada do circuito de uma lâmpada por classe.

Este teste, em conjunto com o anterior, permitiu discorrer sobre a associação das variáveis em relação ao campo eletromagnético e seus efeitos conjuntos sobre o organismo dos insetos testados. As variáveis temperatura e intensidade de campo permitiram determinar o grau e a forma de influência, por intermédio de cruzamentos de informações obtidas nos conceitos definidos pela fisiologia do funcionamento dos sistemas dos insetos e a visualização prática, dada pela experiência proposta.

QUADRO 4 – Intensidade da corrente elétrica no eletroímã para cada classe do campo eletromagnético, desprezando a resistência ôhmica do fio da bobina.

Classe Campo Eletromagnético	Corrente Elétrica i (A)
Máxima	9,42
1	7,85
2	6,28
3	4,71
4	3,14
5	1,57

Para o cálculo do campo eletromagnético foi utilizado o programa MathCad 11 com base no desenvolvimento teórico e o algoritmo apresentado por Derby e Olbert (2010).

### 3.5 Análise Estatística

Para este trabalho foi utilizada o método de análise de estatística descritiva, principalmente sob os conceitos de gráficos descritivos, descrição tabular e descrição paramétrica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TESTE PADRÃO DE COMPORTAMENTO DOS CUPINS

De acordo com o observado no teste padrão de comportamento dos cupins, a movimentação percebida nas observações ao longo das 24 horas, segundo o método de atividade em grupo, foi que 50% dos insetos testados encontraram-se parados quanto a posição e os outros 50% mantiveram-se em movimento, sendo 42% em atividade lenta ou moderada e 8% em ritmo acelerado, conforme tabela 1.

TABELA 1 – Distribuição do padrão de comportamento dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* observados ao longo de 24 horas para o teste padrão de comportamento dos cupins - Método de Grupo.

Tipo de Atividade	Número Médio de Cupins	%	Desvio Padrão
Parados	6	50	2,53
Lenta/ Moderada	5	42	2,27
Acelerado/ Agitado	1	8	0,82
Total	12	100	

Estes resultados divergem dos encontrados por Giovanella (2009 a), em que 75% dos cupins encontraram-se parados e 25% em atividade, com 17% em movimentação lenta ou moderada e 8% acelerado ou agitado. Esta variação ocorreu principalmente por causa das características do recipiente de teste e suas condições ambientes. No presente trabalho o recipiente de teste foi fechado, sendo constituído por uma caixa onde cinco faces eram de madeira reconstituída e uma de vidro, permitindo uma maior proteção a variações sensíveis potencialmente hostis. O recipiente utilizado por Giovanella (2009 a) foi constituído por um cubo onde todas as faces eram de tecido (tule), dificultando a mobilidade dos cupins e permitindo que qualquer variação ambiente fosse sentida pelos mesmos.

Além destas características, as dimensões do recipiente de teste e sua estabilidade foram diferentes. O cubo utilizado no trabalho de Giovanella (2009 a) possuía 15 x 15 x 15 cm e permanecia suspenso por um fio, permitindo refletir em seu todo as variações de pressão oriundas da caixa acústica. Já no presente, a

caixa teste tinha dimensões de 70 x 70 x 80 cm e teve sua estrutura apoiada solidamente no chão, deixando-a estável e protegendo seu interior de pequenas variações ambientais. Outro fator relevante é que as condições climáticas, temperatura e umidade, para o presente teste foram controladas com um rigor não existente no teste realizado por Giovanella (2009 a), em que apenas houve a preocupação com a manutenção da umidade mínima para as condições básicas dos cupins.

Com base nas observações, pôde-se perceber que os cupins foram diminuindo sua atividade, em termos de movimentação, ao longo do tempo, conforme pode ser visualizado na figura 16. Foi verificado, nas duas repetições, que todos os cupins apresentaram movimento relativo a deslocamento, e que a tendência do grupo foi de atividade a repouso na medida em que o estresse da alteração de ambiente (saída da colônia) foi sendo minimizado juntamente com o reconhecimento do espaço.

Percebeu-se também que a luz teve forte influência no padrão de movimentação dos cupins e, quanto maior o tempo de exposição a ela, mais agitados os cupins se tornaram. Pode-se verificar este fenômeno na figura 16, em que no início da curva se tem uma alta taxa de atividade até os 60 minutos, quando as observações foram realizadas em intervalos de cinco minutos e a luz permaneceu ligada por todo este período. A partir deste tempo as observações passaram a ser em intervalos de 10 minutos e a luz passou a ser desligada entre estes intervalos, sendo este processo repetido até os 180 minutos.

Como pode ser visto na figura 17, a partir dos 80 minutos a atividade dos cupins começou a se reduzir drasticamente, passando de 58 a 8 por cento, e apresenta-se este fenômeno como a associação de dois fatores, a diminuição ou término do estresse e menor exposição à luz. Na sequência, em que as observações foram realizadas de hora em hora, a atividade dos cupins foi diminuindo até que os testes retomaram os intervalos de 10 minutos no tempo de 480 minutos, fazendo com que a atividade tenha se elevado repentinamente, conforme queda observada na curva da figura 16.

Foi percebido que a movimentação ocorreu, inicialmente, de forma aleatória, em que os cupins andaram pela base do recipiente de teste sem uma trajetória definida. Entretanto, com o passar do tempo e encontrando as regiões de limite da superfície, as paredes, os mesmos começaram a subir e a explorar também as faces

laterais do recipiente de teste, chegando inclusive a tocar no vidro com suas patas e antenas, numa aparente tentativa de análise e troca de superfície. Um fato que chamou atenção foi que na segunda repetição do teste, os cupins tenderam a fazer a mesma trajetória dos cupins do teste anterior, levando a concluir que os primeiros utilizaram feromônios de trilha para marcar seu percurso.

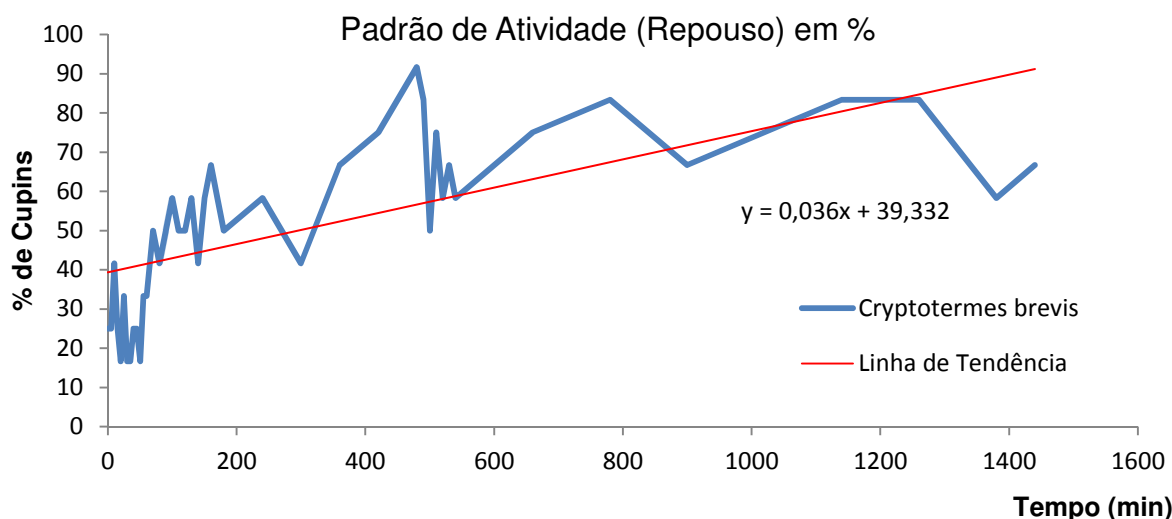


Figura 16 – Tendência de repouso de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* em função do tempo - Método de grupo.

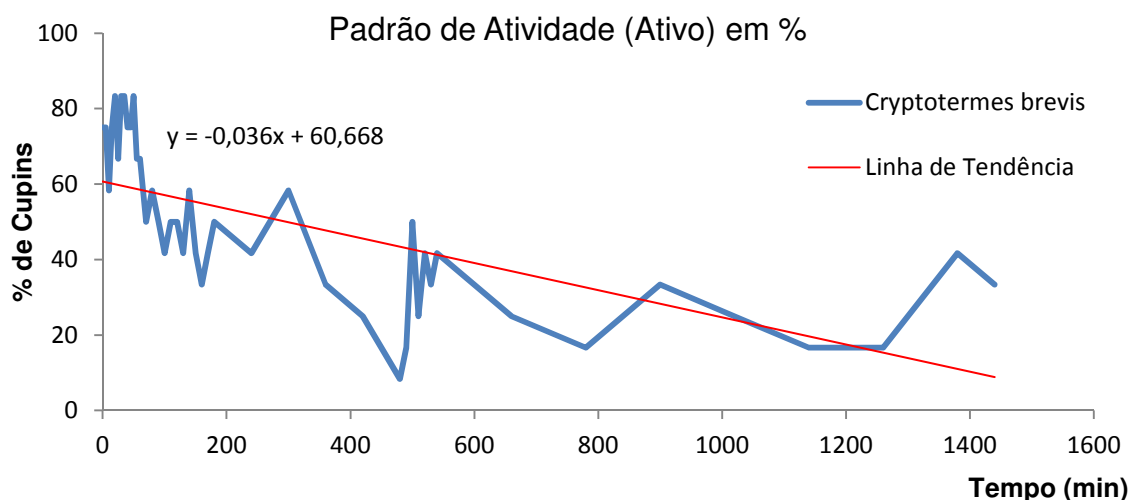


Figura 17 – Tendência de atividade de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* em função do tempo - Método de grupo

Como pode ser visto na figura 18, os cupins da primeira repetição mantiveram uma taxa de atividade, quanto ao deslocamento, mais elevada e constante ao longo da primeira hora de teste. Isto significa que estes insetos se movimentaram mais,

possivelmente em busca do reconhecimento da área a que foram expostos. Já os cupins da segunda repetição, tiveram uma mobilidade menor e com variações significativas em pequenos intervalos de tempo. Isto ocorreu, possivelmente pela percepção e identificação do feromônio liberado pelos primeiros. Esta última afirmação tem como base, considerando o método individual de análise, que os cupins da segunda repetição tiveram uma menor mobilidade em suas antenas, aparentemente percebendo algo que os levou a uma movimentação menos desorientada que os primeiros cupins testados e coincidente em trajetória, como já mencionado.

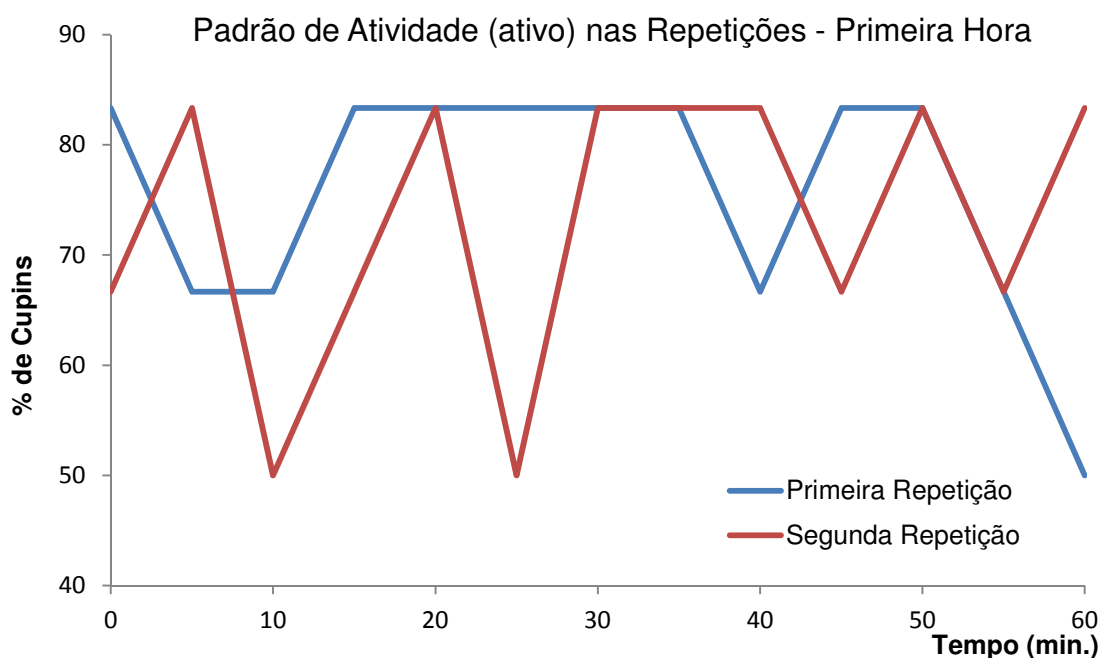


Figura 18 – Primeira hora de atividade dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* em função do tempo para as duas repetições - Método de grupo.

De acordo com as observações, nos dez primeiros minutos a atividade das antenas dos cupins testados na primeira repetição foi mais intensa, indicando que buscavam por referências no espaço, a qual foi encontrada apenas pelo segundo grupo, justificando uma menor atividade deste apêndice móvel. No passar do tempo, os cupins do segundo grupo continuaram a usar suas antenas para obterem orientação de acordo com a movimentação do primeiro grupo, mas quando já haviam explorado grande parte do recipiente de teste, passaram a criar uma

movimentação própria e independente da relação com os do grupo anterior. Este fato corresponde ao aumento de atividade observado, tanto no apêndice móvel (antena), quanto nos outros segmentos analisados.

Pelo método de análise individual, percebeu-se que os cupins tendem a se movimentar em harmonia, ou seja, quando se comportam de forma agitada em deslocamento, tendem a refletir isto em seus segmentos e apêndices. Da mesma forma, quando estão em deslocamento lento ou parados, tendem a movimentar menos as partes de seus corpos. Entretanto, foi verificado que, em alguns momentos, houve divergências nesta harmonia, sendo normalmente associada a padrões de comportamento bem definidos (TABELA 2).

TABELA 2 – Padrão de comportamento dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis*, com associação do Método de grupo e individual. Fonte: Autor.

Comportamento	Característica
Repouso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há deslocamento;</li> <li>- Não há movimentação de segmentos;</li> <li>- Nenhuma (ou pouca) movimentação de antenas e patas.</li> </ul>
Alerta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há deslocamento;</li> <li>- Movimentação, de leve à moderada, dos segmentos;</li> <li>- Elevada atividade das antenas, podendo haver movimentação, de leve à moderada, das patas do protórax.</li> </ul>
Atividade 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deslocamento (moderado ou acelerado);</li> <li>- Movimentação dos segmentos (de leve à intensa);</li> <li>- Movimentação moderada das antenas.</li> </ul>
Atividade 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há deslocamento;</li> <li>- Intensa movimentação de cabeça;</li> <li>- Movimentação moderada (ou intensa) das antenas, podendo haver movimentação leve das patas do protórax;</li> <li>- Atividade de aparelho bucal.</li> </ul>

Em resumo, segundo as observações realizadas para as condições do teste, percebeu-se que os cupins apresentaram como forma de comportamento normal um estado que tende ao repouso com o passar do tempo e uma harmonia na movimentação do corpo de acordo com seu estado de deslocamento. Entretanto,

não houve predominância em característica de deslocamento no método de grupo. Em nenhuma observação se verificou um estado considerado descontrolado e pouca ocorrência de movimentos rápidos na análise da movimentação do corpo dos insetos, conforme descrito no quadro 2.

#### 4.2 TESTE DE SENSIBILIDADE AO CAMPO ELETROMAGNÉTICO

Para todos os tratamentos (temperaturas), foram observados fenômenos de alterações fisiológicas oriundas da exposição dos insetos ao campo eletromagnético. Algumas disfunções com origem na atuação do campo elétrico e outras no campo magnético. Para melhor compreensão destes resultados e efeitos associados, os tratamentos são apresentados separadamente.

Todos os tratamentos foram realizados em condições de temperatura e umidade controladas, conforme apresentado no quadro 3 (ideal), mas com algumas variações ao longo do tempo de teste (TABELA 3). Estas variações aconteceram em decorrência da sensibilidade dos sensores dos equipamentos utilizados para a climatização da sala de teste, em relação a temperatura e umidade relativa ambiente no momento dos testes.

As variações percebidas em temperatura não demonstraram diferença significativa em relação à situação de estresse sofrida pelos insetos. Segundo Schmidt-Nielsen (2002), a faixa de temperatura que mais pode gerar danos e situações de desconforto, inclusive podendo ser a temperatura letal para vários organismos, é de 45 a 55 °C. Portanto, a variação verificada no tratamento 4 mostrou-se dentro desta faixa crítica. O mesmo autor cita que o regime de temperatura normal para a maioria dos organismos varia de 5 a 40 °C, pois temperaturas inferiores ou superiores a estes limites necessitam de adaptações específicas, que não apenas a alteração da taxa metabólica. Assim, os tratamentos padrão, 1 e 2, estão dentro dos limites de tolerância dos insetos testados, mesmo em suas variações.

Schmidt-Nielsen (2002) cita ainda que, para temperaturas de 0 °C (tratamento 3) os organismos podem ter tolerâncias diferenciadas devido a presença de substâncias anticongelativas. Segundo este autor, os invertebrados podem ter altos graus de glicerol e álcoois polihídricos em seus líquidos corpóreos, o que os



protegem contra danos causados por baixas temperaturas e possibilitam a redução do ponto de super-congelamento. Leite (2011) relatou que insetos que vivem em temperaturas baixas possuem em sua hemolinfa etileno glicol e glicerol e comentou que os cupins estão inseridos no grupo de insetos que contém estas substâncias.

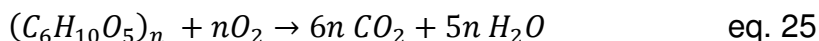
TABELA 3 – Temperatura ambiente real, em °C, e umidade relativa (%) dos testes de sensibilidade ao campo eletromagnético.

Classe de Temperatura	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Temperatura Padrão	18 + 2	84 + 1
	- 2	- 2
1	11 + 2	84 + 1
	- 2	- 2
2	25 + 2	84 + 1
	- 2	- 2
3	0 + 3	84 + 1
	- 0	- 1
4	50 + 2	84 + 1
	- 4	- 4

Schmidt-Nielsen (2002) definiu temperatura letal como sendo a temperatura onde 50% dos indivíduos morrem e 50% sobrevivem, ressaltando que esta temperatura é válida apenas para o tempo de exposição do experimento em questão. Assim, uma temperatura considerada letal a um tempo de exposição, pode não ser em outro. Deste modo, pode-se dizer que, para os experimentos realizados nesta pesquisa a temperatura de 0 °C e a temperatura de 50 °C, tratamentos 3 e 4 respectivamente, não foram temperaturas críticas letais. Entretanto, seus efeitos foram percebidos e potencializados quando associados ao campo eletromagnético.

De acordo com Eleotério (2000), os cupins pertencentes ao gênero *Cryptotermes* têm baixo requerimento de umidade e possuem grande tolerância às condições secas por períodos prolongados. Segundo a autora, a água é proveniente da própria madeira e esta é obtida por meio da umidade de equilíbrio entre o meio e a peça de madeira infestada. De acordo com Schmidt-Nielsen (2002), a água

presente no organismo dos cupins é denominada de água de oxidação, ou água metabólica, que tem origem na quebra do carboidrato (celulose) conforme equação 25.



Assim sendo, a hidratação dos insetos testados dependeu exclusivamente do balanço hídrico dos indivíduos com o meio. Schmidt-Nielsen (2002) afirmou que este balanço hídrico depende da perda e ganhos de água que o inseto pode apresentar em um período de tempo. A perda sendo classificada como evaporação (da superfície do corpo e, ou de órgãos respiratórios), fezes, urina e secreções especializadas e, os ganhos como ingestão, absorção através da superfície do corpo, água em alimentos e água de oxidação.

Para o presente estudo apenas a evaporação pode ser considerada como perda de água, entretanto isto ocorre quando o meio apresenta-se com um baixo índice de umidade relativa. Eleotério (2000) afirmou que o gênero *Cryptotermes* tem uma atividade considerada normal em uma faixa de umidade relativa do ar entre 60 e 90%, portanto, as variações de umidade relativa constatadas durante a execução dos testes não se apresentaram como uma variável significativa nos resultados obtidos.

#### 4.2.1 Temperatura Padrão (18 °C)

De acordo com as observações realizadas utilizando-se o método de grupo (QUADRO 1), os cupins tiveram uma movimentação com a mesma tendência de repouso do teste padrão de comportamento, mas de forma muito mais acentuada. Esta informação pode ser verificada quando se comparam as equações das linhas de tendência das figuras 17 e 20 com a da figura 19.

Os coeficientes angulares das equações citadas são muito distintos, sendo em primeira análise, para o teste de padrão de comportamento, um valor negativo de 0,036 %. $\text{min}^{-1}$  e, para o tratamento a temperatura de 18 °C, de aproximadamente 0,36 %. $\text{min}^{-1}$ , também negativo. Este coeficiente angular representa o valor em que a função aumenta, ou diminui, quando se eleva a variável x em uma unidade. Ou seja, à medida que o tempo passa, a redução na atividade dos cupins é

aproximadamente dez vezes maior no teste à temperatura de 18 °C que no tratamento padrão de comportamento.

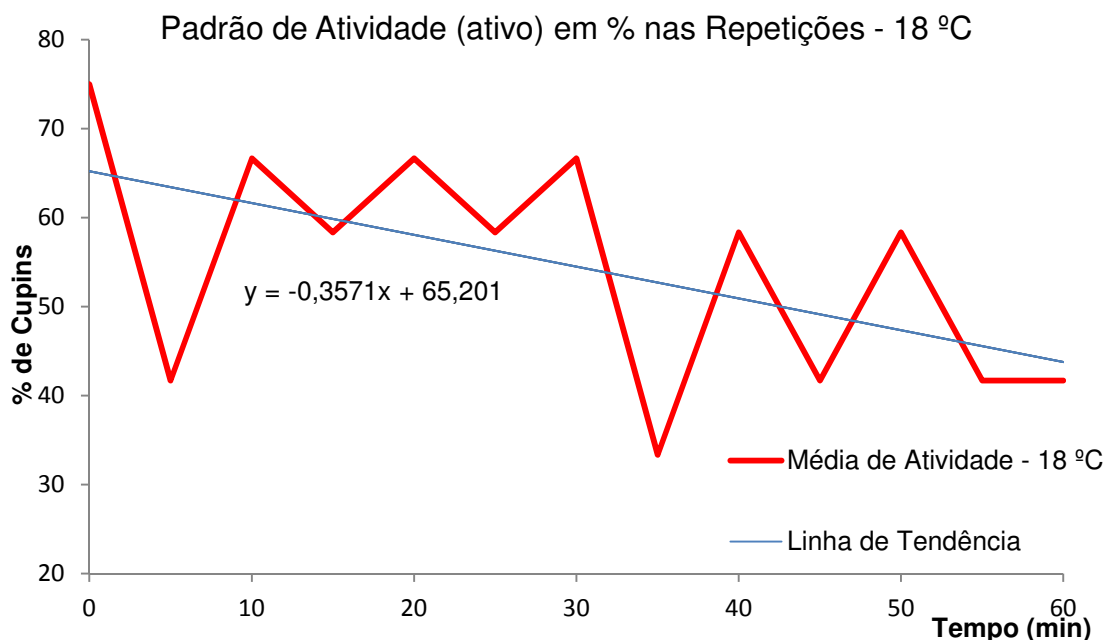


Figura 19 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento a temperatura de 18 °C - Método de grupo.

Este resultado é válido quando se estima a tendência geral de comportamento dos cupins (queda na atividade no decorrer do tempo), mas quando se analisa a tendência de comportamento apenas na primeira hora do teste padrão de comportamento, verifica-se que a diferença entre o caimento é ainda maior, conforme figura 20, sendo a diferença justificada pelo tempo de observação (24 horas) do primeiro teste.

Percebeu-se, com auxílio da figura 20, que a tendência na primeira hora de exposição dos insetos ao ambiente de controle, no teste de padrão de comportamento, foi de uma elevada taxa de mobilidade e, por menor que seja, uma estimativa de aumento desta atividade no decorrer do tempo. Já os insetos submetidos ao campo eletromagnético a uma temperatura de 18 °C tiveram uma tendência ao repouso desde o início do teste, sendo esta característica considerada anormal para suas atividades que inicialmente eram mais agitadas, referentes a mobilidade de reconhecimento do ambiente e consequência de estresse por terem sido retirados da colônia.

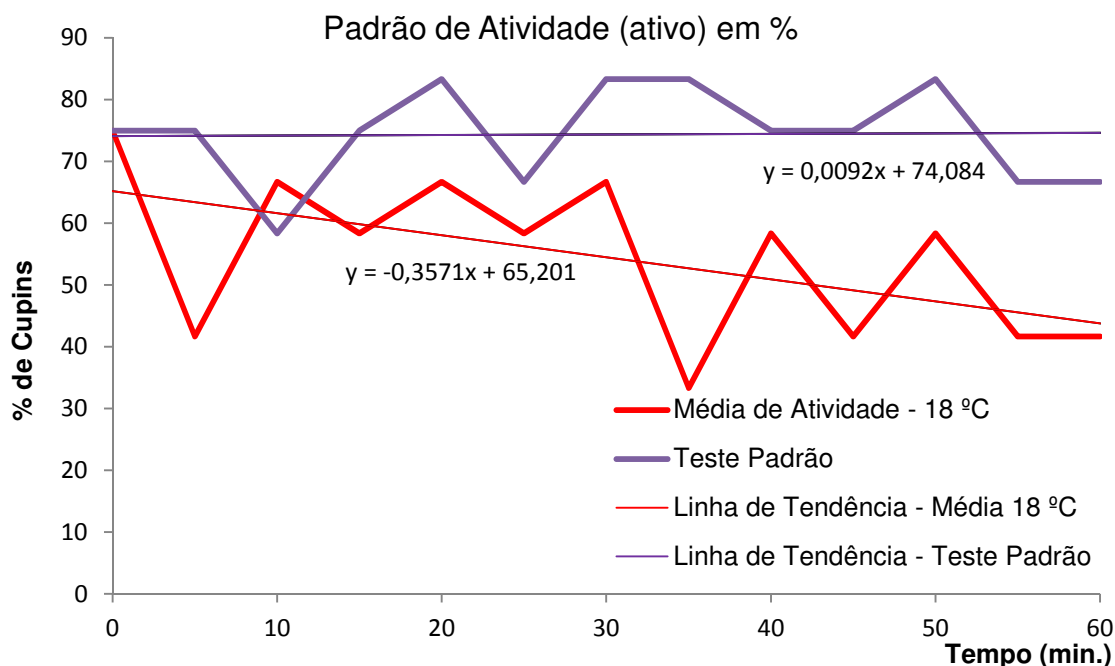


Figura 20— Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento a temperatura de 18 °C e no Teste de Comportamento Padrão- Método de grupo.

Assim, de acordo com os dados obtidos no teste padrão de comportamento, que são concordantes com os resultados de Giovanella (2009 a), pode-se afirmar que o campo eletromagnético afetou os cupins da espécie *Cryptotermes brevis*, segundo a metodologia de grupo, de forma a causar um estado letárgico e inibidor de atividade de movimento no decorrer da exposição dos indivíduos a este campo. Notou-se ainda que quanto maior o tempo de exposição, maiores foram os efeitos observados sobre os insetos, não apenas na metodologia de grupo, mas também no método individual e danos inicialmente não considerados na metodologia, por não haver forma de terem sido previstas suas observações ou consequências.

#### A) Efeitos do tratamento

As observações foram realizadas de acordo com a metodologia individual e de grupo, sendo suas associações consideradas para a compreensão dos efeitos observados, os quais estão demonstrados na tabela 4.

Na fase de preparação do experimento, momento em que os cupins foram colocados na caixa de teste, os mesmos apresentaram uma movimentação natural,

em que pareciam estar com o corpo leve e mobilidade mais solta. No exato momento em que o eletroímã foi ligado, tempo de zero minuto de observação, os cupins, nas cinco repetições, alteraram seu comportamento imediatamente apresentando três principais efeitos; (1) percepção do campo eletromagnético pelos cupins, (2) taxia negativa e (3) descontrole do tórax e abdômen.

Para o primeiro efeito, os cupins apresentaram um alinhamento do corpo de todos os insetos em conjunto com uma orientação voltada para a superfície frontal da caixa de teste (FIGURA 21). Ao mesmo tempo, as antenas passaram a ter um comportamento associado ao nível três de atividade, considerada como rápida e agitada. Estes dois fenômenos, de alinhamento e orientação, sugerem que os cupins foram capazes de perceber variações no campo eletromagnético e responder a estes estímulos.

Abraçado (2006) comentou que os cupins são influenciados pelo campo geomagnético, enfatizando que estes insetos, assim como outros, têm a capacidade de perceber as variações magnéticas ao seu redor. Além de Abraçado (2006), outros autores como Esquivel *et al.* (2006), Hsu C-Y *et al.* (2007) e Wajnberg *et al.* (2010) discorreram sobre a existência de um magnetorreceptor baseando-se no fato de que os insetos utilizam os campos magnéticos ao seu redor para se orientarem. Ou seja, os insetos têm a capacidade de perceber e interpretar os sinais magnéticos, usando esta informação para se locomoverem nas proximidades de suas respectivas colônias ou mesmo em movimentos migratórios.

Segundo Wajnberg *et al.* (2010), a magnetorrecepção é uma habilidade sensorial de perceber os sinais, ou estímulos, magnéticos, efetuar sua transdução e transferi-las para o sistema nervoso e cérebro, onde ocorre o processamento e interpretação da informação. Abraçado (2006) ressaltou que este mecanismo de magnetorrecepção é um mecanismo de orientação ativa que ocorre em animais que possuem sistema nervoso, tendo um funcionamento mais sofisticado que envolve a detecção do campo e as subseqüentes etapas, apresentadas por Wajnberg *et al.* (2010). Poucos estudos foram realizados até o momento e apenas algumas hipóteses existem acerca do funcionamento destes sensores.

TABELA 4 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético, à temperatura de 18 °C.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
2ª Repetição	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	0
3ª Repetição	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	1
4ª Repetição	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	1
5ª Repetição	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
Total	20	20	17	16	20	20	20	20	20	20	6

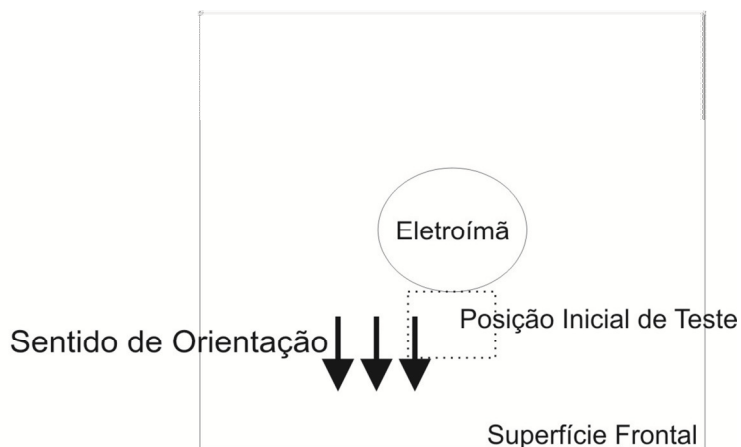


Figura 21 – Diagrama da caixa de teste, vista de cima, e sentido de orientação dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no momento em que o eletroímã foi ligado - tratamento à temperatura padrão.

Uma destas hipóteses está embasada na lei de Faraday de indução magnética, em que se supõe que o organismo detecta uma diferença de potencial elétrico fraca, gerado na superfície do seu corpo ou em suas fibras nervosas, resultantes de seu movimento pelo campo magnético. Este potencial se elevaria de forma linear com o campo e a velocidade de deslocamento do inseto (ABRAÇADO, 2006).

O autor explica que o funcionamento desta hipótese está ligado ao mecanismo de ressonância de íon paramétrico, tendo como partida a ideia de que o sensor magnético é um íon ligado a uma proteína. Desta forma, um campo magnético pode causar vibrações neste íon dentro da cadeia proteica, levando a alterações nas ligações com o íon de cálcio. Ressalta-se que isto pode afetar os terminais nervosos bioquímicos por causa da despolarização da membrana celular e consequente ativação da célula excitada. O autor ainda comenta outro modelo que se baseia em reações de radicais livres alteradas por campos magnéticos. Nestes dois modelos o efeito de ressonância, em nível atômico ou molecular, é induzido pela combinação de campos magnéticos estáticos e oscilantes.

Outra hipótese apresentada por Abraçado (2006) e amplamente discutida por Wajnberg *et al.* (2010) é a ferromagnética. Esta teoria se baseia no princípio de que existem partículas magnéticas presentes no organismo e que estas funcionam como sensores de campos. A ideia é sustentada pela descoberta de magnetita em várias espécies de animais, incluindo os insetos (ABRAÇADO, 2006). Wajnberg *et al.*

(2010) comentaram ainda que a resposta do processo de magnetorrecepção depende diretamente do tamanho da partícula magnética envolvida no processo.

A partir destas informações, pode-se concluir que os cupins testados, independente da repetição, foram capazes de perceber, de maneira muito rápida, as variações no campo magnético no interior da caixa de teste e que sua orientação e mobilidade das antenas foram respostas diretas a este estímulo.

O segundo principal efeito observado no momento em que o eletroímã foi ligado, veio a confirmar a percepção e resposta, a partir de um órgão sensorial, dos cupins ao estímulo do campo magnético. Este efeito foi uma taxia negativa em nível moderado, ou seja, afastamento do eletroímã com uma movimentação variando de lenta a moderada, de acordo com a classificação de movimento apresentada no quadro 1. Esta movimentação foi feita em direção à face frontal da caixa de teste e concentrada à esquerda da mesma, conforme figura 22.

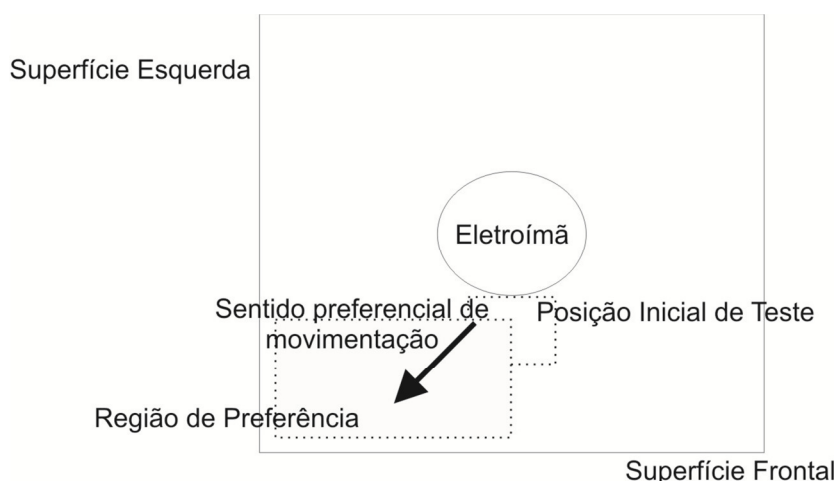


Figura 22 – Sentido de orientação e início de movimentação dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no momento em que o eletroímã foi ligado para o tratamento à temperatura padrão – primeira repetição.

Como pode ser visto na tabela 4 todos os insetos submetidos ao tratamento tiveram uma tendência de afastamento do eletroímã. Houve momentos em que os cupins apresentaram este padrão simultaneamente e outros em que alguns se movimentavam em taxia negativa e os demais permaneceram imóveis, em termos de deslocamento, entretanto, com grande agitação em todo o corpo, sendo a antena observada em alta atividade em todos estes cupins. Uma possível explicação seria o posicionamento e orientação inicial destes no interior da caixa de teste em relação ao eletroímã que, por intermédio da lei de indução de Faraday e a intensidade do



campo eletromagnético, pode ter influenciado de forma mais significativa os sentidos e percepções dos insetos.

O terceiro efeito observado foi o descontrole do tórax e abdômen, sendo este fenômeno verificado em 17 indivíduos dentre as repetições (TABELA 4), ao longo do período de observação. Fato este que veio a ressaltar a tendência a comportamentos de menor intensidade de agitação conforme apresentado na figura 19. Estes indivíduos, em que foi identificado descontrole, exibiram seus tórax e abdomens de forma trêmula, agitada e aparentemente fora do controle de coordenação motora e proprioceptivo natural, dando a impressão de terem sido atingidos por alguma força externa. Para este efeito visualizado existem duas possibilidades que não se excluem mutuamente, sendo, inclusive, passível de que ambos os efeitos tenham ocorrido conjuntamente.

A primeira possível causa deste efeito está relacionada ao campo magnético. De acordo com Abraçado (2006), a presença de duas partículas, em diferentes composições e tamanho tem sido considerada no organismo dos insetos, sendo elas a magnetita e a maghemita. Savian (2009) descreveu estes dois minerais como de origem orgânica e comentou que a entrada destes no organismo dos insetos ocorre por meio da dieta e efeito de biomineralização.

Os resultados apresentados por este autor demonstram que, nos cupins testados, não foi possível determinar a presença de magnetita, mas identificou-se a presença de titanomagnetita e, ou maghemita. Esquivel *et al.* (2004) relataram nanopartículas com parâmetros magnéticos comparáveis aos da magnetita em cupins *Neocapritermes opacus*. Embora a origem desses minerais fosse inicialmente incerta, estudos subsequentes Oliveira *et al.* (2008) revelaram que os próprios cupins sintetizam as partículas ferrimagnéticas.

Segundo os resultados de Oliveira (2005), medidas de microscopia eletrônica indicaram a presença de magnetita biogênica em duas espécies de cupins, *Nasutitermes exitiosus* e *Amitermes meridionalis*. O autor ainda relatou que medidas de magnetometria indicaram a presença de pequenas concentrações de material magnético, com maior quantidade presente no tórax e abdômen quando comparados à cabeça, fato este que justifica uma maior interação e descontrole nestes segmentos frente ao campo eletromagnético aplicado.

Abraçado (2006) ressaltou que a presença destes minerais não ocorre de forma homogênea ao longo do corpo dos insetos e que suas presenças sugerem

componentes diamagnéticas e, ou paramagnéticas, com diferentes contribuições de acordo com suas concentrações. O autor mostrou resultados, para formiga *Solenopsis interrupta*, que revelaram que o material biológico encontrado no tórax e antenas teve uma componente diamagnética, enquanto no abdômen esta componente é predominantemente paramagnética, que pode ser resultante do material magnético ingerido. De acordo com Halliday (1995), e concordante com Nussenzveig (2007), o diamagnetismo é uma manifestação da lei de indução de Faraday atuando sobre os elétrons atômicos, cujos movimentos são equivalentes a minúsculas espiras de corrente. Segundo os mesmos autores, materiais diamagnéticos não possuem dipolos magnéticos intrínsecos, mas é possível induzir dipolos magnéticos nestes materiais pela ação de campos magnéticos externos.

Abraçado (2006) comentou que a componente aparentemente diamagnética se sobrepõe à histerese ferro(i) magnética, levando a ideia de que este efeito diamagnético foi superior. Isto sugere que, no tórax dos cupins expostos ao campo eletromagnético do presente trabalho, houve uma reação magnética, desencadeada pelo fenômeno de magnetização, que originou momento de dipolo magnético nos minerais presentes em sua estrutura.

Em relação ao abdômen, o efeito paramagnético teve uma dinâmica semelhante, entretanto, os materiais paramagnéticos apresentam momento de dipolos magnéticos intrínsecos que, na ausência de um campo externo, ficam orientados em direções distribuídas ao acaso (NUSSENZVEIG, 2007; HALLIDAY, 1995). Deste modo, quando o campo magnético gerado pelo eletroímã passou a atuar na área onde os insetos estavam presentes, o momento de dipolo magnético dos minerais presentes na estrutura dos insetos sofreu uma tendência ao alinhamento com o campo externo, fenômeno este que pode intensificar o campo (HALLIDAY, 1995).

Outro ponto importante para o efeito paramagnético são os metais alcalinos, sódio e potássio, que estão presentes na composição da estrutura celular (AIRES, 2008). O balanço químico destes compostos determina o funcionamento regular da célula e seu desequilíbrio pode alterar o valor do potencial de ação da célula, por meio da variação da permeabilidade da membrana. Isto pode, num primeiro momento, forçar o funcionamento da célula que responderá com uma compensação de entrada ou saída de sódio ou potássio na mesma, desencadeando o processo de transporte ativo. Isto leva a um aumento na demanda energética e sobrecarrega o

sistema nervoso, quando associado aos efeitos do campo elétrico. Com base no exposto, pode-se dizer que estes efeitos, diamagnéticos e paramagnéticos, foram sentidos pelos cupins testados e tiveram como consequência uma reação adversa nos seus segmentos, por meio de uma sensibilização fisiológica, que culminou no descontrole e ação de tremor.

A segunda causa para o efeito observado nos insetos deste trabalho está relacionado ao campo elétrico. De acordo com Kaune (1993), qualquer corpo condutor, incluindo organismos vivos, pode sofrer perturbações oriundas da presença do campo elétrico. Esta perturbação ocorre em consequência do campo aplicado,  $E$ , induzir uma densidade de carga elétrica sobre a superfície do corpo exposta, que acaba por gerar um segundo campo elétrico,  $E'$ . O autor explica que o campo elétrico total é a soma dos campos,  $E$  e  $E'$ , e que, no interior do corpo, são praticamente iguais em magnitude, mas com direções opostas, portanto, normalmente, anulando-se.

Entretanto, fora do corpo os campos,  $E$  e  $E'$ , podem se somar positivamente, resultando em uma intensidade maior, ao invés de se anularem. Assim, este campo aumentado tende a ser maior na superfície externa e, principalmente, em regiões curvas do corpo. Como indicado por Kaune (1993), o campo elétrico externo aplicado sobre um organismo gera diferentes potenciais no mesmo (FIGURA 23), induzindo estímulos, ou impulsos, elétricos nas células mais afetadas.

Ao considerar que o campo magnético, por intermédio da influência nos íons de sódio, altera o potencial elétrico da membrana celular, os impulsos elétricos gerados pela presença do campo elétrico podem fazer com que as células sejam ativadas mesmo que em uma situação inicial considerada de repouso da mesma. Ou seja, considerando o tecido muscular que está mais externo ao corpo dos insetos, pode-se visualizar a ativação destas estruturas mesmo que o inseto não o faça de forma consciente ou controlada. Assim, contrações involuntárias podem afetar as relações de equilíbrio e propriocepção dos insetos, fazendo com que percam a capacidade de perceberem a si, prejudicando sua mobilidade e deslocamento, e ao ambiente, também em relação ao deslocamento, mas principalmente sobre sua segurança, atrapalhando sua percepção a predadores ou estímulos adversos.

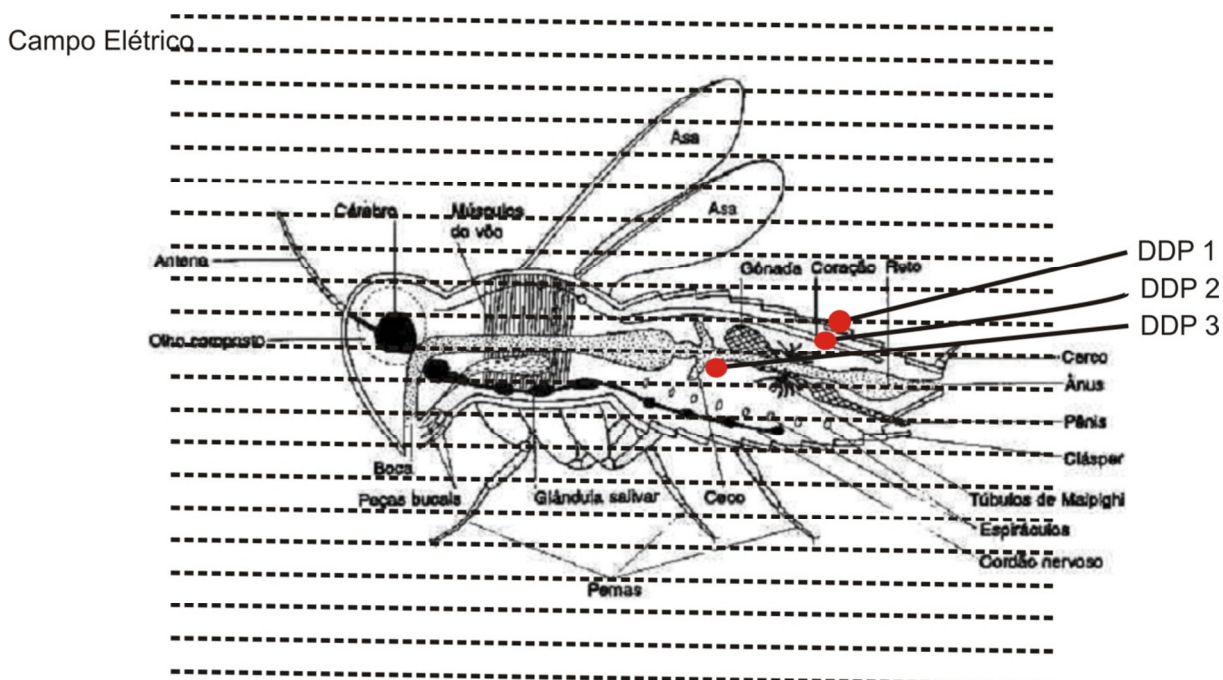


FIGURA 23 – Diferença de potenciais elétricos (DDP) no interior do corpo de um inseto.  $DDP\ 1 > DDP\ 2 > DDP\ 3$ . Fonte: Adaptado de Leite (2011).

Outro efeito visualizado ao longo do período de observação, conforme a tabela 4, foi alteração de movimento, em que 16 dos 20 insetos permaneceram imóveis ou em movimentação considerada não natural. De acordo com o observado, parte dos insetos, nos diferentes tempos de análise, encontravam-se totalmente imóveis, com exceção de suas antenas que exibiram um comportamento agitado. Estes indivíduos encontravam-se na região de preferência (FIGURA 22), assim como os outros que permaneceram em movimento de deslocamento e segmentos extremamente agitados. Alguns dos cupins moveram-se de forma a fazer um movimento ondulatório contínuo com seu corpo, como o movimento de uma serpente, sendo este efeito visualizado em repetições diferentes e recorrentes às diversas observações. Faziam breves pausas e logo reiniciavam esta tendência de movimento.

Outros cupins ficaram desorientados, com movimentos intermitentes de taxia positiva e negativa variando sempre nas mesmas posições. Estes comportamentos podem estar vinculados com a hipótese dos magnetorreceptores funcionarem com base na lei de Faraday de indução magnética. De acordo com Abraçado (2006), e discutido anteriormente, a diferença de potencial elétrico gerada na superfície do corpo do cupim, previsto por Kaune (1993), é uma resultante diretamente dependente do seu deslocamento, em termos de velocidade e forma. Ou seja, a

maneira como os cupins se moveram, serpenteando o corpo, foi uma resposta ao estímulo do campo eletromagnético, que influenciou suas percepções, buscando uma melhor adaptação a este novo fator ambiental ao qual estavam expostos. Da mesma forma, a imobilidade dos outros cupins pode ter sido uma resposta de adaptação a este estímulo do campo induzido. Assim, a desorientação de alguns insetos demonstrou que estes foram mais sensíveis ao estímulo e que não conseguiram uma boa resposta de adaptação ao meio.

A partir dos dez minutos, em média, de exposição dos cupins ao campo eletromagnético, estes passaram a se deslocar pelas superfícies laterais da caixa de teste. Este fato pode ter sido em decorrência de estar em uma região da caixa de teste onde o campo eletromagnético foi menos intenso, conforme pode ser visto nas figuras 24, 25, 26 e 27 e vindo de encontro a ideia de que os cupins procuraram uma região de campo menos intenso por intermédio da taxia negativa.

Pode-se visualizar nas figuras 24, 25, 26 e 27 que o campo é mais intenso nas extremidades do cilindro que compõe o eletroímã. Isto ocorre justamente pela formação de polos magnéticos, que tem sua magnitude e orientação dependentes da intensidade e do sentido, respectivamente, da corrente elétrica que passa pela bobina. Na medida em que se afasta dos polos, a intensidade do campo eletromagnético diminui e, aparentemente, a influência sobre os cupins também (FIGURAS 25, 26 e 27-b). Embora a sensibilidade dos insetos ainda seja visível e a percepção dos mesmos ao campo seja evidente, de acordo com o método individual de análise das antenas.

Como pôde ser visualizada ao longo do teste a atividade das antenas se manteve em constante agitação. Em todas as observações, o padrão de atividade deste apêndice móvel foi classificado como acelerado, chegando a demonstrar descontrole em diversos momentos e em mais de um indivíduo. Este comportamento ocorreu, provavelmente, em resposta aos estímulos oriundos do campo eletromagnético permanente. Isto vem a reforçar a ideia de que os cupins possuem um órgão especializado em sentir as variações magnéticas a sua volta, os magnetorreceptores e, que estes, funcionam de acordo com a Lei de Faraday (KAUNE, 1993; ABRAÇADO, 2006). Ressalta-se que os resultados de Abraçado (2006) indicaram a presença de material magnético nas antenas de formigas *Solenopsis interrupta*, sendo possível um resultado semelhante em cupins já que a biomineralização de materiais magnéticos por estes insetos foi comentada por

Savian (2009), com base nos trabalhos de Esquivel *et al.* (2004) e Oliveira *et al.* (2008).

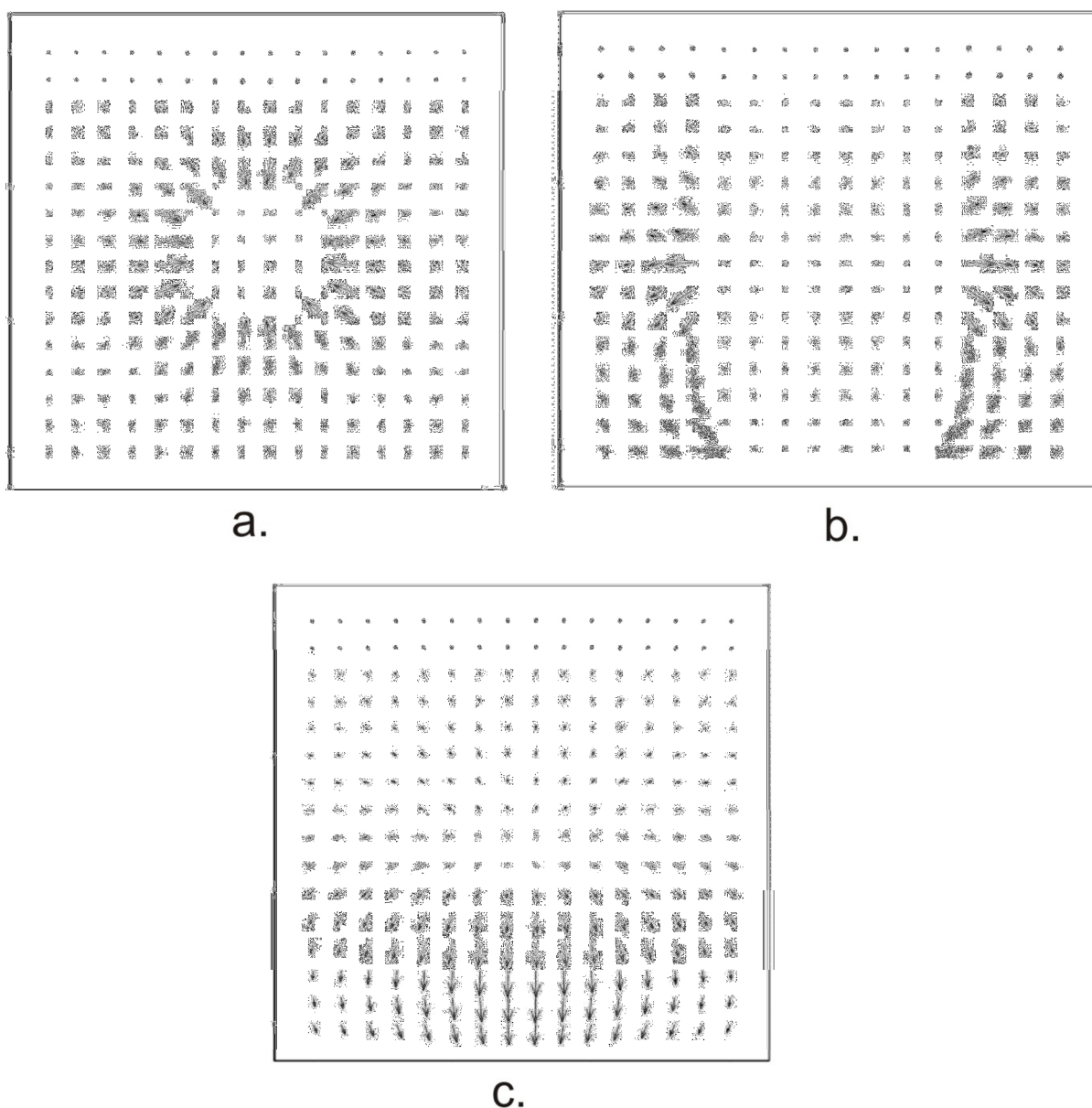


FIGURA 24 – a.- campo magnético no plano da base da caixa. Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_x$  e  $B_y$ .  
 b.- campo magnético no plano de simetria longitudinal da bobina. Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_x$  e  $B_z$ . A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida em ambas as figuras.  
 c.- campo magnético na parede lateral da caixa em  $y = 0,35\text{m}$ . Diagrama vetorial mostrando as componentes  $B_y$  e  $B_z$ . Nesta figura os vetores se referem ao valor máximo do campo em um dos semi-ciclos.

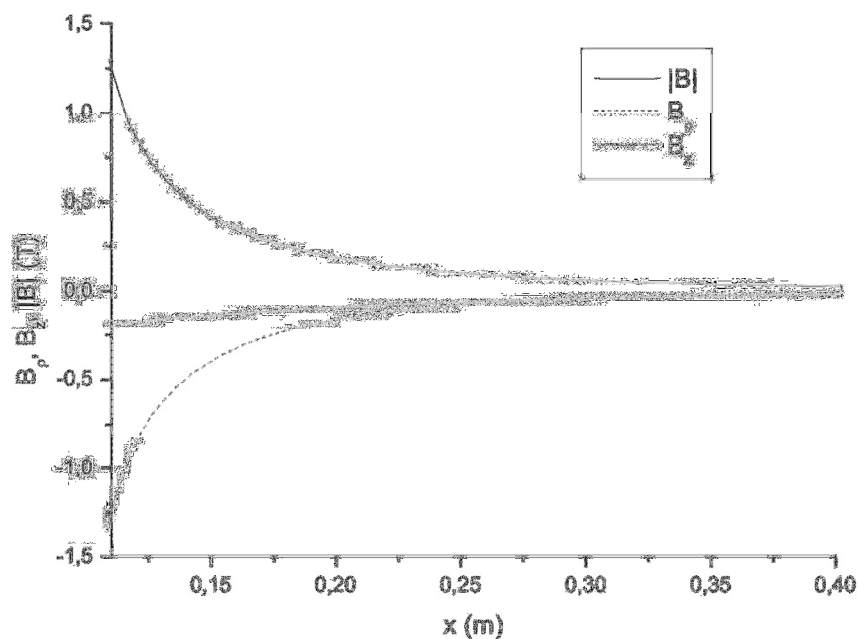


FIGURA 25 - Campo magnético no plano da base da caixa. Gráfico mostrando os valores das componentes  $B_\rho$  e  $B_z$ , e o módulo do campo  $B$ , em função de  $x$ , expressos em T. A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida.

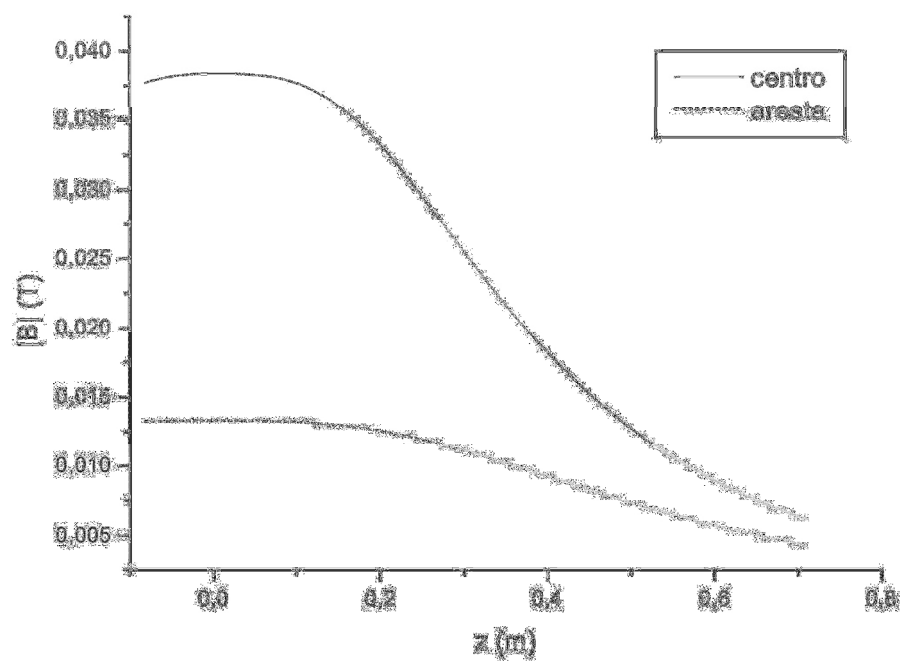
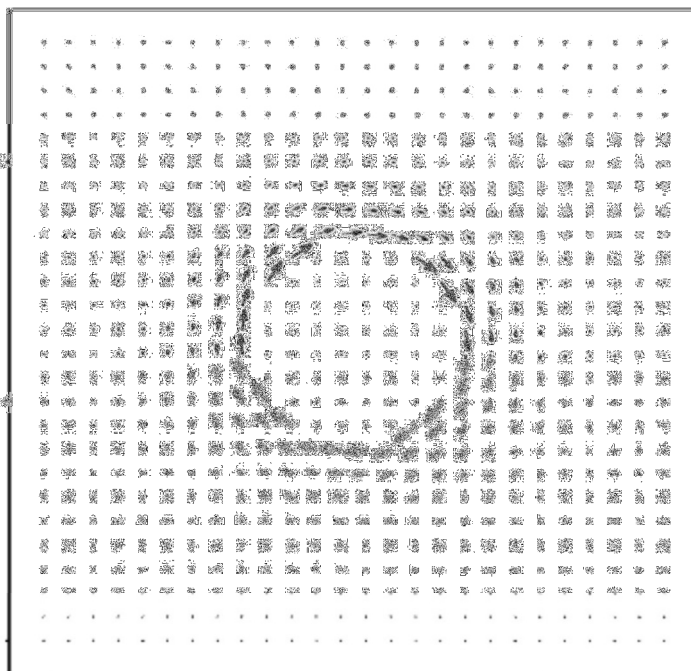
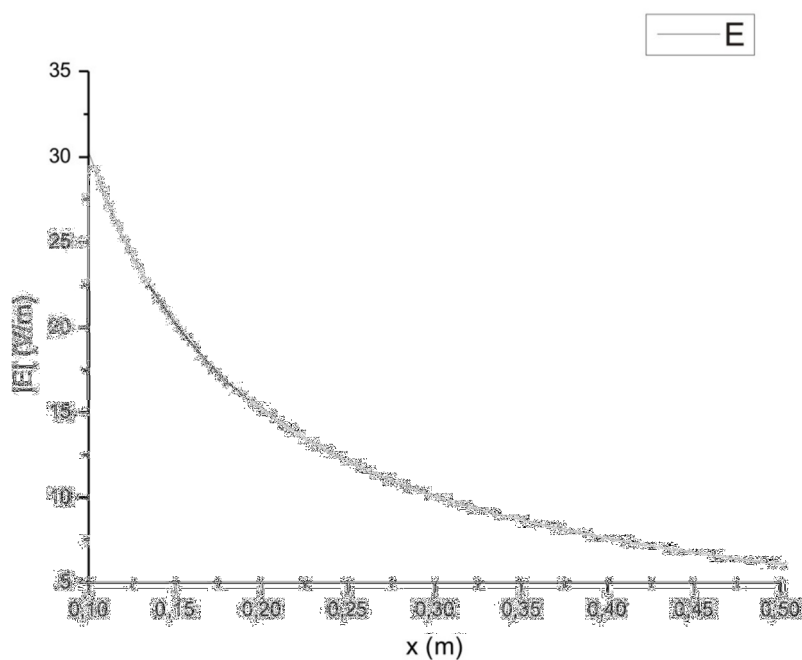


FIGURA 26 - Campo magnético na parede da caixa; linha vertical central e aresta (comparação). Gráfico mostrando o valor do módulo do campo  $B$  em função de  $z$ , expresso em T.



a.



b.

FIGURA 27- a.- campo elétrico induzido no plano da base da caixa. Diagrama vetorial mostrando as componentes  $E_x$  e  $E_y$  (valor máximo em um dos semi-ciclos).  
 b.- campo elétrico induzido no plano da base da caixa. Gráfico mostrando o valor do módulo do campo  $E$  em função de  $x$ , expresso em V/m. A representação nos pontos interiores à bobina foi suprimida.



Aos 15 minutos, os cupins de duas repetições passaram a um estado imóvel em seus corpos, mantendo apenas a movimentação acelerada de suas antenas. Este comportamento foi observado também nas demais repetições, mas em poucos indivíduos (um cupim em cada). Por causa da maneira como os indivíduos se comportaram em relação ao teste de comportamento padrão, foi percebido o início de uma tendência de depressão metabólica dos insetos, fato concordante com a figura 19 e evidenciada a partir dos 25 minutos.

Aos 20 minutos de observação, os cupins começaram a ter um padrão de movimento diferenciado, em termos de equilíbrio do corpo. Visualmente, os cupins estavam com um movimento de arraste do abdômen, em que este parecia estar pesado, deslocando o centro de gravidade dos insetos ao ponto de impedir sua movimentação. Para esta observação a maior parte dos indivíduos permaneceram parados e, ou em movimentação lenta. Seus segmentos acompanharam esta tendência de pouca, ou nenhuma mobilidade, apenas com a antena em movimento variando de agitado a descontrolado.

A outra parcela de cupins, menor em número, ficou agitada e com atividade moderada, mas, mesmo com alta atividade, seus movimentos foram pesados e arrastados. Para a terceira repetição, três indivíduos apresentaram movimentos de serpentear o corpo associado a um movimento também pesado e, devido a isto, pouca variação de posição em relação à caixa de teste. Ressalta-se que nesta repetição um dos cupins em movimento teve descontrolado abdominal e torácico.

O peso abdominal observado foi gerado como resultado de uma cadeia de processos fisiológicos, sendo este, o primeiro sintoma perceptível à metodologia visual adotada. O fator responsável pelo aumento deste peso, provavelmente, está associado ao aumento da produção de água de oxidação e sua posterior concentração na região abdominal. Os processos fisiológicos que levaram a este resultado, apenas foram evidenciados nas observações de 25 minutos, podendo ser visualizados resumidamente na figura 28.

Aos 25 minutos de observação, os cupins começaram a demonstrar alterações em seus corpos, sendo as principais o inchaço abdominal, escurecimento da extremidade do abdômen e escurecimento (alteração da tonalidade) dos segmentos torácico e abdominal.

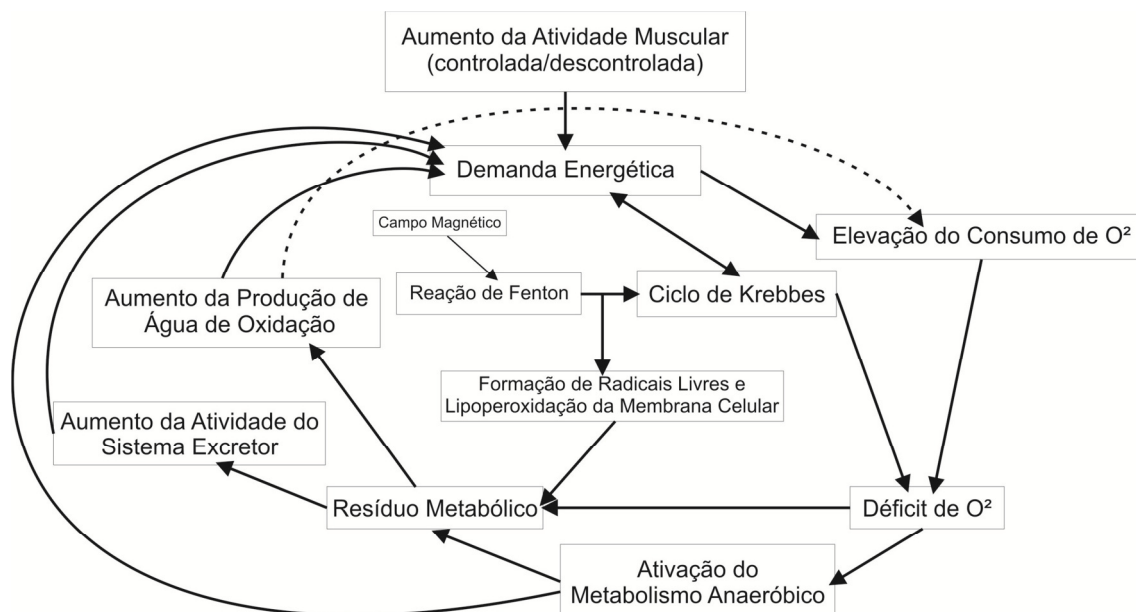


FIGURA 28 – Influência fisiológica do campo eletromagnético sobre os cupins da espécie *Cryptotermes brevis*. Fonte: Autor, 2012.

O inchaço abdominal observado em todos os cupins nas diferentes repetições pode ser uma consequência direta do aumento da produção de água de oxidação, alterando o volume interno da hemolinfa e expandindo o tórax e abdômen causado pelo aumento da pressão osmótica e alteração da regulação homeostática. Este aumento da produção de água deve ter sido uma maneira que o organismo dos cupins encontrou para diluir o excesso de resíduos metabólicos, liberados a partir da necessidade de produção de energia e da reação de Fenton. O excesso de resíduos metabólicos foi desencadeado, possivelmente, pela falta de oxigênio disponível para as atividades que ocorreram em simultaneidade no organismo.

De acordo com Barroso *et al.* (2006), o organismo animal tem seu funcionamento controlado por meio de incontáveis reações químicas e bioquímicas. Para que isto ocorra, o organismo necessita de energia para se manter em funcionamento normal, sendo necessário que certas substâncias, como oxigênio, glicose, aminoácidos, diferentes íons, substâncias gordurosas, estejam disponíveis na circulação. Ainda de acordo com os autores, essas substâncias incorporam as reações metabólicas do corpo, que têm por finalidade gerar energia em forma de trifosfato de adenosina (ATP - trifosfato de adenosina) para o funcionamento celular. Quando ocorrem alterações na concentração dessas substâncias e, de acordo com Fraga (2002), redução do substrato energético, o metabolismo fica prejudicado

forçando o corpo a utilizar mecanismos compensatórios para manter o seu funcionamento, induzindo mudanças metabólicas e comportamentais nos indivíduos.

Deste modo, a atividade de movimentação do corpo e dos segmentos dos cupins, de forma isolada, promoveu o gasto energético e consumo das reservas disponíveis, levando o organismo a produzir mais energia de acordo com a demanda energética vigente. Entretanto, houve outros mecanismos que forçaram a produção de energia e culminaram no déficit de oxigênio que originou os resíduos metabólicos.

Inicialmente ressalta-se que a alteração do potencial elétrico de ação da célula por intermédio do campo elétrico, mecanismo apresentado por Kaune (1993), facilita a entrada de sódio no interior da célula. Schmidt-Nielsen (2002) confirmou esta afirmação baseando-se nos trabalhos de Hodgkin (1954; 1964), Huxley (1964) e Katz (s/d), colocando que uma redução no potencial de repouso, ou despolarização, aumenta a permeabilidade da membrana ao sódio. Esta situação eleva a concentração de sódio no interior da célula, forçando sua remoção por meio do transporte ativo, o qual necessita de energia (ligado ao metabolismo energético) e força um maior consumo de oxigênio.

Neste mecanismo é importante ressaltar que a alteração na permeabilidade da membrana não foi em concentração de sódio e potássio, mas sim no meio ao qual estão inseridos (campo eletromagnético). Deste modo, a entrada de sódio é constante e o equilíbrio químico se altera em termos de concentração no momento do balanço eletroquímico.

Fraga (2002) relatou que nos períodos iniciais de demanda energética em estado de ausência de oxigênio, os caracóis *Megalobulimus oblongus* utilizaram suas reservas de fosfogênios e ATP para satisfazerem suas necessidades. O autor afirmou que esta é uma forma dos organismos se preservarem em situações desfavoráveis, sendo também válida para os cupins. Acrescentou ainda que existem duas formas de anaerobiose, em que a primeira é a dependente do habitat e a segunda de atividade, ou anaerobiose funcional. Este segundo tipo, possivelmente ocorrido nos insetos do presente estudo, ocorre por causa do aumento da atividade de um tecido, normalmente muscular, que excede a sua capacidade aeróbica de produção energética. Para esta situação, de estresse anóxico e osmótico, Fraga (2002), comentou que os organismos têm três estratégias de defesa, sendo elas esquiva, tolerância e dormência.

Os cupins testados não puderam se esquivar da condição de estresse, pois estavam em um ambiente fechado, sob monitoramento de atividade, significando dizer que não puderam sair da caixa de teste onde o campo eletromagnético estava atuante. A tolerância foi um fator o qual não foi visualizado, pois os cupins foram estimulados integralmente e constantemente ao longo da exposição ao campo. Por último, a dormência não pode ser realizada em sua plenitude, pois a depressão metabólica não foi possível graças à alteração da permeabilidade da membrana pelo campo eletromagnético. Ainda de acordo com Fraga (2002), existem quatro tipos de vias anaeróbicas utilizadas pelos invertebrados, sendo elas a via do lactato (importante na musculatura das coxas dos insetos), a das opinas, a do succinato e a dos fosfogênios. A ativação do metabolismo anaeróbico força o uso de glicose para produção de energia, mas possui um rendimento de menos de 10% do ATP produzido pelo metabolismo aeróbio, segundo Barroso *et al.* (2006) dois ATP para o primeiro e 36, ou 38, ATP para o segundo. A partir disto, Fraga (2002), citou que existem duas possibilidades de adaptação. A primeira seria um aumento da velocidade da glicólise, uma estratégia glicolítica e, a segunda, a redução da velocidade de utilização de ATP, estratégia de depressão metabólica.

Outro fator a ser considerado é a enzima glicogênio fosforilase que é responsável pela catálise da hidrólise do glicogênio. Sua ativação está relacionada à elevação das demandas metabólicas teciduais, resultando em um aumento da atividade celular (FRAGA, 2002).

A utilização do metabolismo anaeróbico traz desvantagens em sua utilização. Ainda segundo Fraga (2002), estas desvantagens são o consumo das reservas internas, auto poluição causada pelo acúmulo dos metabólitos produzidos pelas vias anaeróbicas e a redução na capacidade de resposta a estímulos externos, deixando-os indefesos contra predadores e incapazes de responder prontamente a mudanças ambientais.

De acordo com a hipótese levantada, do inchaço abdominal ser consequência do aumento dos resíduos metabólicos, os cupins não possuem a capacidade de reoxidar os produtos finais do metabolismo anaeróbio. Esta informação pode ser feita, pois para que seja possível o reaproveitamento pela reoxidação, são necessárias três características para o organismo, sendo estas não observadas nos cupins. Fraga (2002) descreveu como primeira característica, sistemas circulatórios bem desenvolvidos, eficientes no transporte de hemolinfa para as várias partes do

organismo; segunda, aumento substancial do produto final na hemolinfa após o período anóxico; e terceira, divisão funcional do metabolismo do produto final entre sistemas de órgãos. Isto posto, pode-se afirmar que o estresse gerado pelo campo eletromagnético, fez com que os insetos testados consumiram suas reservas energéticas e entraram em condição de metabolismo anaeróbico gerando um elevado nível de resíduos metabólicos que não puderam ser reoxidados e forçaram a produção e acúmulo de água na região torácica e abdominal dos cupins como um mecanismo de defesa, redução de concentração de resíduos metabólicos na hemolinfa.

Outro fenômeno observado nos cupins testados que pode ter gerado resíduos metabólicos em forma de radicais livres foi a reação de Fenton. As evidências de que esta reação ocorreu apenas foram visualizadas posteriormente, no tempo de 35 minutos de observação para a primeira repetição e 40, 45, 35 e 40 minutos para a segunda, terceira, quarta e quinta repetições respectivamente, sendo identificada pelo surgimento de pontos escuros na região lateral e inferior dos cupins e de uma linha escura, na parte superior, dividindo o tórax e abdômen longitudinalmente. Mesmo que o efeito tenha sido percebido e evidenciado posteriormente, a sua ativação e conseqüente liberação de resíduos metabólicos se iniciou em um momento anterior, podendo ser coincidente com os efeitos que desencadearam o inchaço abdominal.

O escurecimento de partes específicas do corpo do inseto está associado, possivelmente, a necrose de células e tecidos que foi desencadeada pela reação de Fenton. Esta reação, que nada mais é que a oxidação de substratos orgânicos por ferro(II) e peróxido de hidrogênio (BARBUSIŃSKI, 2009), tem origem na ação do campo magnético sobre o metabolismo celular, promovendo um aumento na produção de radicais livres (Espécie Reativa de Oxigênio – ERO) e lipoperoxidação da membrana celular (LAI e SINGH, 2004).

De acordo com Zimerer (2007), em determinadas condições, pode ocorrer elevação na produção de ERO, levando ao estresse oxidativo, durante o qual algumas destas espécies reativas de oxigênio, como radical superóxido ( $O_2^-$ ), radical hidroxil ( $OH\bullet$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), podem produzir danos, como a já mencionada lipoperoxidação de lipídios insaturados das membranas celulares. O autor discutiu ainda que, a lesão celular resulta de anormalidades funcionais e bioquímicas em um ou mais componentes celulares essenciais e citou cinco

principais alvos de estímulos nocivos. Sendo eles a respiração aeróbica envolvendo a fosforilação mitocondrial oxidativa e a produção de ATP; a integridade das membranas celulares, da qual depende a homeostasia iônica e osmótica da célula e de suas organelas; a síntese protéica; o citoesqueleto; e a integridade do componente genético da célula.

Lai e Singh (2004), a partir dos resultados obtidos em células de cérebro de ratos, demonstraram que o campo magnético pode afetar a fisiologia, funcional e bioquímica, da estrutura celular de maneira a provocar danos irreversíveis no organismo. Os autores afirmaram que o campo magnético pode influenciar a célula em dois estágios. No primeiro, o campo magnético afeta a homeostase do ferro em algumas células, conduzindo a um aumento de ferro livre no citoplasma e no núcleo. Isto, por sua vez, conduz a um aumento na proporção de radicais hidroxil, por meio da reação de Fenton, que danificam o DNA, lipídeos e proteínas.

Os danos aos lipídeos (peroxidação lipídica) na membrana celular induz a um aumento na saída de cálcio do interior da célula a partir de suas reservas internas, provocando alterações na concentração deste íon no citosol. Ferreira e Matsubara (1997) comentaram que os danos aos lipídeos provocam perda da seletividade na troca iônica e liberação do conteúdo de organelas, como as enzimas hidrolíticas dos lisossomas, e formação de produtos citotóxicos (como o malonaldeído), culminando na morte celular. Pimentel (2003) afirmou que o excesso ou a deficiência de cálcio podem levar à rápida morte celular por necrose, ou à indução da morte celular programada (apoptose).

De acordo com Lai e Singh (2004), os danos causados à membrana pela lipoperoxidação desencadeia o segundo estágio de influência do campo magnético aos organismos. Segundo eles, ocorre um aumento da síntese de óxido nítrico por meio da ativação da calmodulina-dependente da síntese de óxido nítrico. Os autores comentaram que nesta segunda fase, os danos causados ao DNA e outras estruturas macromoleculares provavelmente foram provocados pelo do óxido nítrico. Segundo os mesmos, o óxido nítrico pode elevar a formação de radicais livres por meio de seus efeitos sobre o metabolismo do ferro e, ainda, liberar o ferro da ferritina.

Abraçado (2006) comentou que a ferritina é uma proteína que está presente na hemolinfa com a função de estocar ferro no organismo, para posterior síntese. Esta proteína é formada por um núcleo de hidreto de ferro, composto de íons de

$Fe^{+3}$ , antiferromagneticamente ordenados, envolvida por um cinturão de aminoácidos. O ferro é absorvido do alimento pelas células do intestino, transportado da membrana apical para a basal do epitélio do intestino, e transferido para a hemolinfa. A transferrina é a proteína ao qual o ferro se liga e é transportado para a hemolinfa. Considerando os resultados de Lai e Singh (2004), pode-se afirmar que o campo magnético, por intermédio da reação de Fenton, aumentará a concentração de ferro livre na hemolinfa.

Estes fatores podem levar a duas situações: a primeira é que, por meio de processos exógenos e endógenos de antioxidação celular, o dano pode ser contido e a célula sobrevive, mas os danos e sua reparação do DNA poderiam levar a uma mutação prejudicando a funcionalidade da célula; a segunda situação, se os danos provocados pelos radicais livres não forem percebidos e combatidos pelos processos de antioxidação e reparação celular, a célula morre devido ao fato da peroxidação dos lipídios pelos radicais livres funcionarem como uma reação em cadeia. Deste modo, tanto a apoptose, quanto a necrose seriam possíveis.

Lai e Singh (2004) destacaram ainda que, o aumento da necrose é, provavelmente, uma consequência do dano peroxidativo na membrana celular, em especial nas mitocôndrias. Ainda, o resultado do dano oxidativo induzido por campos magnéticos é dependente de vários fatores, incluindo o estado oxidativo da célula, a capacidade de enzimas antioxidantes endógenas e processos para contrabalancear o acúmulo de radicais livres, homeostase de ferro, parâmetros de exposição e se o dano oxidativo é cumulativo.

Assim sendo, a reação de Fenton, possivelmente, teve influência em dois aspectos observados nos cupins testados, primeiro no inchaço abdominal, por intermédio da produção de excesso de resíduo metabólico; e segundo, no surgimento de regiões empretecidas, associadas normalmente ao tecido muscular, sugerindo necrose das células da região. Entretanto, o escurecimento visualizado na extremidade do abdômen, no tempo de 25 minutos, aparentemente não está associado à necrose desencadeada pelo efeito Fenton.

Este escurecimento, provavelmente esteja associado a um aumento do metabolismo do sistema excretor, forçando a reabsorção de água e a devolvendo ao organismo do inseto de maneira a aumentar a concentração de ácido úrico em sua excreta. Duas consequências deste fenômeno foram observadas, a primeira, foi uma possível contribuição ao inchaço abdominal, em que se considera a não perda de

água pelo inseto; e a segunda, o escurecimento do excremento provocado pela sua oxidação.

De acordo com Chapman (2003) e Yadav (2003), o ácido úrico é oxidado pela uricase produzindo alantoína e peróxido de hidrogênio. Chapman (2003) comentou que, em pequena quantidade, aminoácidos são encontrados em fezes de insetos e, quando associados à dihidroxibenzenos (DHBs), na presença de peroxidase, formam quinonimina de cor avermelhada. A intensidade desta cor varia de acordo com a concentração de ácido úrico na região e o tipo de amina associada à reação (TAKAHASHI, 2008; FRIEDRICH, 2011). Ou seja, quanto maior a concentração de ácido úrico, mais avermelhada será a região e a tonalidade da cor vermelha depende diretamente do tipo de amina envolvida, variando do claro ao escuro. Takahashi (2008) e Friedrich (2011) relatam a mesma reação com cores finais diferentes em tonalidade, rosado e vermelho.

Com base nestas considerações, associa-se o escurecimento da extremidade abdominal dos cupins testados a oxidação de sua excreta, sendo este um fenômeno independente do escurecimento de outras regiões do corpo dos insetos, que estão relacionados à necrose. Destaca-se que, segundo Friedrich (2011), a reação de Fenton é acelerada na presença de DHBs, pois estes possuem a capacidade de reduzir  $Fe^{+3}$  em íons de ferro  $Fe^{+2}$ , assim aumentando a geração de radicais livres e desencadeando, de forma cíclica, um colapso no organismo dos insetos.

O terceiro efeito observado, no tempo de 25 minutos, foi o escurecimento (alteração de cor e tonalidade) dos segmentos torácico e abdominal. Para este efeito foram consideradas duas hipóteses. A primeira se baseia na alteração de concentrações de substâncias presentes na hemolinfa, excesso de resíduos metabólicos e íons livres, fazendo com que a tonalidade fosse alterada por causa da absorção da luz ter ficado diferenciada. A percepção desta variação estaria no fato de a cutícula ser muito fina e a luz, incidente sobre o corpo dos cupins, ter a capacidade de atravessar parte da cutícula dos mesmos. Isto seria possível graças às leis de reflexão e refração da luz, em que, na primeira, parte da luz incidente sobre uma superfície volta e se propaga no mesmo meio no qual se originou e, a segunda, parte da luz incidente passa de um meio para o outro se propagando nesse segundo, conforme figura 29 (TIPLER e GENE, 2006).

Macedo (2010) relatou que a cutícula, secreção da epiderme dos insetos, em sua composição total (epicutícula, exocutícula, mesocutícula e endocutícula) tem



uma espessura, aproximada, pouco maior que de 200  $\mu\text{m}$ . De acordo com Leite (2011), a cutícula é formada por polissacarídeos e quitina, em uma matriz proteica, sendo a quitina amorfa e incolor. Assim, a coloração natural dos insetos, segundo Macedo (2010), é proveniente da exocutícula, uma camada mais dura e mais densa, impregnada por uma esclerotina de cor âmbar, algumas vezes associada à melanina, donde vem a sua coloração geralmente mais escura. Forattini (2006) definiu a esclerotina como uma substância proteica, artropodina, sendo esta a responsável pela tonalidade escura das partes do corpo dos insetos.

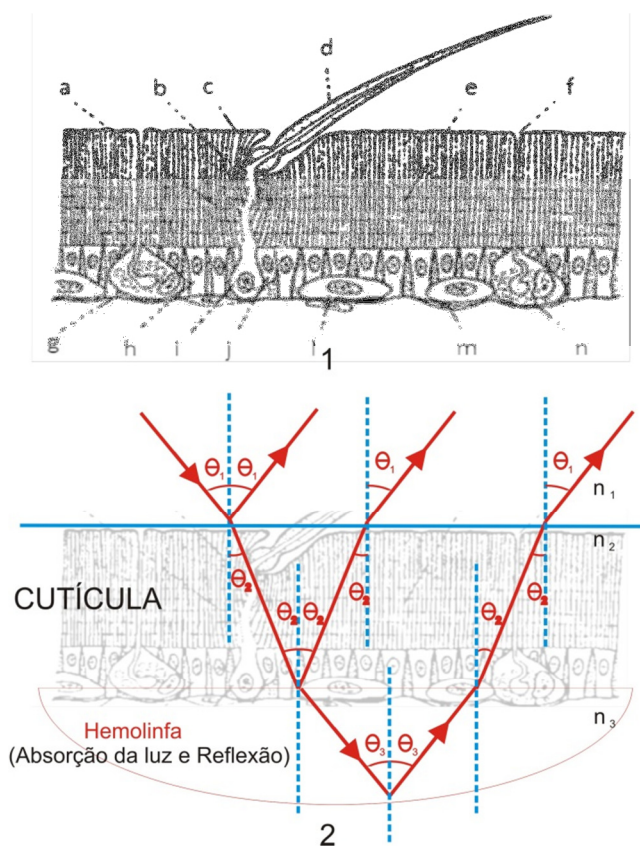


FIGURA 29 – 1- estrutura geral do tegumento de um inseto; a – endocutícula laminada; b – exocutícula; c – epicutícula; d – seta; e – canais de poro; f – duto da glândula dérmica; g – membrana basal; h – célula epidérmica; i – célula tricógena; j – célula tormógena; l – oenócito; m – hemócito aderente à membrana basal; n – glândula dérmica. 2- Esquema sobre reflexão, refração e absorção da luz sobre os cupins da espécie *Cryptotermes brevis*. Fonte: Adaptado de Macedo (2010).

Entretanto, para esta primeira hipótese, a luz incidente teria a capacidade de atravessar inclusive a região da exocutícula sem ter uma absorção significativa. Assim sendo, a primeira hipótese considera a trajetória da luz, com suas alterações em direção de propagação e velocidade, e uma penetração suficiente para atravessar toda a extensão da cutícula, chegando à epiderme dos insetos testados a

qual, por influência da hemolinfa, refletiu uma luz com características diferentes daquelas apresentadas no início do teste.

A segunda possibilidade para este escurecimento da região torácica e abdominal está associada à alteração de potencial elétrico da cutícula causada pela indução de uma diferença de potencial elétrico na superfície do corpo do inseto, como já mencionado. De acordo com Ribeiro (2006), a cutícula, pouco ou não esclerotizada, possui alto conteúdo de proteína, que tende a ser hidrofílica e ter ponto isoelétrico ácido. O campo elétrico induzido sobre a superfície do cupim pode ter tido a capacidade de alterar o equilíbrio isoelétrico da cutícula forçando a mesma a sofrer um processo de esclerotização para voltar a uma situação estável, pois Ribeiro (2006) ressaltou que elevadas concentrações de quitina e proteína tem ponto isoelétrico alcalino e carga positiva em pH fisiológico. O autor descreve ainda que a esclerotização é um processo químico, que ocorre após a muda, em que moléculas individuais de proteínas são ligadas por quinonas, para criar placas rígidas do exoesqueleto.

Ou seja, em resposta a alteração do potencial elétrico da superfície dos cupins, os mesmos iniciaram um processo de esclerotização para reequilibrar eletricamente o estado alterado de sua cutícula. Este processo pode ter elevado o nível de artropodina, conforme Forattini (2006), na região, fazendo com que houvesse o escurecimento visualizado.

Os cupins testados exibiram a tendência de variar a cor e, ou tonalidade de um estado inicial mais claro para um mais escuro. Este processo ocorreu gradualmente até o fim das observações e, a variação total, pode ser vista na tabela 5, a qual foi embasada na paleta de cores Pantone (APÊNDICE I). Estes resultados apresentados na tabela 5 não permitem definir qual das hipóteses levantadas para o escurecimento visualizado é mais correta, mas, indica que ambas podem ocorrer simultaneamente. Quando o escurecimento tende a uma cor mais clara, como nos insetos 2 e 4 da primeira e segunda repetições, respectivamente, tem-se uma ênfase na primeira possibilidade apresentada (penetração da luz e reflexão da cor da hemolinfa). Quando o escurecimento varia para uma cor mais escura, tendendo ao preto, a segunda hipótese parece mais coerente, pois o escurecimento visualizado é compatível com a coloração apresentada em consequência da alta esclerotização do exoesqueleto, como visualizado nos insetos 3 e 1 das segunda e terceira repetições.

Entretanto, quando se tem um escurecimento com o surgimento de cores diferentes da composição inicial, como o verde observado nos cupins 4 e 2 das segunda e terceira repetições e o vermelho no inseto 4 da primeira repetição, pode-se dizer que os dois fenômenos ocorreram simultaneamente, fazendo surgir de forma combinada esta nova cor.

TABELA 5 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Temperatura Padrão.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1205C – 80	Pantone 141C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 145C – 80
2	1	Pantone 141C – 50	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 80
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C - 80
3	1	Pantone 141C – 70	Pantone 1395C – 90
	2	Pantone 1205C – 100	Pantone 1295C – 90
	3	Pantone 141C – 70	Pantone 1255C – 60
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 146C – 100
4	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 145C – 70
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 145C – 80
	4	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 90
5	1	Pantone 141C – 70	Pantone 1245C – 80
	2	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 90
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 1255C – 60
	4	Pantone 1245C – 80	Pantone 146C – 100

No intervalo das observações de 25 e 30 minutos, percebeu-se que os insetos passaram a exibir uma rigidez em seus corpos a partir da interseção tórax-abdômen, como se tivesse ocorrido uma fusão entre os segmentos, mesmo sendo do tipo sésil, demonstrando uma perda de flexibilidade nas regiões moles, apódema, do exoesqueleto. Para isto, considerou-se que a alteração do potencial elétrico da superfície dos cupins desencadeou um processo forçado de esclerotização da cutícula, como descrito anteriormente, pois, de acordo com Ribeiro (2006), a esclerotização é um processo químico, que ocorre após a muda, em que moléculas individuais de proteínas são ligadas por quinonas, para criar placas rígidas do exoesqueleto. Essas ligações cruzadas com quinonas não ocorrem na presença de altas concentrações de proteínas elásticas, ou seja, na endocutícula.

Neste intervalo percebeu-se que um cupim, da segunda repetição, deslocou-se deixando um líquido em sua trajetória como consequência do seu arraste de abdômen pela superfície de madeira. Isto pode estar associado à perda de líquido abdominal, por intermédio da ruptura do exoesqueleto dada sua perda de flexibilidade e o inchaço abdominal.

Para o tempo de 30 minutos, foi verificado um escurecimento mais nítido do abdômen e tórax, entretanto foi demonstrado na tabela 5 o resultado final para a alteração de tonalidade com o intuito de simplificar a apresentação dos resultados obtidos. Neste mesmo tempo, dois cupins, de repetições diferentes, movimentaram-se em círculos e ambos estavam com um comportamento agitado de movimentação, quanto ao deslocamento e mobilidade de segmentos. Isto provavelmente ocorreu, segundo a lei de Faraday, como uma resposta à diferença de potencial elétrico induzida na superfície do corpo dos insetos resultante de seus movimentos através do campo magnético, conforme discutido anteriormente no tempo de cinco minutos.

Percebeu-se também, em todas as repetições, que os insetos se movimentaram pela base da caixa de teste mantendo uma distância do centro da mesma, onde estava o eletroímã, caracterizando uma área expandida da região de preferência (FIGURA 30). Isto foi possível pela simetria geométrica do eletroímã e da caixa de teste, assim a variação da intensidade do campo eletromagnético manteve uma relação direta com a simetria da caixa de teste que se alterou, proporcionalmente da mesma maneira ao longo dos eixos cartesianos X, Y, Z (FIGURA 30).

Considerando as cinco repetições, 50% dos cupins estavam nas paredes da caixa de teste, acima da metade da altura da mesma. Isto veio de encontro com o já exposto, reforçando a ideia de que os cupins podem perceber as variações do campo eletromagnético e tendem a procurar regiões com menor intensidade de campo. Este fenômeno de taxia negativa é importante para aplicações práticas do campo eletromagnético, pois apresenta características ideais para tratamentos curativos e preventivos, funcionando de forma a expulsar os cupins de uma região onde o campo é aplicado, como uma peça de madeira, bem como formando uma barreira impedindo a aproximação destes xilófagos a uma dada região.

No tempo de 35 minutos os cupins começaram a demonstrar um comportamento de depressão metabólica mais intensa, em que 16 dos 20 insetos ficaram imóveis, apenas mantendo uma movimentação intensa das antenas. Dos outros quatro cupins em movimento, dois tiveram descontrole de tórax, abdômen e antenas, cujas causas foram anteriormente discutidas.

Aos 40 minutos de observação os insetos mantiveram a tendência de imobilidade e 13 indivíduos permaneceram nesta condição. Ressalta-se que dois dos cupins em movimento exibiam a característica de serpentear o corpo e outros três demonstraram descontrole de pernas, sendo visualizadas quedas das superfícies laterais da caixa de teste e, para um dos insetos, queda lateral na superfície da base.

Aos 45 minutos foi percebido um aumento no inchaço abdominal para os insetos da primeira repetição, bem como uma concentração destes nas proximidades dos cantos inferiores da caixa. Esta posição é, de acordo com as figuras 24, 25, 26 e 27, a região de menor intensidade na base da caixa de teste. Para as demais repetições, quatro cupins exibiram movimentação de serpentear o corpo e, em seis indivíduos, um maior escurecimento da extremidade abdominal. Cinco insetos ficaram imóveis e, outros três, apresentaram descontrole da região torácica e abdominal, e um destes teve descontrole das antenas.

De acordo com as observações, os efeitos do campo eletromagnético sobre os insetos foram mais intensos à medida que o tempo foi passando, principalmente na relação de deslocamento, pois os insetos pareciam estar mais lentos e pesados a cada observação. Da mesma forma, o escurecimento visualizado na região abdominal e torácica se intensificou a cada instante até o final do teste, sendo, em alguns casos, visualizada nas observações pós-teste. Assim, nos tempos de 50 e 55

minutos, em todas as repetições, todos os insetos estavam localizados nas superfícies laterais, onde três ficaram imóveis e os demais tiveram uma movimentação lenta e pesada. Isto demonstrou a tendência dos cupins em procurar regiões de menor intensidade de campo, pois anteriormente os mesmos sofreram quedas das regiões laterais da caixa de teste, mas retornaram rapidamente as mesmas posições.

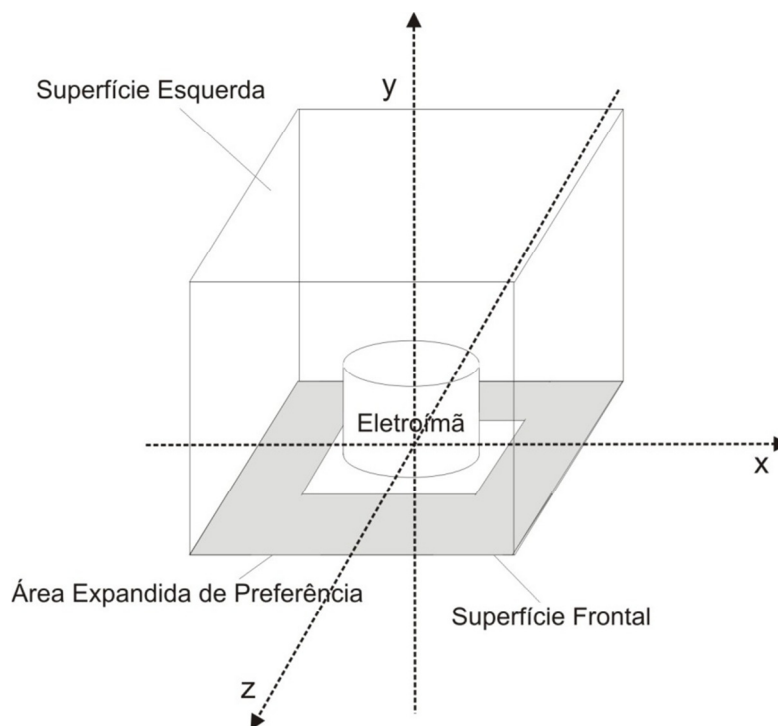


FIGURA 30 – Região de preferência expandida e eixos de coordenadas.

Ressalta-se também que dois dos cupins da primeira repetição, um da segunda e dois da quinta, demonstraram descontrolo de tórax, abdômen e antenas. Na terceira repetição dois cupins estavam imóveis, um em movimentação muito agitada e, o último, em movimento de serpentear o corpo, mas de forma moderada. Todos estes comportamentos se devem a adaptação do organismo dos insetos aos estímulos do campo eletromagnético conforme explicitado anteriormente.

Finalmente, na última observação, foi percebido nas segunda e terceira repetições um maior escurecimento da linha empretecida na parte superior do tórax e abdômen, bem como um cupim, em cada repetição, demonstrou descontrolo de antenas e abdômen. Nestas duas repetições dois indivíduos permaneceram imóveis e dois em movimentação lenta e pesada. Este comportamento foi diferente do apresentado no teste padrão de comportamento e sua possível explicação foi a redução do metabolismo dos cupins em resposta aos estímulos dos campos elétrico

e magnético causado pelas suas relações com o organismo, metabolismo fisiológico dos mesmos. Da mesma forma, nas demais repetições todos os cupins se encontraram em estado de imobilidade, mantendo as antenas em alta atividade, tendo, inclusive, sido observado descontrole por dois dos insetos.

No período de observação pós-teste, para todas as repetições, percebeu-se de forma gradual um aumento do escurecimento da região torácica e abdominal, como resultado da alteração de cor, bem como da extremidade abdominal, consequência da oxidação dos excrementos. Também se verificou um maior empretecimento da linha no abdômen e tórax.

Para a primeira repetição, na observação de 21 horas, foi verificada uma leve redução do inchaço abdominal, provavelmente em decorrência do equilíbrio metabólico ter se reestabelecido na ausência da influência do campo eletromagnético. Entretanto, os cupins ainda demonstraram dificuldades motoras para deslocamento, mantendo a característica de movimentação pesada. Ao final de 72 horas de observação foram encontrados dois insetos mortos.

Na segunda repetição, um dos cupins, após uma hora do final do teste encontrava-se grudado ao chão por um líquido, aparentemente proveniente de uma ruptura da parte posterior do abdômen. Este mesmo inseto, nas 19 horas de observação, passou a exibir uma deformidade abdominal acentuada em forma de "s", conforme a figura 31. Para esta repetição não foram visualizadas mortes dos insetos.

Para a terceira e quarta repetições foi visualizada uma morte após 72 horas do término do teste. Além das alterações, já expostas, de cor e tonalidade para tórax e abdômen e o surgimento da linha empretecida nestes segmentos, não foram verificadas quaisquer outras variações. O mesmo padrão foi verificado para a quinta repetição, sendo nesta duas mortes observadas.

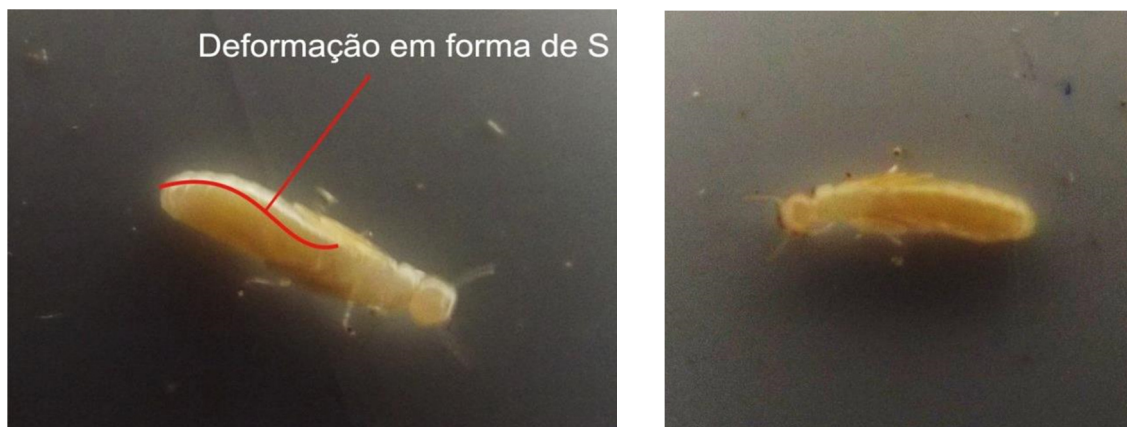


FIGURA 31 – Deformação abdominal apresentada após 19 horas do final da exposição ao campo eletromagnético.

#### 4.2.2 Temperatura de 11 °C

Para a temperatura de 11 °C, os cupins testados tiveram uma tendência ao repouso desde o início do teste. Este comportamento foi mais acentuado, do início ao fim do teste, do que nos testes padrão e à temperatura padrão (FIGURA 32). Pelas das observações, pôde-se perceber que o campo eletromagnético afetou os insetos de forma a alterar seu comportamento natural e que esta alteração ocorreu de forma mais intensa a uma temperatura menor, de 11 °C. Isto sugere que o efeito associado à letargia, depressão metabólica, é mais intenso a baixas temperaturas, levando à ideia de que estas têm a capacidade de interferir com maior eficiência no potencial elétrico biológico dos insetos (Equação de Nernst). Isto pode ser considerado a partir da figura 32, pois em um mesmo ambiente (temperatura, umidade e campo eletromagnético), alterando apenas uma variável, obtiveram-se resultados distintos, sendo a tendência dos cupins ao repouso duas vezes maior nos submetidos ao tratamento à temperatura de 11°C que aos do tratamento padrão (18 °C.).

##### A) Efeitos do tratamento

Os efeitos observados para a temperatura de 11 °C (TABELA 6) foram os mesmos que os da temperatura padrão (TABELA 4), sendo diferentes apenas a intensidade destes fenômenos.



No momento em que o eletroímã foi ligado os cupins responderam prontamente ao campo eletromagnético induzido. A reação observada ocorreu de forma mais intensa que nos insetos testados à temperatura padrão, mesmo quando tiveram comportamentos semelhantes.

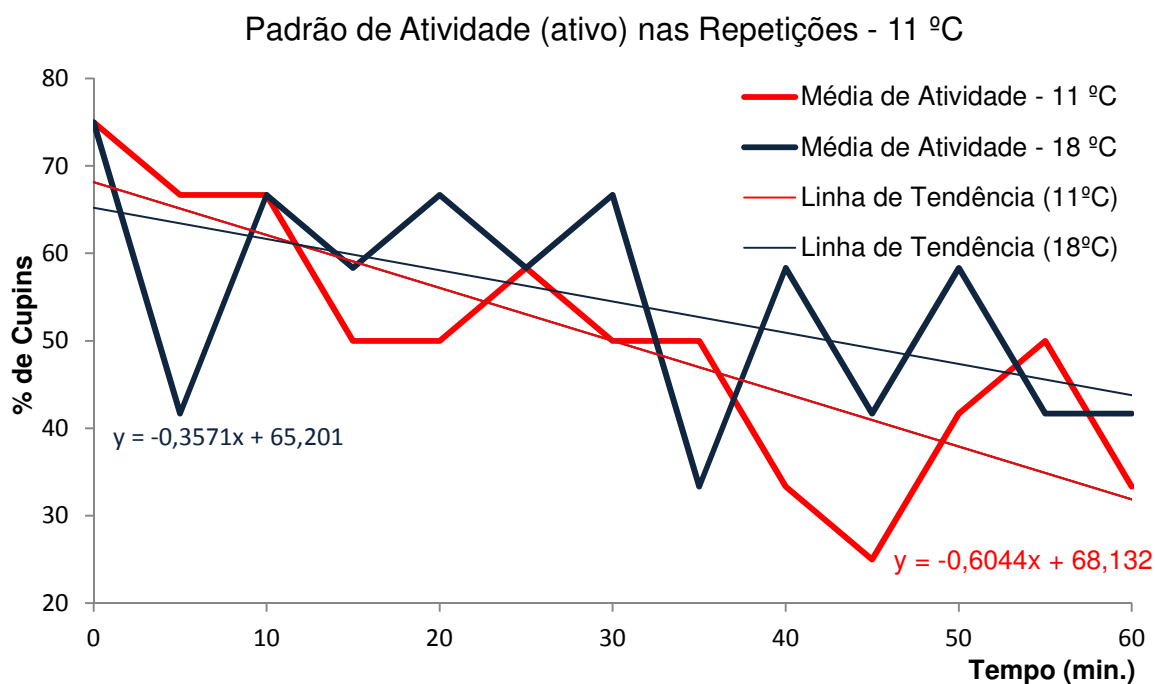


Figura 32 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 11 °C e no tratamento padrão (18 °C) - Método de grupo.

Verificou-se que sete indivíduos, que estavam em movimento moderado antes do campo ser aplicado, exibiram uma desorientação quanto ao deslocamento associada à alta atividade de suas antenas. Foi percebida uma tendência de alinhamento do corpo, de maneira a se afastarem do eletroímã. Entretanto, em consequência da desorientação, os cupins não apresentaram uma movimentação definida no início da exposição ao campo. Ao mesmo tempo reduziram suas velocidades passando, gradualmente, a uma movimentação mais lenta e com pouca variação de posição.

Dentre as diferentes repetições, cinco dos insetos testados pararam imediatamente suas atividades motoras quando o eletroímã foi ligado. Os outros cupins iniciaram um movimento de alinhamento do corpo e se afastaram, taxia negativa, do centro da caixa de teste em busca da região de preferência (como no tratamento de temperatura padrão).

TABELA 6 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético, à temperatura de 11 °C.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
2ª Repetição	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	1
3ª Repetição	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	0
4ª Repetição	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	1
5ª Repetição	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	2
Total	20	20	17	14	20	20	20	20	20	20	4

Estes efeitos foram visualizados, possivelmente, pela capacidade dos cupins perceberem o campo eletromagnético e de serem influenciados por ele, como descrito em relação aos magnetorreceptores e o campo elétrico induzido na superfície dos corpos dos cupins.

No tempo de cinco minutos, verificaram-se cinco cupins com descontrole de cabeça, tórax e abdômen. Isto, provavelmente, relacionado ao campo magnético e elétrico, sendo para o primeiro pela ação sobre as partículas com propriedades magnéticas e para o segundo causado pela indução de uma densidade de carga elétrica sobre a superfície do corpo dos cupins causando um efeito em cadeia de despolarização do tecido muscular. Ressalta-se que um dos cupins exibiu um estado de movimentação moderado e em ciclo repetitivo de aproximação e afastamento do eletroímã. Este inseto estava próximo ao eletroímã, ainda na região de início do teste, conforme figura 22. Verificou-se que seis cupins estavam subindo na superfície frontal, com um deslocamento moderado e de forma retilínea. Provavelmente em busca de uma região de menor influência do campo eletromagnético.

Observou-se que quatro dos cupins estavam imóveis, mantendo a movimentação intensa de antenas e outros três em movimentação de serpentear o corpo, sendo um em deslocamento acelerado e dois moderados. Esta movimentação, conforme detalhado anteriormente, ocorreu em decorrência da influência do campo magnético sobre os sensores dos cupins e do campo elétrico induzindo potenciais distintos no corpo do inseto e gerando correntes sobre a superfície de seus corpos.

Um dos cupins teve um deslocamento moderado, mas com intensa movimentação de tórax e abdômen. Esta movimentação ocorreu em forma de serpentear o corpo de maneira quase descontrolada, segundo a metodologia individual de avaliação, sendo assim não classificado devido ao controle motor e equilíbrio apresentado no corpo como um todo e suas patas.

Para o tempo de dez minutos, foi visualizado descontrole em seis cupins, sendo em alguns indivíduos no abdômen e em outros de abdômen e antenas. Foi observado, em um inseto, a perda de equilíbrio e queda, sem, entretanto, se configurar o descontrole de patas do mesmo. Nos demais foi percebido o início de uma movimentação pesada, precursora do arraste de abdômen. Vale ressaltar que

na terceira repetição um dos insetos teve uma movimentação em círculos, aparentemente de forma desorientada.

No tempo de 15 minutos, sete dos 20 insetos estavam subindo a superfície frontal de forma lenta e pesada e dois outros estavam em um estado de imobilidade. Outros três insetos também estavam parados, quanto ao deslocamento, mas com movimentação de segmentos, antenas e patas. Foi verificado que quatro cupins estavam em movimentação agitada de deslocamento e segmentos. Foram observados outros três cupins em movimentação moderada na superfície frontal da caixa de teste, em que um teve descontrole da região do abdômen e consequente desequilíbrio.

Aos 20 minutos de observação foi visualizado alteração de cor na região abdominal, conforme a tabela 7, e o surgimento de uma linha medial empretecida na região do tórax e abdômen. Posteriormente, foi verificado que este foi o início do inchaço abdominal, já observado a partir dos 25 minutos de exposição ao campo eletromagnético.

Como pode ser visualizado na tabela 7, a exposição dos insetos ao campo eletromagnético provocou a mesma tendência de escurecimento observada no teste a temperatura padrão (18 °C). Isto ocorreu por causa dos efeitos metabólicos terem sido desencadeados da mesma maneira para a alteração da hemolinfa, bem como, o processo de esclerotização ser semelhante em termos de arranjos químicos, resultando em uma cor próxima em insetos que passam por este mesmo processo. Verificou-se, também, o achatamento abdominal de um dos cupins testados (FIGURA 33). Provavelmente, isto ocorreu devido a uma lesão abdominal, originada de uma fragilidade do exoesqueleto (perda de elasticidade por esclerotização), por onde o líquido corpóreo esvaiu-se.

Foi percebido que seis cupins tiveram desorientação, executando um movimento de taxia transitório entre positiva e negativa e ao se aproximarem do eletroímã, demonstravam descontrole de antenas e elevada agitação de cabeça. Foram observados quatro cupins imóveis na região de preferência e cinco, em movimentação moderada, nas superfícies frontal e esquerda da caixa de teste. Em consequência de três insetos estarem acima da metade da altura da superfície lateral da caixa, buscando uma região de menor influência do campo eletromagnético, a imobilidade dos outros pode ter sido um indício de repressão metabólica como uma forma de adaptação do organismo ao campo aplicado.

TABELA 7 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Temperatura de 11 °C.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 141C – 70	Pantone 1245C – 70
	2	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 60
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 145C – 60
2	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 90
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 1245C – 60
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1255C – 90
3	1	Pantone 141C – 70	Pantone 141C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 143C – 40
	3	Pantone 141C – 50	Pantone 1255C – 90
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 80
4	1	Pantone 1215C – 90	Pantone 1245C – 80
	2	Pantone 141C – 60	Pantone 141C – 100
	3	Pantone 141C – 50	Pantone 1245C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 141C – 90
5	1	Pantone 141C – 70	Pantone 141C – 100
	2	Pantone 1245C – 80	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 141C – 50	Pantone 143C – 40
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C - 90

Aos 25 minutos de observação todos os cupins da primeira repetição estavam na superfície frontal, entretanto, três deles caíram no momento da observação. Isto ocorreu por causa da perda de equilíbrio oriunda do descontrole apresentado no tórax e abdômen destes insetos, e ainda, um teve descontrole das pernas. Ressalta-se que isto deve ter sido ocasionado graças à despolarização das células do tecido

muscular, dado o campo elétrico induzido no interior da caixa de teste conforme detalhamento anterior.



FIGURA 33 – Achatamento abdominal do cupim da espécie *Cryptoterme brevis* para o tempo de 20 minutos – primeira repetição. Perfil do cupim com achatamento abdominal ao lado de um cupim sadio; imagem obtida com aumento de 3 vezes.

Na segunda repetição, três cupins tiveram descontrolo de tórax e abdômen, e dois estavam em movimentação lenta nas superfícies frontal e esquerda e, um, imóvel na região de preferência. O outro cupim também se encontrava imóvel, porém mantendo sua alta atividade de antenas. Já nas demais repetições não foram percebidos descontrolo de segmentos, mas dois insetos estavam com atividade de deslocamento moderada e movimentação do tórax e abdômen agitados. Os outros cupins permaneceram imóveis. Para os insetos destas repetições foram identificados, de maneira mais nítida, o arraste de abdômen e um inchaço deste segmento.

No tempo de 30 minutos, em todas as repetições, dois cupins permaneceram imóveis e dois em movimentação lenta e pesada. Foi verificado de forma recorrente que os cupins tiveram descontrolo de abdômen, indicando que a temperatura de 11 °C provocou uma maior sensibilidade nos insetos ao campo eletromagnético do que a temperatura padrão, de 18 °C. Para a terceira repetição, um dos insetos parados não apresentou movimento nem mesmo das antenas que, até então, estavam sempre em atividade agitada. Um dos cupins que estavam em movimento nesta repetição estava em deslocamento em círculo e de forma pesada, assim como o outro em movimento, mas este último em deslocamento linear.

Aos 35 minutos, metade de todos os cupins testados estava imóvel e a outra parte em movimentação com um comportamento letárgico e movimentos ondulatórios de corpo, de serpentear, e taxia negativa evidente. Foi percebido em parte dos cupins, tanto nos em movimento como nos imóveis, descontrole abdominal e de pernas e, em alguns, descontrole de cabeça. Ressalta-se que um dos cupins se movimentou com trajetória circular e que a maior quantidade dos insetos testados estava localizada nas superfícies laterais da caixa de teste.

Dos 40 aos 60 minutos de observação os cupins mantiveram o mesmo padrão de comportamento. Permaneceram, em sua maioria, imóveis e os que estavam em movimento, deslocavam-se de forma lenta e pesada, com tendência a taxia negativa. Este deslocamento ocorreu de forma a evidenciar um maior peso abdominal.

Com o passar do tempo foi constatado também um inchaço maior nos cupins e percebeu-se um leve escurecimento da região torácica e abdominal, e este último segmento permaneceu imóvel em todos os indivíduos. Em diversos momentos os cupins exibiram descontrole de segmentos como tórax e cabeça. Estes fatores provavelmente estão relacionados à depressão metabólica e seu desencadeamento de processos fisiológicos descrito na temperatura padrão. Destaca-se que um dos cupins se movimentou em forma de onda, variando a posição relativa do seu corpo da cabeça ao final do abdômen.

Ao final dos 60 minutos de exposição dos cupins ao campo eletromagnético, todos apresentaram um escurecimento do exoesqueleto e houve o surgimento de pontos e linhas empretecidas ao longo de seus tórax e abdomens indicando, provavelmente, necrose de tecido muscular.

Os resultados das observações para a temperatura de 11 °C se demonstraram mais efetivos em termo de causar descontrole de segmentos nos cupins testados do que a temperatura padrão. Ainda de acordo com estes resultados, o segmento mais afetado foi o abdômen, indicando que esta região pode possuir uma maior concentração de partículas com propriedades magnéticas, como indicado por Oliveira (2005), Abraçado (2006) e Savian (2009).

No período de observações pós-tratamento foi verificado que os cupins mantiveram a alteração de coloração, mas a tonalidade tendeu ao escurecimento na medida em que o tempo passou, sendo o resultado final demonstrado na tabela 7.

Para a primeira repetição, foi percebido que após 11 horas de observações a movimentação dos cupins se normalizou em relação ao “peso” abdominal que os deixavam lentos. Entretanto não foi visualizada redução no inchaço abdominal. Após 48 horas houve um aumento no escurecimento da extremidade abdominal de todos os insetos. Possivelmente devido ao aumento da produção de excreta e eliminação de ácido úrico em excesso, em decorrência do elevado índice de resíduos metabólicos na hemolinfa, induzidos pela ação do campo eletromagnético.

Para a segunda repetição, foi verificado nas primeiras horas um aumento no inchaço abdominal e, nas 13 horas, um dos cupins se deslocou deixando um líquido como rastro, provavelmente causado pela ruptura do exoesqueleto e vazamento do líquido abdominal. Na 24<sup>a</sup> hora de observação um dos cupins se movimentava sem sair do lugar por causa do inchaço abdominal, em que este segmento se demonstrou pesado e deformado (não permitindo uma aderência adequada entre pernas e base da caixa). Após 72 horas de observação, um inseto estava morto.

Para a terceira repetição, também se verificou um aumento do escurecimento da extremidade abdominal, bem como a volta à movimentação natural, mas permanecendo o arraste de abdômen. Houve também, após 42 horas, o surgimento de maiores regiões empretecidas no tórax, demonstrando que os efeitos desencadeados pelo campo eletromagnético continuaram ativos, ou de caráter cumulativo, segundo Lai e Singh (2004), nas células levando-as a necrose.

Os mesmos efeitos foram observados para a quarta e quinta repetições, ou seja, pequeno aumento no inchaço abdominal e aumento das áreas empretecidas. Para a quarta repetição foi verificada uma morte após 72 horas do término da exposição ao campo eletromagnético e, para a quinta, duas mortes após o mesmo período.

#### 4.2.3 Temperatura de 25 °C

Para a temperatura de 25 °C, os cupins testados tiveram uma leve tendência ao repouso, sendo menor que a do tratamento à temperatura padrão (FIGURA 34) e à temperatura de 11 °C. Entretanto, mesmo com uma atividade superior ao tratamento à temperatura padrão, a tendência ao repouso foi muito superior ao resultado geral do teste de comportamento padrão e, maior ainda, se considerada



apenas a primeira hora deste teste sem a indução do campo eletromagnético (FIGURA 35). Pôde-se perceber, através das figuras 38 e 39, que com o passar do tempo, o número médio de cupins parados aumentou. Entretanto, os insetos em movimento apresentaram sempre uma atividade agitada, não visualizada nos tratamentos anteriores, onde a tendência foi de movimentação lenta, a qual evidenciou a depressão metabólica para os testes à temperatura de 18 e 11 °C, o que evidencia a associação da temperatura e campo eletromagnético sobre os efeitos observados.

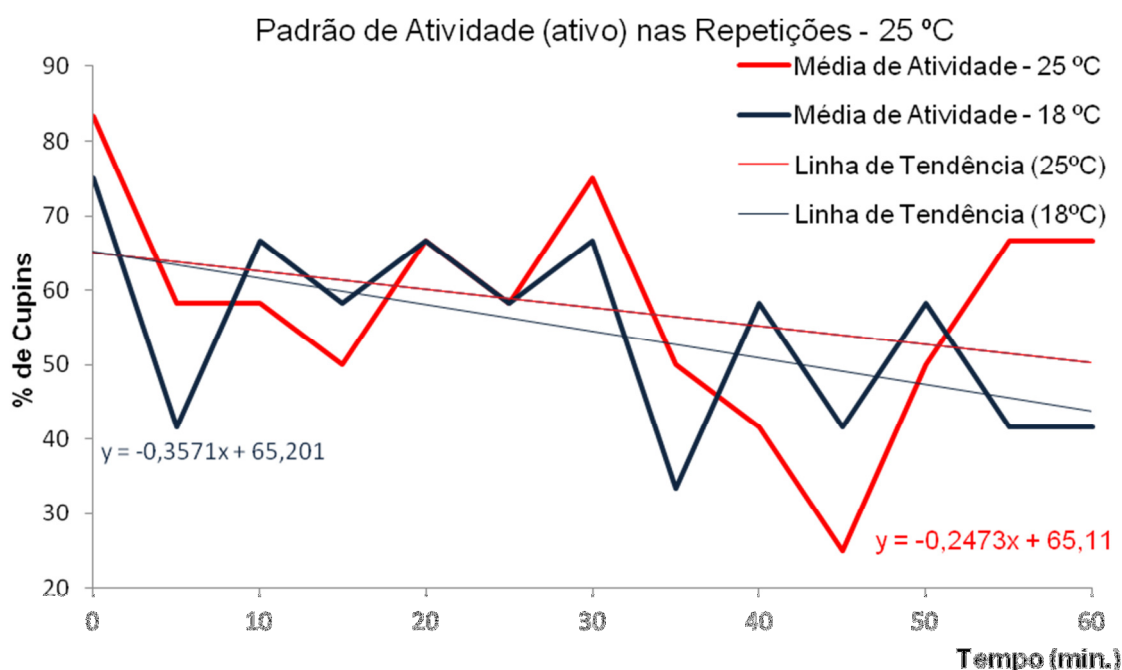


Figura 34 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 25 °C e no tratamento padrão (18 °C) - Método de grupo.

#### A) Efeitos do tratamento

Conforme pode ser visualizado na tabela 8 todos os 20 cupins apresentaram alterações fisiológicas e demonstraram a capacidade de perceber o campo eletromagnético, assim como nas outras temperaturas. Também foi observado alteração de comportamento e mobilidade, bem como descontrole de segmentos na maioria dos insetos testados.

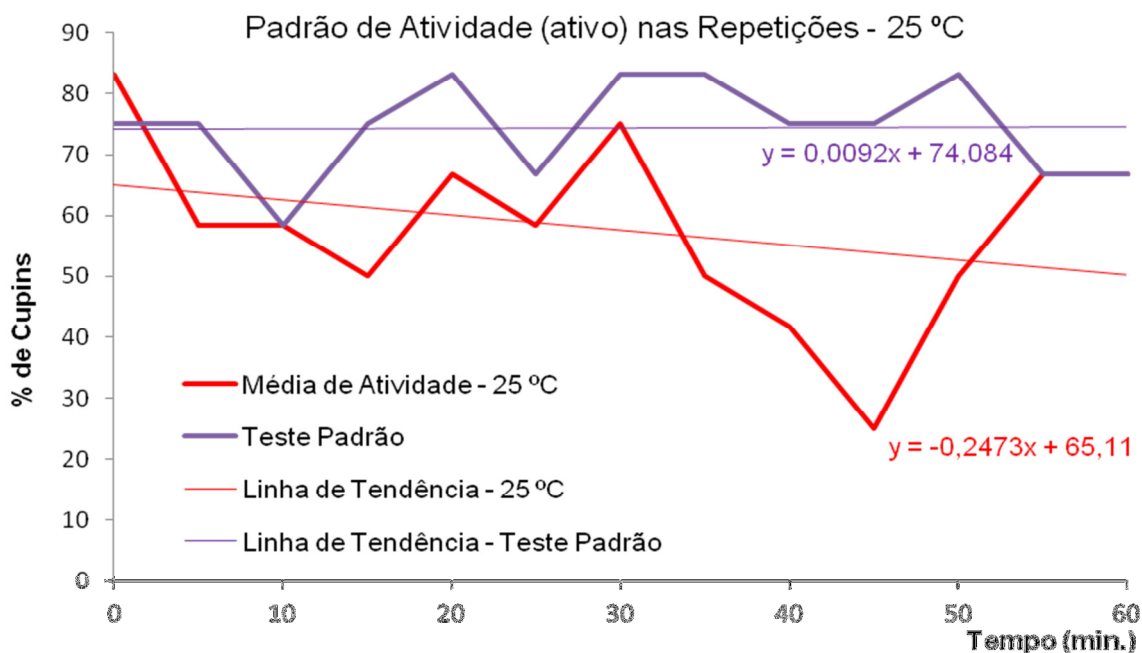


Figura 35 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 25 °C e no teste de comportamento padrão (primeira hora) - Método de grupo.

Foi observado, no momento em que o eletroímã foi ligado, um alinhamento do corpo de todos os insetos nas cinco repetições para uma mesma direção e o início de movimentação de afastamento em relação ao eletroímã, taxia negativa. A movimentação se ordenou a levar os cupins à região de preferência.

Nos cinco minutos de observação foi verificado que três dos cupins não se deslocavam, mas tinham movimentos ondulatórios do corpo, como se estivessem em movimento de serpentear no mesmo lugar. Estes insetos permaneceram parados quanto ao deslocamento, entretanto, tiveram movimentação moderada de cabeça, tórax e abdômen. Quatro outros cupins estavam em movimentação lenta, com taxia negativa, sendo percebido um estado inicial da característica de peso abdominal, normalmente associada ao posterior inchaço abdominal.

Outros quatro insetos tiveram de forma nítida uma movimentação mais pesada, a qual foi precedente de inchaço abdominal, característica esta visualizada em insetos com diferentes padrões de comportamento quanto à movimentação e deslocamento. Estes últimos cupins apresentaram movimentação moderada e lenta, também na região de preferência, mas sem taxia evidente.

TABELA 8 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético, à temperatura de 25 °C.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	0
2ª Repetição	4	4	3	0	4	4	4	4	4	4	1
3ª Repetição	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	2
4ª Repetição	4	4	2	1	4	4	4	4	4	4	2
5ª Repetição	4	4	3	0	4	4	4	4	4	4	0
Total	20	20	11	7	20	20	20	20	20	20	5

Dentre as cinco repetições cinco dos cupins se encontravam imóveis, mantendo movimentação agitada de antenas. Os outros quatro insetos estavam com intensa movimentação de deslocamento e de todas as partes de seus corpos, mas sem demonstrar descontrole das mesmas. A movimentação dos cupins ocorreu dentro da área da região de preferência.

No tempo de dez minutos de observação sete insetos se apresentaram com movimentação moderada, sendo o efeito do eletroímã percebido graças a movimentação de serpentear o corpo para todos estes cupins.

Para outros seis cupins, não foram visualizados efeitos que evidenciassem a influência do campo eletromagnético. Apenas a percepção do campo pelos insetos por intermédio de intensa mobilidade de antenas e a concentração do deslocamento na região de preferência. Entretanto, outros sete cupins estavam parados, em relação ao deslocamento, mas com movimentação de segmentos que variaram de moderada a agitada. Isto indica que, possivelmente, o campo elétrico foi capaz de gerar diferenças de potenciais no corpo dos cupins de forma a fazê-los entrar em movimento por intermédio de descargas elétricas na superfície do corpo dos mesmos e influência nos processos normais de sinapses, como já discutido.

Entretanto, também se considera o fato do campo magnético afetar o equilíbrio dos polos magnéticos das partículas presentes no organismo destes insetos, conforme descritas por Esquivel *et al.* (2004), Oliveira (2005), Abraçado (2006) e Savian (2009).

Para o tempo 15 minutos, foi percebido variações de movimentos nas diferentes repetições. Para um grupo de oito cupins, foi visualizado um movimento cíclico de taxia negativa e positiva dentro da região de preferência. Isto ocorreu graças à variação de intensidade dos campos elétricos e magnéticos em relação à distância do núcleo do eletroímã. Já para outro grupo de cinco cupins, iniciou-se uma movimentação mais pesada, consequente de processos fisiológicos evidenciados posteriormente (FIGURA 28). Para os outros sete insetos observou-se a tendência de serpentear o corpo, sendo provavelmente, em decorrência da movimentação do corpo dos cupins alterarem as influências do campo eletromagnético sobre seus corpos.

Para os tempos subsequentes de observação, os cupins apresentaram a tendência de repouso e, quando em movimento, os insetos estavam sempre agitados. Ressalta-se que, aos 20 minutos de observações, todos os insetos

apresentaram inchaço abdominal e arraste do segmento na base da caixa. Neste mesmo tempo foi percebida a alteração de cor nas regiões torácica e abdominal (TABELA 9).

Foi percebido descontrole de cabeça, tórax, abdômen, antenas e patas em três dos insetos e, outros oito, tiveram descontrole de abdômen e, este segmento, demonstrou-se mais pesado e arrastado com o passar do tempo. Um dos cupins movimentou-se em círculo na região de preferência e 15 outros, a partir dos 30 minutos em média, passaram a concentrar-se nas superfícies laterais da caixa de teste, mantendo esta movimentação até o final da exposição ao campo eletromagnético. Outro fato marcante, visualizado em cinco cupins, foi a tendência de caírem com as pernas viradas para o ar. Aparentemente isto ocorreu pelo desequilíbrio dos cupins ocasionado pela deformação abdominal (inchamento).

Também se verificou a movimentação de serpentear o corpo em quatro insetos e aparente perda de coordenação. Tanto para a primeira repetição quanto para a terceira, foram observadas alterações de cores em todos os insetos durante os tratamentos, mas este fenômeno foi mais evidenciado nas observações pós-teste, sendo o resultado final visualizado na tabela 8.

No período de observações pós-tratamento foi verificado um aumento no escurecimento do exoesqueleto e o surgimento de uma linha, na região torácica e abdominal, e manchas pretas no corpo dos cupins. Para todos os insetos, das cinco repetições, foi percebido um escurecimento da extremidade abdominal, em decorrência dos processos fisiológicos desencadeados pelo campo eletromagnético.

Para a segunda, terceira e quarta repetições houve a ocorrência de mortes, sendo, para a segunda, uma após 42 horas, para a terceira, duas após 42 e 72 horas, respectivamente e, para a quarta, duas após 42 horas da exposição ao campo eletromagnético.

TABELA 9 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Temperatura de 25 °C.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 7406C – 70
	2	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 60
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 143C – 60
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 141C – 70
2	1	Pantone 1205C - 90	Pantone 1245C – 90
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 100
	4	Pantone 141C – 70	Pantone 145C – 70
3	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 70
	2	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 100
	3	Pantone 141C – 50	Pantone 145C – 70
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 50
4	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 60
	2	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 90
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 90
	4	Pantone 1215C – 90	Pantone 145C – 60
5	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1215C – 80	Pantone 145C – 70
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 7460C – 70
	4	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 60

#### 4.2.4 Temperatura de 0 °C

Para o tratamento a temperatura de 0 °C, os cupins testados tiveram uma tendência maior ao repouso que nos testes anteriores, figura 36. Apesar da baixa temperatura, o principal fator responsável pela inatividade dos insetos foi a presença

do campo eletromagnético, que impactou de forma expressiva todos os cupins. Isto pode ser afirmado considerando os resultados obtidos e aliando às informações de Schmidt-Nielsen (2002) e Leite (2011), que reforçam a ideia de que os cupins estão adaptados ao frio e seus organismos possuem mecanismos eficientes de defesa para um tempo curto de exposição, como o do teste realizado.

Os resultados obtidos nos tratamentos de 11 e 25 °C indicaram que menores temperaturas ambientes favoreciam os efeitos do campo induzido sobre os insetos. Concordante com esta hipótese, neste tratamento se verificou a maior intensidade de repressão metabólica, conforme indicado na tabela 10, além de elevada alteração de cor e descontrole de segmentos. Deve-se ressaltar que os cupins classificados como parados para este tratamento, permaneceram imóveis inclusive em relação aos seus segmentos, enquanto aqueles do tratamento a 50 °C mantiveram seus movimentos, principalmente de antenas e patas, em um alto nível de agitação.

Deste modo, de acordo com as estratégias descritas por Fraga (2002), os cupins submetidos a temperatura de 0 °C optaram pela redução da velocidade de utilização de ATP, ou seja, de depressão metabólica. Este fato pode ser evidenciado graças à demora no surgimento de indícios de necrose, que ocorreu apenas ao final da exposição dos cupins ao campo eletromagnético.

#### A) Efeitos do tratamento

Conforme pode ser visualizado na tabela 11 todos os 20 cupins tiveram os efeitos gerais observados nos outros testes com diferentes temperaturas. Conforme já discutido, às baixas temperaturas, por intermédio da alteração metabólica dos cupins, os tornaram mais sensíveis aos efeitos do campo eletromagnético, fazendo com que um maior número de indivíduos fosse afetado de maneira a ter todos os efeitos associados ao campo aplicado.

No momento em que o eletroímã foi ligado, o efeito do campo eletromagnético ocorreu de forma, aparentemente, mais intensa que nos testes anteriores. Não foi visualizado o alinhamento do corpo, nem o efeito de taxia positiva ou negativa. Entretanto, para todos os cupins das cinco repetições, foi verificado que cessaram suas atividades de movimento imediatamente, permanecendo imóveis nos instantes iniciais. Esta imobilidade foi percebida pelos insetos como se tivesse sido colocado um peso sobre o corpo todo. Isto provavelmente ocorreu pela maior sensibilidade

dos cupins ao campo eletromagnético. Este fato indica que houve uma alteração significativa no potencial elétrico das células dos cupins que permitiu, de forma mais intensa, o processo de indução de corrente no corpo e, ao mesmo tempo, intensificou as relações de ordem magnética, quanto a existência de um possível magnetorreceptor e desencadeando os processos nocivos fisiológicos (FIGURA 28), observados posteriormente.

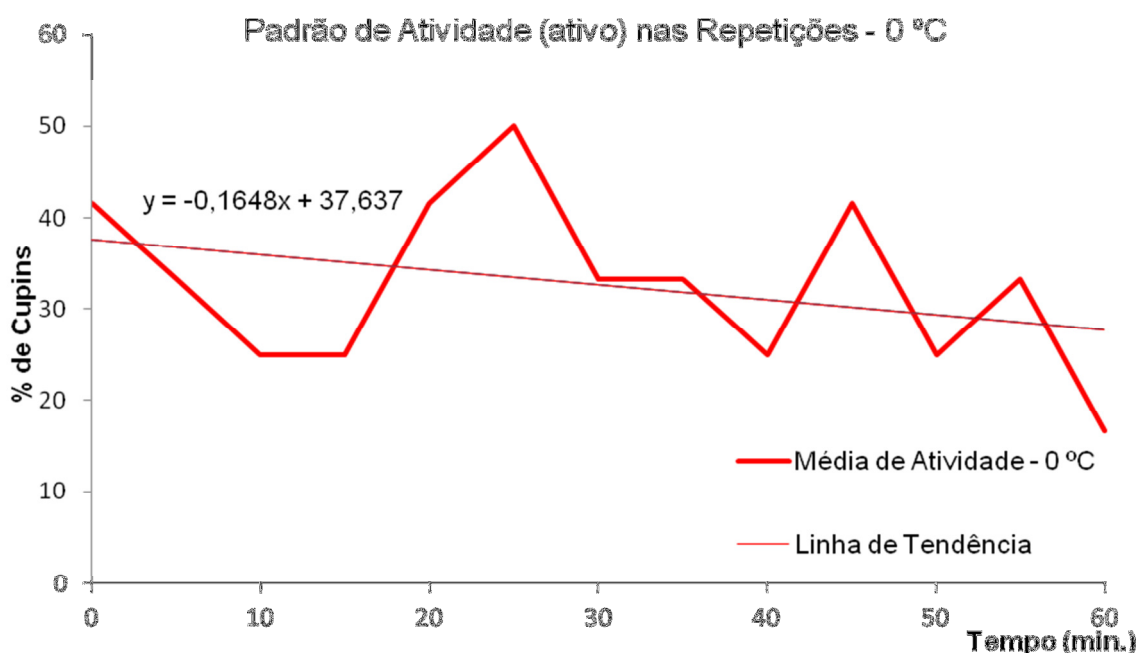


FIGURA 36 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 0 °C - Método de grupo.

Em todas as observações foi verificado que os insetos sempre permaneceram imóveis, exceto pela movimentação de antenas, sendo raramente observado movimento lento, o qual ocorria sempre de forma a se afastar do eletroímã. Aos 15 minutos de observação já se notou inchaço abdominal, o qual se intensificou até o final do tratamento e, a partir dos 30 minutos, evidenciou-se o arraste de abdômen.



TABELA 10 – Classificação média das atividades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao longo dos tratamentos – Método de grupo

Temperatura °C	Comportamento			Coeficiente Angular % min <sup>-1</sup> (Tendência de Atividade)
	Parados	Lento ou Moderado	Acelerado ou Agitado	
Padrão (18)	8	8	4	- 0,3571
11	10	10	0	- 0,6044
25	8	7	5	- 0,2473
0	15	4	1	- 0,1648
50	12	4	4	- 0,3663

Foi verificado, em 11 cupins, o descontrole de segmentos a partir dos 20 minutos de observação, sendo o abdômen e tórax os mais recorrentes. Entretanto, o descontrole de antenas e patas também foi visualizado. Novamente, a explicação para este fenômeno está na despolarização das células, provavelmente, do tecido muscular, oriunda da indução de corrente elétrica na superfície do corpo dos cupins gerada por intermédio da atuação do campo elétrico e, também, pelas interações de partículas magnéticas e o campo magnético.

A partir dos 25 minutos de observações, em média, percebeu-se alteração de cor da estrutura do tórax e abdômen. Como pode ser visto na tabela 12, houve uma tendência de escurecimento em todas as repetições, sendo na primeira a coloração final mais homogênea do que nas demais. Isto indica, possivelmente, que os cupins passaram por processos fisiológicos semelhantes e de mesma intensidade. Para isto supõe-se que, entre os quatro indivíduos, houve uma relação de alimentação e atividade semelhante.

Aos 30 minutos, cinco cupins se movimentaram de forma pesada, e com arraste de abdômen, em trajetória circular e cinco insetos estavam em movimento ondulatório de corpo, serpenteando, e um indivíduo apresentou as duas tendências de movimento. Isto vem a reforçar que a movimentação dos cupins afeta a interação do campo eletromagnético sobre seus corpos e que o organismo destes insetos são sensíveis a pequenas variações, conforme descritas por Kaune (1993).



Foi verificado, aos 60 minutos, o surgimento de manchas empretecidas no tórax e abdômen dos cupins testados, bem como, de uma linha e pontos pretos em seus abdômens, provavelmente, como resultado da necrose de tecido. O fato do efeito associado a necrose surgir de forma mais tardia que os outros tratamentos, indica a superior supressão metabólica que o campo eletromagnético causou à temperatura de 0 °C. Este fato vem a evidenciar o observado desde o início do teste, que os cupins tiveram sua atividade inibida frente a presença do campo aplicado dada às relações magnéticas e elétricas quanto a movimentação dos cupins.

Percebeu-se também, neste tempo, que os insetos alados, presentes em algumas repetições, apresentaram uma tendência maior ao inchaço abdominal, provavelmente, por causa das estruturas relacionadas ao sistema reprodutor. Ressalta-se ainda que, quatro dos cupins estavam mortos ao final de teste, entretanto não sendo possível determinar o tempo em que isto ocorreu, pois a maioria destes permaneceram imóveis desde o início do teste.

Os cupins que se mantiveram em movimento, sempre estiveram em uma das superfícies laterais e acima da metade de sua altura. Este comportamento reforça a ideia que os cupins tendem a se afastar da região onde o campo eletromagnético é mais intenso e, que os outros cupins, foram influenciados com maior intensidade a permanecerem parados, levando-os a um estado elevado de repressão metabólica.

No período de pós-tratamento, em alguns indivíduos, da primeira e segunda repetição, houve um aumento do escurecimento da linha abdominal e torácica, bem como da extremidade abdominal.

Após 12 horas de observações, os cupins da segunda repetição deixaram de ter a linha escurecida antes visível em seu abdômen. Isto indica que este escurecimento pontual, em forma de linha, foi de origem metabólica e, após o reestabelecimento do funcionamento natural, o organismo eliminou os constituintes metabólicos que ocasionaram esta variação.

Para a segunda, quarta e quinta repetições, após 72 horas, houve a ocorrência de quatro mortes, totalizando, nas cinco repetições, oito cupins mortos de 20 iniciais.

Ressalta-se que, imediatamente após o término dos tratamentos, a coloração dos cupins havia variado de uma cor mais clara a uma mais escura, mas a grande variação observada ocorreu no período de pós-tratamento. Isto sugere que a

exposição ao campo eletromagnético desencadeou o processo de esclerotização do exoesqueleto de forma a torná-lo mais escuro (TABELA 12).

TABELA 12 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Temperatura de 0 °C.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 146C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 100
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 100
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 100
2	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 145C – 60
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 1255C – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 141C – 70	Pantone 1395C – 70
3	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 80
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 90
	3	Pantone 141C – 70	Pantone 154C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 100
4	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 100
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 1255C – 100
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 100
5	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 100
	2	Pantone 141C – 70	Pantone 154C – 90
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C - 100

#### 4.2.5 Temperatura de 50 °C

Para o tratamento a 50 °C foi verificado o mesmo padrão de comportamento dos testes anteriores, ou seja, tendência ao repouso com o passar do tempo. Conforme figura 37, pode-se perceber que a redução na atividade ocorreu de forma intensa, sendo superior a todos os tratamentos anteriores. Isto, provavelmente, ocorreu pela elevada taxa metabólica desencadeada pelo campo eletromagnético aliado ao estímulo causado nos insetos decorrente da temperatura. Entretanto, de acordo com a tabela 10, o número médio de insetos inativos, segundo o método de grupo, foi próximo ao do tratamento a 0 °C. Ressalta-se novamente que, para o tratamento anterior, os insetos permaneceram imóveis, com restrições de movimentação inclusive nos segmentos e membros acessórios.

Já no presente teste, temperatura de 50 °C, os cupins permaneceram parados quanto ao deslocamento, mas em constante movimento quanto à atividade de segmentos, patas e antenas. Este fato demonstra que, a altas temperaturas, a estratégia adotada pelos cupins, comentado por Fraga (2002), é a de aumento da velocidade da glicólise, impactando mais agressivamente o ciclo apresentado na figura 28.

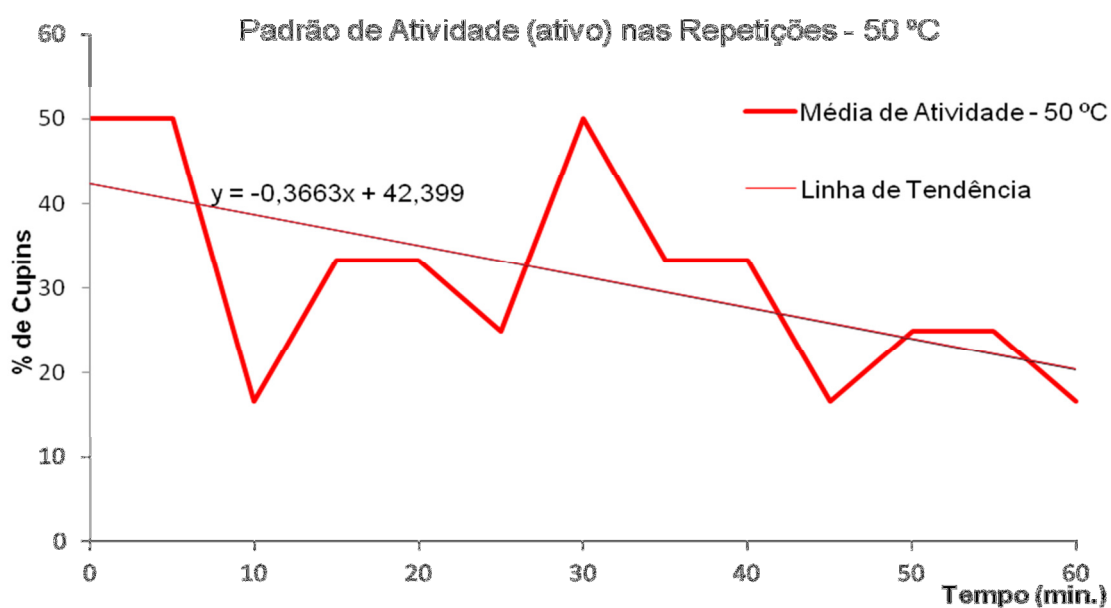


FIGURA 37 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento à 50 °C - Método de grupo.

### A) Efeitos do tratamento

Os efeitos observados nos cupins submetidos ao campo eletromagnético à uma temperatura de 50 °C podem ser visualizados na tabela 13. Perceberam-se os mesmos efeitos dos testes anteriores, o que indica que o campo aplicado foi o responsável pelas alterações sofridas pelos insetos, já que foi o elemento de estresse comum a todos, conduzindo os resultados à mesma direção.

No momento em que o eletroímã foi ligado, os cupins, das cinco repetições, alinharam-se e iniciaram uma movimentação de taxia negativa. Apenas dois insetos da terceira repetição se agruparam e permaneceram com os corpos encostados um no outro por alguns instantes (FIGURA 38). Este comportamento sugeriu que, pelo do contato, os cupins estavam estimulando um ao outro, fato este que pode estar relacionado ao efeito magnético do campo induzido e percepção do mesmo pelos insetos por intermédio de um magnetorreceptor.

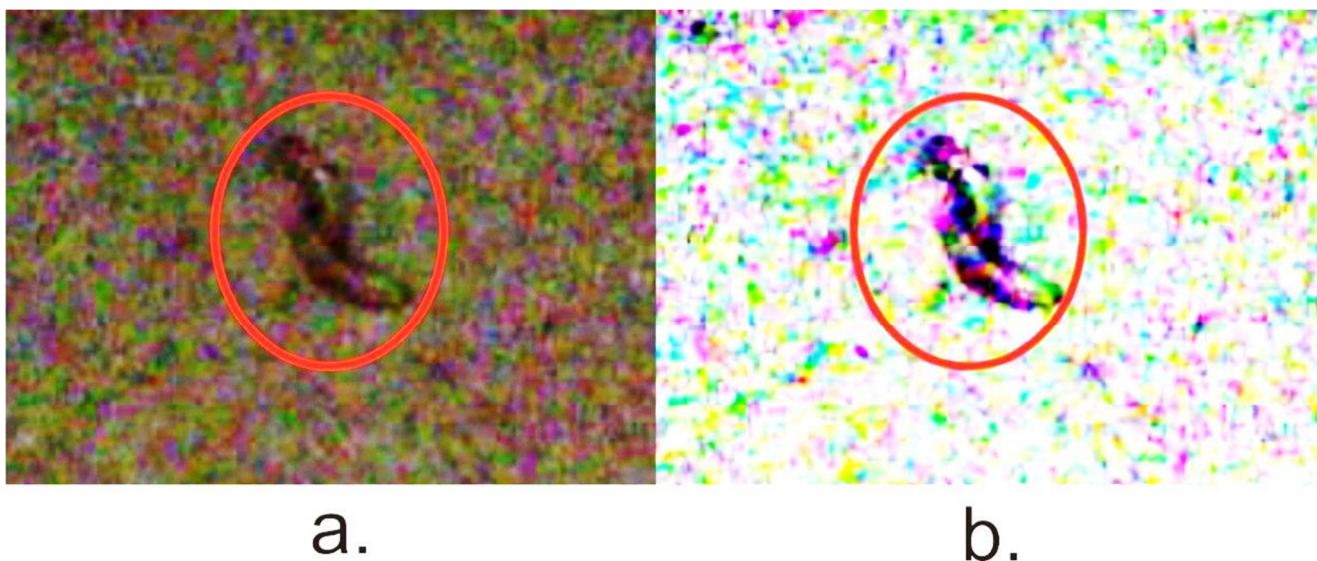


FIGURA 38 – Agrupamento de cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no instante 0 de observação. a. – *frame* capturado de vídeo com aumento de 3 vezes; b. – *frame* a. com ajuste de cor e contraste para auxiliar a percepção do corpo dos cupins.

TABELA 13 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético, à temperatura de 50 °C.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3
2ª Repetição	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	1
3ª Repetição	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
4ª Repetição	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	2
5ª Repetição	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	2
Total	20	20	13	16	20	20	20	20	20	20	9

Em quase todas as observações, verificou-se que os cupins tiveram uma movimentação diferente do teste padrão de comportamento. Segundo este primeiro teste, os cupins mantinham uma harmonia de movimentação entre o método de grupo e o método individual, ou seja, quando um inseto estava agitado, seus segmentos e membros acessórios também estavam agitados e, quando parados, permaneciam com as partes de seu corpo paradas ou letárgicas.

Para o tratamento a 50 °C, os cupins testados tiveram a tendência de permanecerem parados, quanto à posição, mas em constante e agitado movimento, segundo o método de análise individual. Isto possivelmente aconteceu, novamente, como uma forma de adaptação às influências de movimento e diferenças de potenciais gerados a partir dos campos elétricos e magnéticos. Ainda sob influências destes fenômenos, observou-se alterações nos padrões de movimentação de vários cupins, sendo os mais frequentes e recorrentes a movimentação em círculos e de movimentos ondulatórios de segmentos, como de serpentear o corpo. Estas movimentações, possivelmente, ocorreram devido às partículas magnéticas presentes no corpo dos cupins e a geração de diferenças de potencial na superfície dos mesmos, ou seja, efeitos elétricos e magnéticos.

Outro padrão de movimento identificado foi o de poucos insetos permanecerem na região de preferência e, a grande maioria, estarem nas superfícies laterais, acima da metade da altura. Reforça-se que, na base da caixa, a região de preferência caracteriza a área de menor intensidade de campo e, nas superfícies laterais, quanto mais altos os cupins estavam, menor era o campo atuante sobre eles.

Os cupins também tiveram, de forma recorrente, descontrole de tórax e abdômen ao longo de todo o tempo de observações, tendo a mesma causa provável dos tratamentos anteriores. Dois cupins da segunda repetição demonstraram descontrole de tórax, abdômen e patas, tendo como consequência perda de equilíbrio e queda à base da caixa. Ressalta-se ainda que para os insetos da terceira e quinta repetições houve também o descontrole de cabeça, além dos membros e segmentos já citados.

Foi verificado o escurecimento do exoesqueleto já aos 20 minutos de exposição ao campo eletromagnético, sendo este efeito intensificado ao longo do tempo, inclusive no pós-tratamento (TABELA 14).



TABELA 14 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Temperatura de 50 °C.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 141C – 70	Pantone 1385C – 90
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1395C – 90
	3	Pantone 141C – 70	Pantone 146C – 100
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 70
2	1	Pantone 141C – 70	Pantone 7406C – 80
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 142C – 70
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 141C – 50	Pantone 1245C – 70
3	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 70
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 7403C – 100
	4	Pantone 1205C – 80	Pantone 7403C – 80
4	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 1395C – 90
	2	Pantone 141C – 50	Pantone 142C – 70
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 146C – 70
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
5	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 141C – 70	Pantone 7406C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 7403C – 100
	4	Pantone 141C – 50	Pantone 1245C - 70

As variações de cores observadas seguiram o mesmo padrão dos outros tratamentos, ou seja, escurecimento ao longo do tempo, provavelmente, em decorrência de uma esclerotização forçada. Os resultados, com base nas outras repetições, sugerem que este processo de esclerotização ocorre mais intensamente em temperaturas maiores.

Em média, a partir dos 35 minutos de observação foi percebido o início do inchaço abdominal ao mesmo tempo em que se verificou o escurecimento da

extremidade abdominal dos cupins testados, indicando o processo de formação excessiva de ácido úrico no sistema excretor dos cupins.

Os cupins testados aparentemente não se mostraram incomodados com a temperatura ambiente 50 °C, pois na maioria das observações os mesmos se encontravam nas regiões mais próximas aos trocadores de calor, sendo conseqüentemente as áreas mais quentes da caixa de teste. Cruzando esta informação com os resultados obtidos no tratamento a 0 °C, pode-se supor que altas temperaturas provocam menores efeitos diretos do campo eletromagnético sobre o corpo dos insetos, como por exemplo a geração de correntes elétricas na superfície do corpo. Deste modo, os cupins buscaram regiões mais quentes como uma forma de proteção contra o campo aplicado.

Entretanto, considerando os efeitos fisiológicos visualizados em todos os testes, não se pode excluir a possibilidade de os cupins terem procurado estas regiões quentes por estas serem a menos propícia a estresse em decorrência direta do campo eletromagnético.

Para o tempo de 60 minutos se verificou que um dos cupins estava com o abdômen murcho, como se o mesmo tivesse se rompido e liberado o líquido de seu interior, hemolinfa. Este cupim morreu após 48 horas do término do teste, deixando apenas seu exoesqueleto, conforme figura 39. Ainda aos 60 minutos, última observação, foi identificado o surgimento de uma linha escurecida na parte superior, e medial, no tórax de 13 cupins.

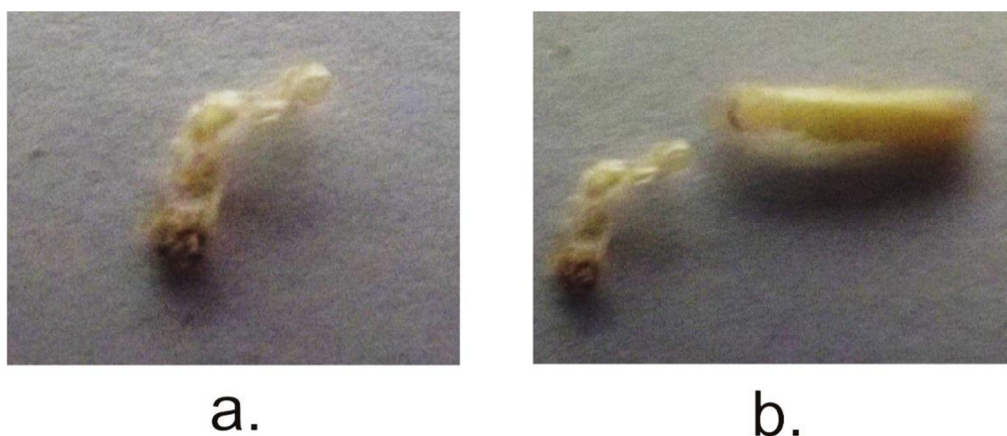


FIGURA 39 – Cupim da espécie *Cryptotermes brevis* morto por desidratação causada por lesão abdominal. a. – cupim morto com aumento de 3 vezes; b. – cupim morto ao lado de um cupim sadio, com um aumento de 2,5 vezes.

No período de observações pós-tratamento, percebeu-se que houve um aumento no escurecimento do exoesqueleto após uma hora de observação em todas as repetições. Houve, também, uma morte na segunda e terceira repetições após 48 horas, duas mortes nas quarta e quinta repetições e três mortes na primeira repetição.

Com base nos dados acima, pode-se concluir que o campo eletromagnético pode interagir com o organismo dos cupins de forma a promover alterações pertinentes a tratamentos de preservação de madeiras. Na tabela 15 consta o grau de mortandade alcançado pelos tratamentos a temperaturas diferentes, sendo os tratamentos 3 e 4 mais indicados para tratamento curativos e os outros para tratamentos preventivos.

TABELA 15 – Número de mortes por tratamento.

Classe de Temperatura	Temperatura (°C)	Número de Mortes
Temperatura Padrão	18	6
1	11	4
2	25	5
3	0	8
4	50	9

#### 4.2.6 Efeitos adversos

Foram observados alguns efeitos adversos no organismo humano devido ao elevado tempo de exposição ao campo eletromagnético constante. São eles dor de cabeça, dor nos olhos (irritação) e diarreia. Estes efeitos vão de encontro com os

dados apresentados pela *World Health Organization* (Organização Mundial de Saúde) em seu artigo “*Extremely Low Frequency (ELF) Fields*” de 1984.

Entretanto, para o presente trabalho, não foi possível estabelecer qualquer relação entre o campo aplicado aplicado e os efeitos observados devido a metodologia ter se concentrado no escopo do trabalho e não prever a coleta de dados que torna-se viável a discussão sobre estes.

#### 4.3 TESTE DE VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO

##### 4.3.1 Classe 1 – Cinco lâmpadas

O comportamento observado para o campo gerado quando cinco lâmpadas estavam ligadas apresentou a mesma tendência de comportamento dos tratamentos anteriores. Ou seja, antenas e segmentos agitados ao longo do tempo e uma forte propensão ao repouso, figura 40. De acordo com esta figura nota-se que o coeficiente angular do tratamento com a presença do campo se manteve muito menor do que em outros testes. Isto evidencia a tendência a repressão metabólica gerada pelo campo sobre o organismo fisiológico dos cupins.

##### A) Efeitos Associados

No momento em que o eletroímã foi ligado imediatamente se observou uma tendência de alinhamento do corpo em direção a superfície frontal, seguida de uma taxa moderada nas cinco repetições (TABELA 16). Esta taxa ocorreu de forma a dispersar os cupins para a região de preferência expandida (FIGURA 34), em algumas repetições e, em outras, na região de preferência.

Foi verificado, em poucas observações e indivíduos, o descontrole de tórax e abdômen, sendo também visualizado, de forma menos recorrente, o descontrole de antenas. Este descontrole foi verificado com intensidades diferentes na cinco repetições, mas ocorrendo de forma homogênea entre as mesmas, em termos qualitativos de tempo e número de cupins. Além destes efeitos, também se observou uma movimentação de serpentear o corpo e arraste de abdômen em cinco insetos. Mais uma vez isto, possivelmente, está associado à influência do movimento do

cupim, e sua velocidade, na indução de diferenças de potencial na superfície de seu corpo.

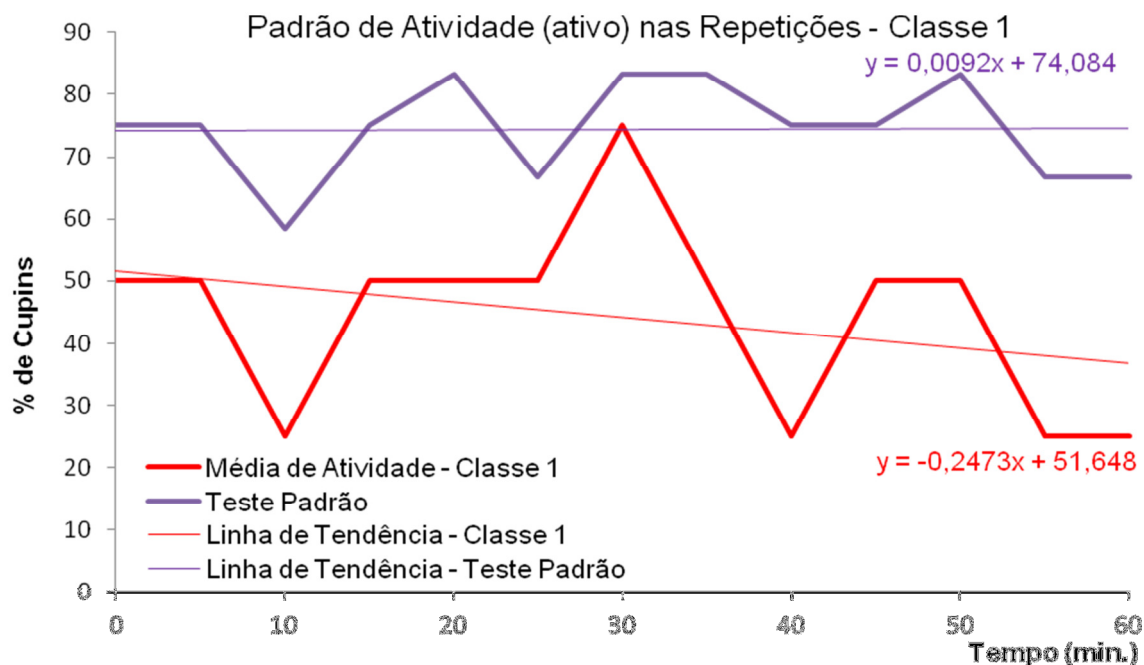


FIGURA 40 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 1 - Método de grupo.

Em todas as repetições foi verificado, após aproximadamente 40 minutos, o escurecimento da extremidade abdominal de parte dos cupins expostos ao campo. Foi verificado também um inchaço do abdômen em todos os indivíduos, seguido do aparecimento de pontos escuros na região torácica e abdominal, como consequência provável da necrose de tecido muscular.

Foi observado o fenômeno de alteração de cor, tabela 17, sendo este mais evidente ao final do tempo de exposição dos cupins ao campo aplicado. Ressalta-se que as cores são a variação total observada do início do teste até o período final de observação pós-tratamento.

TABELA 16 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético de classe 1.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentear o corpo)	Alterações Fisiológicas						
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	0	0	4	4	4	4	4	4	0
2ª Repetição	4	4	0	2	4	4	4	4	4	4	0
3ª Repetição	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	0
4ª Repetição	4	4	2	1	4	4	4	4	4	4	0
5ª Repetição	4	4	0	1	4	4	4	4	4	4	0
Total	20	20	6	5	20	20	20	20	20	20	0

TABELA 17 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 1.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 90
	2	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 60
	3	Pantone 141C – 70	Pantone 1245C – 70
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1395C – 80
2	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
3	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 142C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 70
4	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407 – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
5	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 70
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1395C - 80

No período de pós-tratamento, todos os insetos possuíam o escurecimento da extremidade abdominal após 24 horas de observação. Entretanto, nenhum outro efeito foi evidenciado nas observações seguintes, sendo apenas mantidas as alterações ocorridas anteriormente como a alteração de cor das estruturas do tórax e abdômen e os pontos escurecidos nos mesmos segmentos.

Com base nestes resultados, pode-se concluir que a variação de intensidade do campo eletromagnético para a classe 1, não influenciou a interação do campo

com o organismo dos insetos, sendo visualizados efeitos semelhantes entre os testes de ordem irreversíveis.

#### 4.3.2 Classe 2 – Quatro lâmpadas

De acordo com as observações realizadas, os cupins expostos ao campo eletromagnético da classe 2 demonstraram um comportamento que ainda indicou uma influência de repressão metabólica oriunda do campo aplicado. Como pode ser visto na figura 41, a atividade dos insetos foi inferior a do teste de padrão de comportamento e sua linha de tendência demonstra o mesmo comportamento dos testes anteriores de exposição ao campo. Ou seja, uma taxa de repouso alta com o passar do tempo que evidencia a percepção pelos cupins do campo eletromagnético.

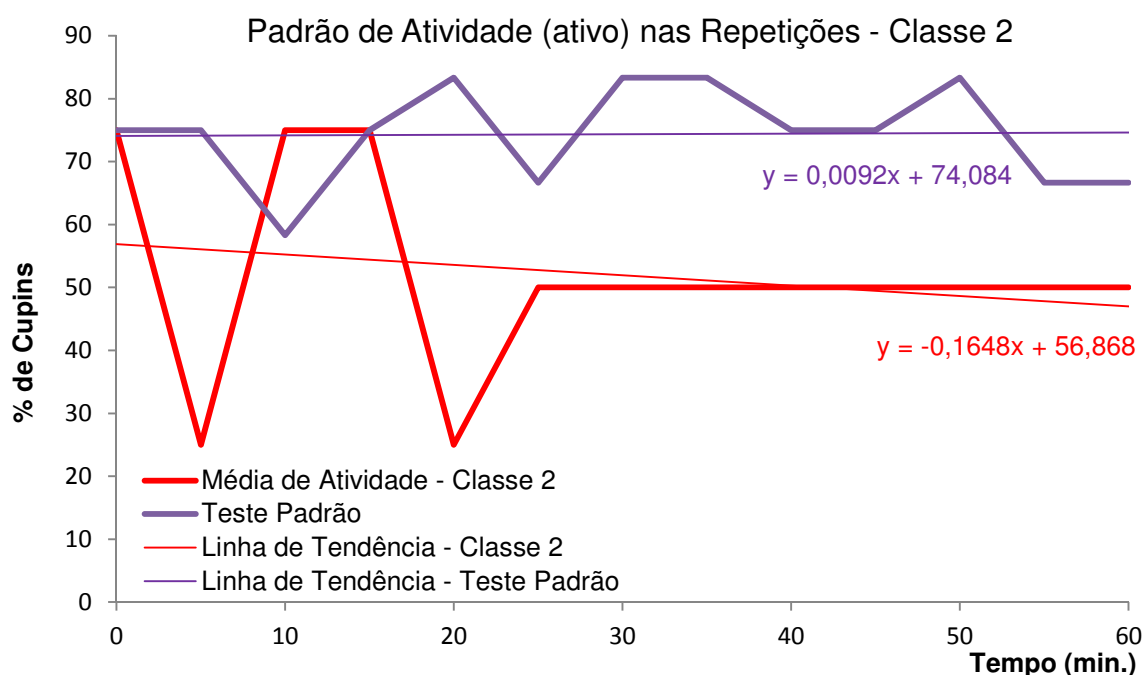


FIGURA 41 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 2 - Método de grupo.



### A) Efeitos Associados

Assim como em testes anteriores, no momento em que o eletroímã foi ligado percebeu-se um alinhamento do corpo dos cupins para a superfície frontal. Seis dos 20 insetos permaneceram parados ou imóveis e os outros iniciaram um movimento de taxia negativa desde o início da exposição ao campo aplicado (TABELA 18).

Para este teste foi observado o inchaço abdominal acompanhado de arraste deste segmento. Os resultados demonstram ainda um suave escurecimento da extremidade abdominal e alteração da cor e tonalidade da estrutura do corpo dos cupins conforme tabela 19. Não foram observadas evidências de necrose, alterações de movimentação ou descontrole de segmentos e membros acessórios.

No período de pós-tratamento, o escurecimento da extremidade abdominal se acentuou e o inchaço abdominal se manteve até o final das observações. Não foram verificados outros tipos de alterações.

Pode-se afirmar que o campo eletromagnético manteve sua capacidade de influenciar os sistemas fisiológicos dos cupins, mas no tempo de exposição adotado não foi capaz de alcançar os efeitos mais nocivos observados em testes anteriores. Entretanto, foram verificados os efeitos iniciais destes danos mais significativos, como a necrose, indicando que, possivelmente em um tempo maior, mesmo com um campo com magnitude menor, os efeitos seriam alcançados em decorrência do ser um processo fisiológico interligado e dependente.

TABELA 18 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético de classe 2.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0	0
2ª Repetição	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0	0
3ª Repetição	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0	0
4ª Repetição	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0	0
5ª Repetição	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0	0
Total	20	20	0	0	20	0	20	20	20	0	0

TABELA 19 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 2.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1215C – 90	Pantone 141C – 80
	2	Pantone 1205C – 100	Pantone 145C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1395C – 80
2	1	Pantone 1215C – 100	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1255C – 60
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
3	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 142C – 60
	2	Pantone 1215C – 90	Pantone 146C – 80
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 80
4	1	Pantone 1215C - 80	Pantone 1245C – 70
	2	Pantone 1215C – 100	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
5	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 142C – 60
	2	Pantone 1215C – 90	Pantone 141C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C - 80

#### 4.3.3 Classe 3 – Três lâmpadas

De acordo com o observado, os cupins testados tiveram um comportamento diferente do teste padrão. Isso significa dizer que o campo eletromagnético ainda foi capaz de alterar a relação dos insetos com o meio. Possivelmente por meio de estímulos de informações que influenciaram a percepção do espaço ao qual estavam. Isto pode ser visualizado na figura 42 que mostra uma grande variação de

movimento em relação às observações. Fato que deve ser levantado é que a tendência apresentada pelos insetos deste tratamento é a mesma dos da classe 2. Isto indica que o campo eletromagnético é sentido pelos cupins da mesma maneira, ou seja, provavelmente por um magnetorreceptor e que pequenas variações no campo são percebidas de mesma forma quando estas não levam os cupins a situações de elevado estresse e com danos fisiológicos consequentes.

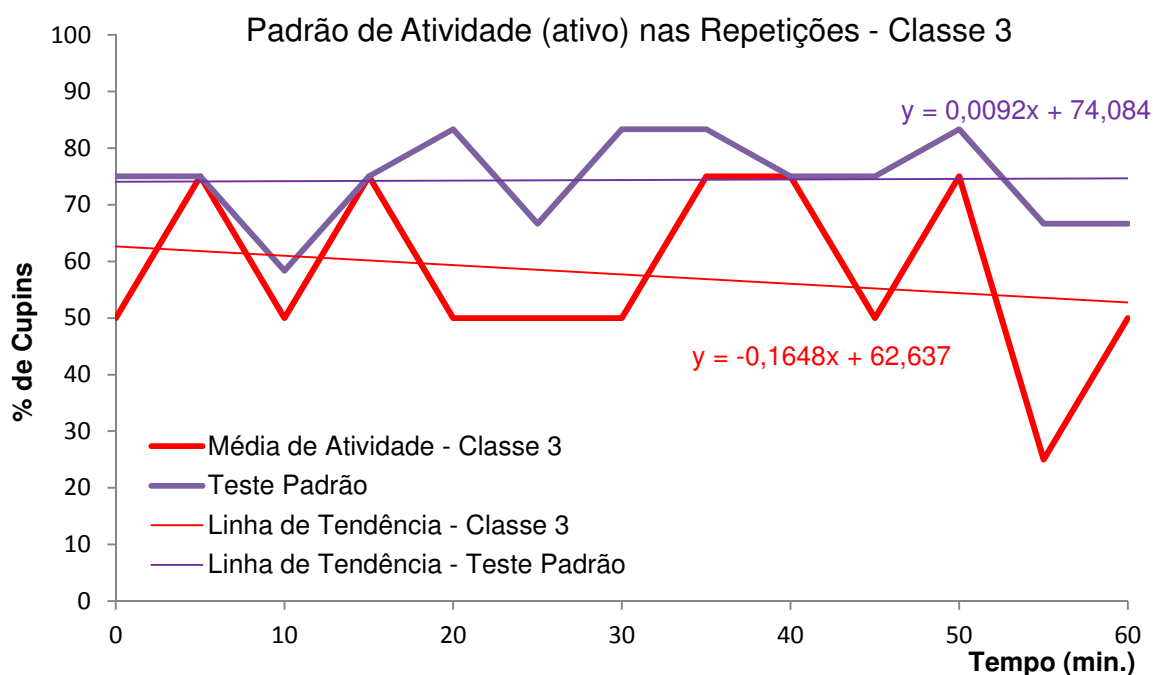


FIGURA 42 – Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 3 - Método de grupo.

#### A) Efeitos Associados

A partir desta magnitude de campo eletromagnético as impressões, ou impactos, sobre os cupins começaram a ser mais sutis (TABELA 20). No momento em que o eletroímã foi ligado foi possível ainda perceber uma agitação nos insetos que os fizeram se alinhar em direção à superfície frontal. Entretanto, a mobilidade dos insetos aparentemente não se baseou na orientação do campo para ser executada. Deste modo, não houve caracterização de região de preferência e o fenômeno de taxia ocorreu apenas algumas vezes de forma evidente.

Ressalta-se que os cupins, ao final dos testes, encontravam-se nas superfícies laterais, ou próximos a elas, mas mantendo um comportamento não agitado e de caráter exploratório.

Apenas dois efeitos foram observados nestes cupins, um pequeno inchaço abdominal e alteração de coloração da região torácica e abdominal. O inchaço do abdômen foi visualizado apenas no tempo de 55 minutos de observações nas duas primeiras repetições, sendo dois insetos na primeira e três na segunda. A alteração de cor pode ser visualizada na tabela 21 e demonstra a mesma tendência de todos os outros tratamentos, de escurecimento ao longo do tempo.

Não foram observados efeitos diferentes no período de pós-tratamento, indicando que o inchaço abdominal, provavelmente, foi uma estratégia bem sucedida de neutralizar possíveis excessos de resíduos metabólicos.

TABELA 20 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético de classe 3.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	0	0	0	2	0	4	4	0	0	0
2ª Repetição	4	0	0	0	3	0	4	4	0	0	0
3ª Repetição	4	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0
4ª Repetição	4	0	0	0	2	0	4	4	0	0	0
5ª Repetição	4	0	0	0	3	0	4	4	0	0	0
Total	20	0	0	0	10	0	20	20	0	0	0

TABELA 21 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 3.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1215C – 90	Pantone 145C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
	4	Pantone 1215C – 100	Pantone 141C – 90
2	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 146C – 80
	2	Pantone 1215C – 80	Pantone 1255C – 60
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
3	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 142C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 80
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 146C – 70
4	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 146C – 80
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 80
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
5	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 142C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1215C – 100	Pantone 141C – 90
	4	Pantone 1205C - 90	Pantone 146C - 70

#### 4.3.4 Classe 4 – Duas lâmpadas

Os resultados obtidos para este teste indicaram que o campo eletromagnético com esta magnitude teve seus efeitos drasticamente reduzidos quando comparados a outros tratamentos com intensidade de corrente maiores.

Como pode ser visto na figura 43, a movimentação dos cupins ocorreu de forma semelhante a do teste de padrão de comportamento. Isto evidencia que o

campo aplicado não teve magnitude para causar efeitos mais diretos sobre o comportamento e movimentação dos insetos, permitindo que os mesmos desenvolvessem suas atividades tidas como normais para as condições de teste. Vale ressaltar que embora o padrão de movimentação tenha sido semelhante, a tendência dos cupins foi de irem ao repouso com o passar do tempo. Este fato demonstra que, embora sem efeitos mais nocivos, o campo é percebido pelos insetos e os fazem alterar a forma de se portarem em determinados ambientes.

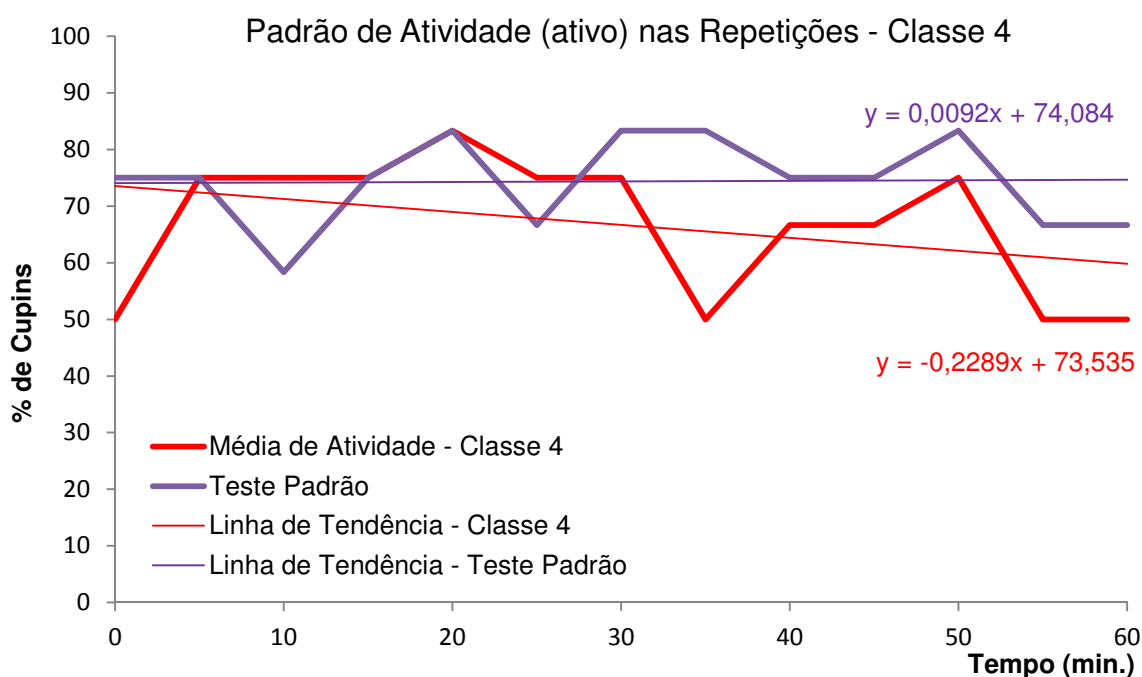


FIGURA 43– Tendência de insetos da espécie *Cryptotermes brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 4 - Método de grupo.

#### A) Efeitos Associados

No momento em que o eletroímã foi ligado percebeu-se uma pequena tendência de orientação no espaço, fazendo com que os cupins ficassem de frente à superfície frontal. Entretanto, os insetos não demonstraram de forma bem definida o fenômeno de taxia, aparentemente movimentando-se livremente no interior da caixa de teste (TABELA 22). Após aproximadamente 25 minutos de exposição para as cinco repetições os cupins estavam próximos às superfícies laterais, mas mantendo



um comportamento classificado como moderado, inclusive sob o aspecto das antenas.

O único efeito evidente que ocorreu foi a alteração de cor, tabela 23, o qual foi percebido ao final da exposição ao campo eletromagnético e levemente intensificado no período de pós-tratamento.

TABELA 22 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético de classe 4.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						
					Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio	
1ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
2ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
3ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
4ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
5ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Total	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0

TABELA 23 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 4.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 100	Pantone 141C – 100
	2	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 70
	3	Pantone 1215C – 100	Pantone 1295C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 60
2	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1215C – 90	Pantone 145C – 60
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 80
3	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 145C – 70
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 90
4	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 60
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 100
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C – 80
5	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 80
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 7407C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 141C - 80

#### 4.3.5 Classe 5 – Uma lâmpada

Assim como o tratamento anterior, os resultados obtidos para este teste segundo a metodologia de grupo mostraram claramente a influência do campo eletromagnético no comportamento dos cupins. Isto ocorreu por causa de ser o teste com menor intensidade de campo induzido o que fez os cupins terem um comportamento próximo ao do teste de padrão de comportamento (sem a presença

do campo). Como pode ser visto na figura 44, a curva de atividade foi semelhante entre os testes, iniciando com alta atividade e a mantendo ao longo do tempo. Isto mostra que os insetos deste tratamento estavam sob uma situação de menor estresse em relação aos outros, permitindo que mantivessem suas ações de reconhecimento da caixa de teste sem uma influência maior em seu comportamento.

Entretanto, a linha de tendência demonstra uma elevada redução de atividade com o passar do tempo, sendo isto associado a presença do campo eletromagnético. Ou seja, por causa da baixa intensidade do campo, os cupins puderam se movimentar mais livremente no interior da caixa, mas a presença contínua do campo eletromagnético fez com que eles diminuíssem gradativamente sua mobilidade, sendo esta taxa de redução numa proporção não compatível com os resultados do teste padrão. Deste modo, o campo eletromagnético foi sentido e percebido pelos cupins, mas este não teve magnitude para causar efeitos imediatos, ou mesmo significativos. Contudo, a contínua exposição demonstrou gerar uma região de desconforto para os insetos, que os fez alterar o padrão de comportamento.

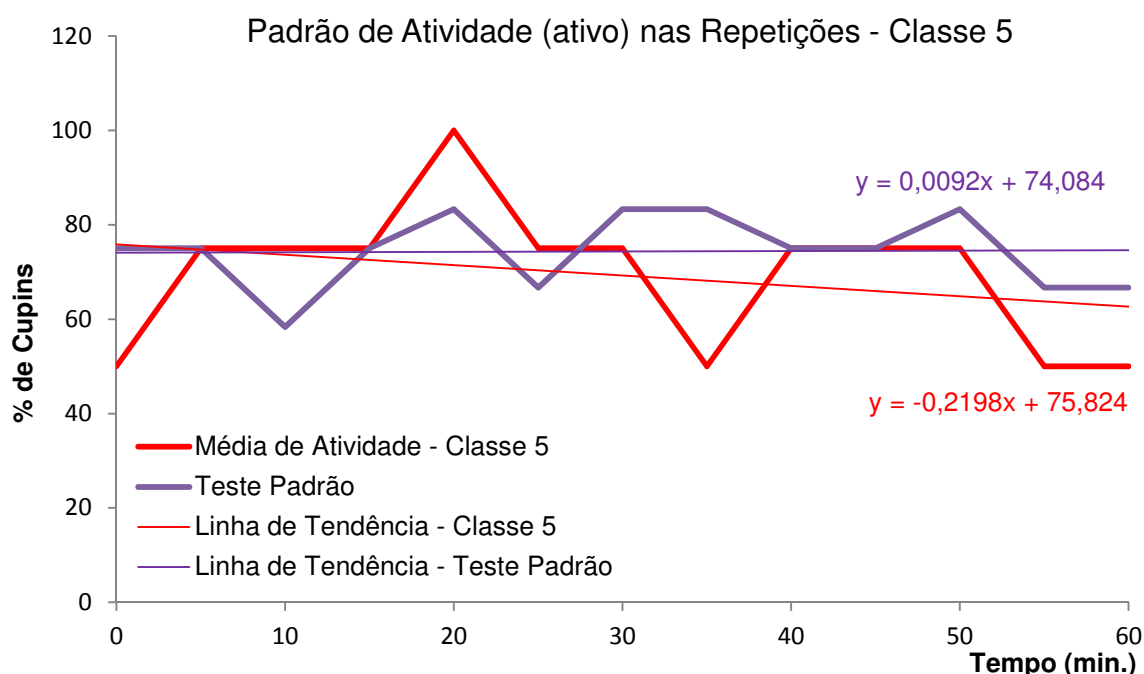


FIGURA 44 – Tendência de insetos da espécie *Cryptoterme brevis* manterem-se em atividade em função do tempo, no tratamento com Campo Eletromagnético de Classe 5 - Método de grupo.

### A) Efeitos Associados

No momento em que o eletroímã foi ligado houve uma tendência ao alinhamento do corpo para a superfície frontal, mas não houve evidência de taxia e nem imobilidade para nenhuma das repetições. Num tempo médio de 15 minutos os cupins se movimentaram de forma natural dentro da região de início de teste, figura 24.

Entretanto, após 25 minutos, de observação os cupins estavam próximos às superfícies laterais. A partir deste tempo os cupins iniciaram movimentação nas superfícies laterais, principalmente na frontal, mas sem demonstrar agitação. Permaneceram nestas posições em movimentação lenta e moderada até o término da exposição ao campo eletromagnético. Isto indica que os cupins não sofreram uma influência drástica com a intensidade deste campo aplicado, mas indica que uma exposição elevada em termos de tempo pode provocar o afastamento destes xilófagos, dado algum possível desconforto gerado a partir de seu deslocamento na região de campo aplicado e a percepção do mesmo.

Não foram visualizados inchaços abdominais, necrose ou escurecimento da extremidade abdominal em nenhuma das repetições (TABELA 24). O que indica que a alteração de cor é o processo mais intenso desencadeado pelo campo aplicado. Vale ressaltar que o comportamento da antena se manteve ativo durante todo o tempo de exposição dos cupins ao campo, entretanto seu nível de atividade foi classificado como moderado ao invés de agitado como nos testes com o campo máximo.

Ao final do teste, os cupins tinham alterações de coloração, sendo este o único efeito visível, inclusive, no período de pós-observação. Esta alteração seguiu o mesmo padrão dos testes anteriores, de escurecimento da derme, tabela 25. No período de pós-observação não foram observados quaisquer sinais de interferência do campo sobre os insetos, apenas sendo mantida a alteração de cor.

TABELA 24 – Efeitos da exposição dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* ao campo eletromagnético de classe 5.

Insetos	Efeitos										
	Sensibilização das antenas (percepção do campo eletromagnético)	Taxia	Perda de controle de segmentos e membros acessórios	Alteração de movimento (Desorientação, imobilidade e Movimento de Serpentejar o corpo)	Alterações Fisiológicas						Morte
				Inchaço da estrutura abdominal	Necrose de células e tecidos	Escurecimento da extremidade abdominal	Alteração cromática e tonal dos segmentos torácico e abdominal	Perda de flexibilidade nas regiões moles do exoesqueleto (apódema)	Alteração da permeabilidade da membrana ao sódio		
1ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
2ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
3ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
4ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
5ª Repetição	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Total	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0

TABELA 25 – Classificação de cores e tonalidades dos cupins da espécie *Cryptotermes brevis* no início e final do tratamento – Intensidade de Campo 5.

Repetição	Inseto	Cor Inicial	Cor Final
		Cor - Tonalidade (%)	Cor - Tonalidade (%)
1	1	Pantone 1205C – 80	Pantone 1245C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 60
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 60
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 70
2	1	Pantone 141C – 70	Pantone 7407C – 100
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 70
	3	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 70
3	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1205C – 100	Pantone 1395C – 90
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 70
4	1	Pantone 1205C – 90	Pantone 142C – 70
	2	Pantone 141C – 70	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1205C – 90	Pantone 1245C – 70
	4	Pantone 1215C – 80	Pantone 1245C – 60
5	1	Pantone 1215C – 80	Pantone 1395C – 90
	2	Pantone 1205C – 90	Pantone 7407C – 100
	3	Pantone 1205C – 100	Pantone 1245C – 70
	4	Pantone 1205C – 100	Pantone 1395C – 90

Com base nos resultados obtidos nos testes de variação da intensidade do campo eletromagnético, pode-se concluir que quanto menor a magnitude do campo aplicado, menor será seus efeitos sobre o organismo dos cupins. Entretanto, todos os tratamentos indicaram que os cupins tiveram uma grande sensibilidade para detectar a presença e variação do campo, mesmo quando de baixa intensidade. O efeito de escurecimento da região torácica e abdominal é um fenômeno independente do ciclo fisiológico, como apresentado na figura 28, e por isso se manifestou em todos os tratamentos. Isto leva a acreditar que o caráter de esclerotização forçada é mais pertinente para este efeito, sendo combinado com a teoria de reflexão e refração para justificar grandes alterações de cores e tons.



## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que;

- Os cupins *Cryptotermes brevis* são capazes de perceber a presença de um campo eletromagnético e responder a seus estímulos;

- O campo eletromagnético provoca, independente da temperatura, taxia negativa nos cupins *Cryptotermes brevis*, isto;

- O campo eletromagnético provocou perda de controle de segmentos e membros acessórios, fazendo com que os cupins *Cryptotermes brevis* perdessem a capacidade de executar suas ações naturais;

- O campo eletromagnético foi capaz de desencadear um processo de alterações fisiológicas contínuo levando às seguintes patologias:

- inchaço da estrutura abdominal;

- necrose de células e tecidos;

- escurecimento da extremidade abdominal;

- escurecimento (alteração cromática e tonal) dos segmentos torácico e abdominal;

- perda de flexibilidade nas regiões moles, apódema, do exoesqueleto;

- O campo eletromagnético, a partir dos efeitos mencionados acima, teve a capacidade de matar os cupins *Cryptotermes brevis*, independente da temperatura, quando utilizado a máxima potência do eletroímã construído;

- Intensidades menores de campo eletromagnético foram percebidas pelos cupins *Cryptotermes brevis*, sendo os efeitos sentidos por eles proporcionais à intensidade do campo;

Pode-se concluir ainda, que o campo eletromagnético teve potencial para utilização em tratamentos curativos e preventivos, em diversas escalas de

aplicações, em que há necessidade apenas de adequação da intensidade do campo.

## 5.1 SUGESTÕES

- Estudar o efeito do campo eletromagnético em pessoas, pois foram percebidos alguns efeitos adversos como dor de cabeça, dor nos olhos (irritação) e diarreia. Isto é de grande importância em aplicações de campos permanentes em áreas onde uma mesma pessoa fique exposta ao campo por certo tempo. Principalmente nos casos em que o trabalho exija concentração e atenção;
- Estudar o efeito da variação de temperatura nos cupins *Cryptotermes brevis* quando expostos a campos eletromagnéticos menores;
- Avaliar os efeitos do campo eletromagnético frente a diferentes frequências de corrente elétrica;
- Testar o eletroímã em móveis ou peças de madeira com ataque de cupim e avaliar este efeito em condições reais da colônia;
- Testar os efeitos do campo eletromagnético em cupins de solo.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ABRAÇADO, L. G. **Caracterização de material magnético em formigas Solenopsis interrupta: magnetometria SQUID e Ressonância Ferromagnética**. 2006. 174p. Tese (Doutorado) - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – Rio de Janeiro.
2. AIRES, M. M, (ed.). **Fisiologia**. Editora Guanabara Koogan, 3ª edição, 2008. p. 1232.
3. BARBUSIŃSKI, K. **Fenton Reaction - Controversy Concerning the Chemistry**. Ecological Chemistry and Engineering, Vol. 16, nº 3. 2009.
4. BARROSO, R. M. V.; GALLEGO, J. G.; TALHATE, J.; DENICOLLI, L.; IDERIHA, N. M.; RABELO, R.; BERTOLINI, M. M.; SARMENTO, P. **A Utilização do Lactato como Marcador Biológico Prognóstico**. UNESC em Revista. , v.9, p.157 - 172, 2006.
5. BERNE, R. M; LEVY, M. N. **Fisiologia**. Editora Guanabara Koogan, 4ª edição, 2000. p. 1034.
6. CHAPMAN, R. F. **The Insects: Structure and Function**. Cambridge University Press, 4ª edição, 2003. 771p.
7. COSTANZO, L. S. **Fisiologia**. Elsevier Editora Ltda, 4ª edição, 2011. p. 512.
8. DERBY, N; OLBERT, S. **Cylindrical Magnets and Ideal Solenoids**. American Journal of Physics, vol. 78, p. 229, 2010.
9. EISBERG, R; RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Elsevier Editora, 22ª tiragem, Rio de Janeiro, 1979. 928p.
10. ELEOTÉRIO, E. S. R. **Levantamento e Identificação de Cupins (Insecta: Isoptera) em Área Urbana de Piracicaba, SP**. 2000. p. 101. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
11. ESQUIVEL, D. M. S; WAJNBERG, E; NASCIMENTO, F. S; PINHO, M. B; LINS DE BARROS, H. G. P; EIZEMBERG, R. **Do geomagnetic storms change the behaviour of the stingless bee guiruçu (Schwarziana quadripunctata)?** Short Communication, Naturwissenschaften, Springer-Verlag, 2006. 4p.
12. ESQUIVEL, D.M.S.; WAJNBERG, E.; CERNICCHIARO, G.R.; ALVES, O.C. **Comparative magnetic measurements of migratory ant and its only**

- termite prey.** Journal of Magnetism and Magnetic Materials, n. 278, p. 117-121, 2004.
13. FERREIRA, A.L.A.; MATSUBARA, L.S. **Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo.** Rev Ass Med Brasil 1997; 43(1): 61-8.
14. FORATTINI, O. P. **Culicidologia Médica: Princípios Gerais, Morfologia, Glossário Taxonômico.** Volume 1, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 553p.
15. FRAGA, L. S. **Efeito da Anoxia sobre o Metabolismo do Carboidratos no Sistema Nervoso Central do Caracol *Megalobulimus oblongus* (Gastropoda: Pulmonata).** 2002. 122 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
16. FRIEDRICH, L. C. **Estudos Mecanísticos da Interferência de Íons Cobre (II) e Zinco (II) na Reação de Fenton.** 2011. 103p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
17. GIOVANELLA, R. **Uso de Frequências Sonoras no Controle de Cupins de Madeira Seca *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae).** 2009 (a). 122 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
18. GIOVANELLA, R. **Propriedades Tecnológicas da Madeira Relacionadas com a Preservação e Restauração do Patrimônio Histórico.** Tuiuti: Ciência e Cultura (Curitiba), nº 41, p.97 - 105, 2009 (b).
19. GIOVANELLA, R. **Raios-X no Controle de Xilófagos em Obras de Arte de Madeira.** In: 14º EVINCI- Evento de Iniciação Científica, Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, Livro de Resumos, vol. único, 2006, Curitiba.
20. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 3 – Eletromagnetismo.** Editora Livros Técnicos e Científicos, 4ª edição, 1995. 355p.
21. Hsu C-Y, Ko F-Y, Li C-W, Fann K, Lue J-T. **Magnetoreception System in Honeybees (*Apis mellifera*).** 2007. PLoS ONE 2(4): e395. doi:10.1371/journal.pone.0000395.
22. KAUNE, W.T. **Introduction to Power-frequency Electric and Magnetic Fields.** Environ Health Perspect. 1993 December; 101(Suppl 4): 73–81.

23. KERKUT, G. A; Gilbert, L.I, (ed.). **Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology – Nervous System: Structure and Motor Function**. Editora Pergamon Press, Vol. 5, 1985. 646p.
24. KERKUT, G. A; Gilbert, L.I, (ed.). **Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology – Biochemistry**. Editora Pergamon Press, Vol. 10, 1985. 715p.
25. LAI, H.; SINGH, N. P. **Magnetic-Field–Induced DNA Strand Breaks in Brain Cells of the Rat**. Environmental Health Perspectives, Volume 112, Number 6, May, 2004.
26. LANDAU, L; LIFCHITZ, E. **Curso de Física – Teoria do Campo**. Hemus, 2004. 458p.
27. LEITE, G. L. D. **Entomologia Básica**. Material Didático, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. 46p.
28. LEPAGE, E. S. (ed.). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo, IPT, 1986, vol. I. 342p.
29. LEPAGE, E. S., (ed.). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo, IPT, 1986, vol. II. 366p.
30. MACEDO, L. P. M. **Fundamentos Básicos de Entomologia: Aspectos Morfológicos dos Insetos**. Material Didático. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Norte. 2010.
31. MENEZES, D. P. **Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares**. Florianópolis, Editora UFSC, 2002. 186p.
32. MORESCHI, J. C. **Biodegradação da Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, sem data (a). Curitiba. 38p.
33. MORESCHI, J. C. **Produtos Preservantes de Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, sem data (b). Curitiba. 31p.
34. MUNGAN, C. E. **Induced Electric Field for a Solenoid of Uniformly Increasing Current**. Spring 2010, <http://usna.edu/Users/physics/mungan/Scholarship/InducedElectricField.pdf> Acessado dia 29 de agosto às 15h:30min. 6p.
35. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica- Eletromagnetismo**. São Paulo, Editora Blucher, vol. 3, 6ª reimpressão, 2007. 323p.

36. OLIVEIRA, J. F. **Caracterização do Material Magnético do Cupim *Neocapritermes opacus*: Magnetometria SQUID e Ressonância Ferromagnética**. 2005. 116p. Dissertação (Mestrado) - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – Rio de Janeiro.
37. OLIVEIRA, J.F.; ALVES, O.C.; ESQUIVEL, D.M.S.; WAJNBERG, E. **Ingested and biomineralized magnetic materials in the prey *Neocapritermes opacus* termite: FMR characterization**. Journal of Magnetic Resonance, n. 191, p. 112-119, 2008.
38. PIMENTEL, S. **Canais e Transportadores de Cálcio**. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, 2003. 13p.
39. RIBEIRO, T. N. **Análise Comparativa da Secreção de Proteases e Quinases do Fungo Entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* na Presença de Diferentes Cutículas de Artrópodes**. 2006. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
40. ROCHA, M. P. **Biodegradação e Preservação da Madeira**. Curitiba, Fupef, Série Didática, 2001. 94p.
41. ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serraria**. 2000. 185 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
42. SANTOS, E. **Os Insetos**. Belo Horizonte, Editora Itatiaia Limitada, Coleção Zoologia Brasília, vol. 9, tomo I, 1982. 203p.
43. SANTOS, D. C. **Interação Célula – Matriz Extracelular**. Material Didático. Universidade Estadual Paulista. 2009.
44. SAVIAN, J. F. **Estudo Comparativo da Mineralogia Magnética no Solo e em Insetos Sociais da Mata Santa Genebra, Estado de São Paulo**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
45. SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal – Adaptação e Meio Ambiente**. Editora Santos, 5ª edição, 2002, 611p.
46. TAKAHASHI, C. A. **Assimilação do Nitrogênio em Diferentes Regiões Foliares de uma Bromélia Epífita com Tanque**. 2008. 115p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

47. TIPLER, P; MOSCA, G. **Física: Eletricidade e Magnetismo**. Rio de Janeiro, LTC Editora, vol. 2, 2006. 300p.
48. WAJNBERG, E; ACOSTA-AVALOS, D; ALVES, O. C; OLIVEIRA, J. F; SRYGLEY, R. B; ESQUIVEL, D. M. S. **Magnetoreception in eusocial insects: an update**. Journal of the Royal Society Interface, published online - 2010. doi: 10.1098/rsif.2009.0526.focus
49. YADAV, M. **Physiology of Insects**. Discovery Publishing House, New Delhi, 2003. 349p.
50. ZIMERER, G. V. **Consumo de Alimentos Funcionais com Ação Antioxidante e Exercícios Orientados de Baixa Intensidade em Adultos Podem Influenciar na Qualidade de Vida no Item (Estado de Saúde)**. 2007. 96p. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação - Faculdade de Ensino Superior de São Miguel do Iguaçu, São Miguel do Iguaçu.



## APÊNDICE

APÊNDICE I – Tabela de cores. Adaptado da paleta de cor Pantone .....	152
---	-----

APÊNDICE I – Tabela de cores. Adaptado da paleta de cor Pantone.

pantone 1205C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1215C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1225C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1235C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1245C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1255C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1265C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1345C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1355C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1365C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1375C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1385C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1395C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 1405C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 141C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 142C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 143C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 144C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 145C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 146C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 147C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

pantone 148C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 149C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 150C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 151C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 152C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 153C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 154C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 712C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 713C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 714C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 715C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 716C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 717C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 718C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7401C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7402C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7403C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7404C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7405C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7406C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pantone 7407C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ANEXOS

- ANEXO I – Média de Temperatura de janeiro de 2006 a outubro de 2010. Banco de dados climatológicos Fonte: REDEMET – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. <http://www.redemet.aer.mil.br>..... 156
- ANEXO II – Média de Umidade Relativa de janeiro de 2006 a outubro de 2010. Banco de dados climatológicos Fonte: REDEMET – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. <http://www.redemet.aer.mil.br>..... 159

ANEXO I – Média de Temperatura de janeiro de 2006 a outubro de 2010. Banco de dados climatológicos Fonte: REDEMET – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. <http://www.redemet.aer.mil.br>

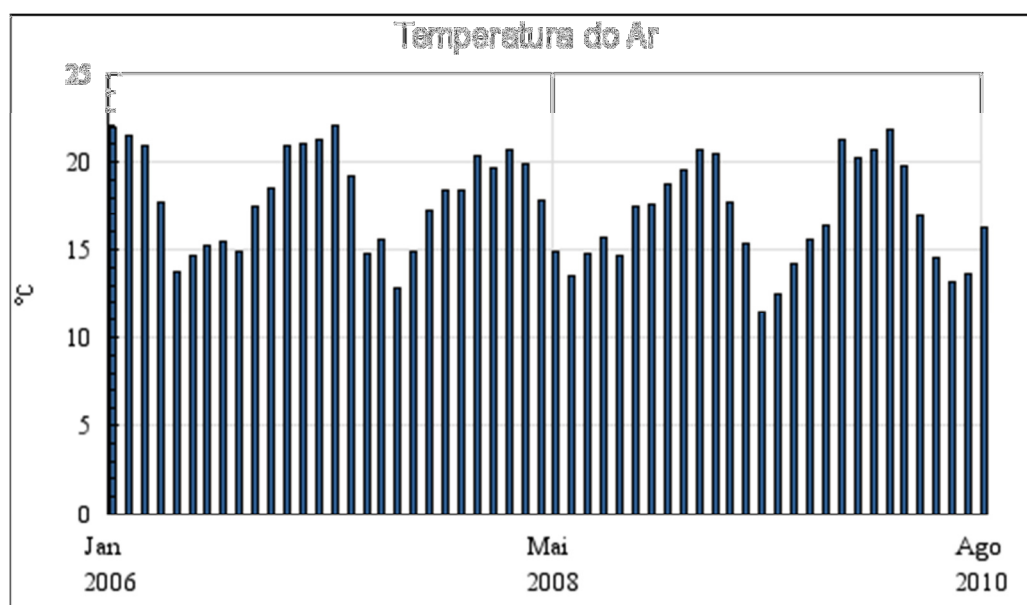
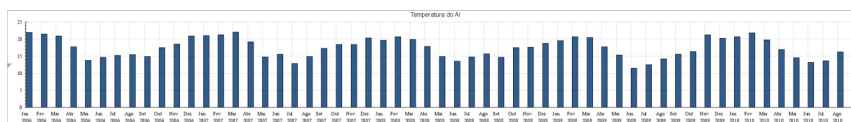
### Gráfico de Temperatura do Ar

**Nome da Estação:** AFONSO PENA

**Tipo da Pesquisa:** Temperatura do Ar - Média Mensal em um Intervalo de Meses

**Media dos Valores Mensais:** 17,44

**Unidade de Medida:** °C



## Relatório de Temperatura do Ar

**Nome da Estação:** AFONSO PENA**Tipo da Pesquisa:** Temperatura do Ar - Média Mensal em um Intervalo de Meses

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Valor(°C)</b>	<b>Valores Válidos</b>	<b>Desvio Padrão</b>
2006	Jan	21,89	805	1,91
2006	Fev	21,46	721	1,91
2006	Mar	20,93	796	2,46
2006	Abr	17,69	783	2,39
2006	Mai	13,70	823	2,67
2006	Jun	14,70	827	2,70
2006	Jul	15,27	869	3,48
2006	Ago	15,49	820	4,46
2006	Set	14,91	811	4,77
2006	Out	17,53	864	2,65
2006	Nov	18,52	808	3,15
2006	Dez	20,95	820	2,52
2007	Jan	21,04	815	2,33
2007	Fev	21,28	737	2,51
2007	Mar	22,01	837	1,93
2007	Abr	19,20	807	2,54
2007	Mai	14,74	845	4,01
2007	Jun	15,53	763	3,50
2007	Jul	12,83	808	4,65
2007	Ago	14,91	817	3,61
2007	Set	17,32	828	3,30
2007	Out	18,37	820	3,02
2007	Nov	18,36	798	3,03
2007	Dez	20,36	825	2,86
2008	Jan	19,64	824	2,50
2008	Fev	20,71	757	2,02
2008	Mar	19,89	815	2,27
2008	Abr	17,84	807	2,84
2008	Mai	14,87	815	3,28
2008	Jun	13,51	823	4,04
2008	Jul	14,75	808	2,66
2008	Ago	15,65	827	3,39
2008	Set	14,64	787	3,29
2008	Out	17,54	845	3,52
2008	Nov	17,62	794	2,15



2008	Dez	18,70	818	2,76
2009	Jan	19,51	790	2,77
2009	Fev	20,70	743	2,29
2009	Mar	20,49	820	2,57
2009	Abr	17,72	791	2,39
2009	Mai	15,36	854	3,05
2009	Jun	11,49	788	3,34
2009	Jul	12,48	839	3,09
2009	Ago	14,25	838	3,29
2009	Set	15,54	827	3,10
2009	Out	16,35	833	2,86
2009	Nov	21,27	824	2,48
2009	Dez	20,27	843	2,49
2010	Jan	20,70	845	1,99
2010	Fev	21,81	748	3,10
2010	Mar	19,76	857	2,16
2010	Abr	16,89	802	2,91
2010	Mai	14,59	834	2,49
2010	Jun	13,13	791	3,38
2010	Jul	13,69	824	3,39
2010	Ago	16,30	1	0,00

---

ANEXO II – Média de Umidade Relativa de janeiro de 2006 a outubro de 2010.  
Banco de dados climatológicos Fonte: REDEMET – Rede de Meteorologia do  
Comando da Aeronáutica. <http://www.redemet.aer.mil.br>

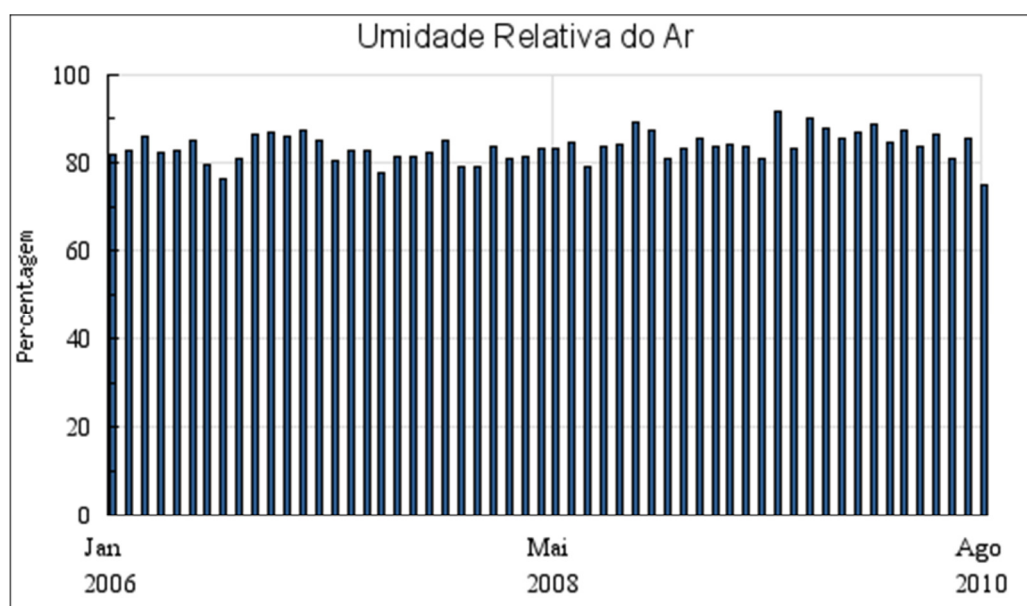
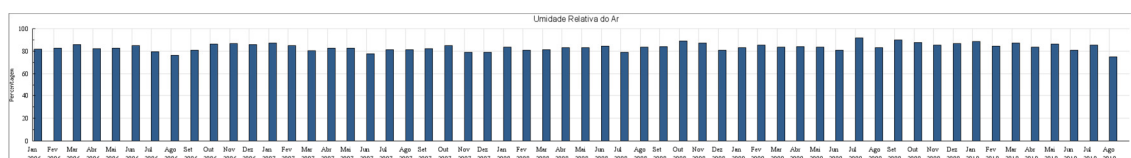
Gráfico de Umidade Relativa do Ar

**Nome da Estação:** AFONSO PENA

**Tipo da Pesquisa:** Umidade Relativa do Ar - Média Mensal em um Intervalo de Meses

**Media dos Valores Mensais:** 83,55

**Unidade de Medida:** %



## Relatório de Umidade Relativa do Ar

**Nome da Estação:** AFONSO PENA**Tipo da Pesquisa:** Umidade Relativa do Ar - Média Mensal em um Intervalo de Meses

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Valor(%)</b>	<b>Valores Válidos</b>	<b>Desvio Padrão</b>
2006	Jan	81.7	805	7,33
2006	Fev	82.8	721	7,99
2006	Mar	85.7	796	6,15
2006	Abr	82.2	783	8,94
2006	Mai	82.5	823	10,79
2006	Jun	84.8	827	9,47
2006	Jul	79.4	869	13,55
2006	Ago	76.2	820	16,92
2006	Set	80.8	811	16,73
2006	Out	86.2	864	8,54
2006	Nov	86.8	808	10,99
2006	Dez	86.0	820	8,12
2007	Jan	87.4	815	8,08
2007	Fev	85.2	737	8,67
2007	Mar	80.4	837	9,44
2007	Abr	82.7	807	6,64
2007	Mai	82.5	845	10,70
2007	Jun	77.7	763	11,51
2007	Jul	81.4	808	14,63
2007	Ago	81.5	817	13,98
2007	Set	82.4	828	13,05
2007	Out	85.2	820	9,70
2007	Nov	79.1	798	9,24
2007	Dez	79.2	825	9,21
2008	Jan	83.5	824	7,26
2008	Fev	81.1	757	7,92
2008	Mar	81.2	815	9,75
2008	Abr	83.2	807	9,32
2008	Mai	83.2	815	10,19
2008	Jun	84.5	823	12,36
2008	Jul	78.9	808	10,58
2008	Ago	83.7	827	14,29
2008	Set	84.2	787	13,01
2008	Out	89.0	845	9,75

2008	Nov	87.2	794	7,60
2008	Dez	80.7	818	8,21
2009	Jan	83.0	790	10,75
2009	Fev	85.2	743	8,90
2009	Mar	83.6	820	9,69
2009	Abr	84.1	791	9,75
2009	Mai	83.7	818	10,02
2009	Jun	81.0	788	13,31
2009	Jul	91.7	839	7,44
2009	Ago	83.1	838	11,94
2009	Set	90.1	827	9,04
2009	Out	87.9	833	7,80
2009	Nov	85.6	824	8,69
2009	Dez	86.9	843	7,12
2010	Jan	88.6	845	6,78
2010	Fev	84.7	748	9,97
2010	Mar	87.3	857	8,91
2010	Abr	83.7	802	7,91
2010	Mai	86.6	834	7,14
2010	Jun	81.1	688	11,44
2010	Jul	85.4	791	9,67
2010	Ago	75.0	1	0,00

---