

JOÃO BARBA NETO

**ESTUDO DE ELEMENTO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO EM DESIGN:
BIOMIMETIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE NINHOS DE *CACICUS HAEMORRHOUS***

Curitiba

2013

JOÃO BARBA NETO

**ESTUDO DE ELEMENTO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO EM DESIGN:
BIOMIMETIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE NINHOS DE *CACICUS HAEMORRHOUS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Design da Universidade Federal do Paraná como requisito para obtenção do título de Mestre em Design.

Área de concentração: Sistemas de produção e utilização.

Orientadora: Dr. Maria Lucia L. R. Okimoto

Coorientador: Dr. Alexandre Pelegrini

Curitiba

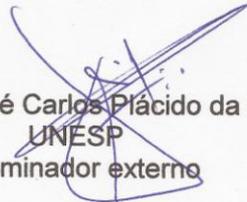
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

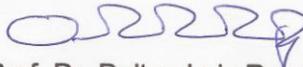
João Barba Neto

**"Estudo de elemento da natureza para aplicação em Design:
biomimetização da estrutura de ninhos de *Cacicus haemorrhous*"**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 07 de março de 2013.



Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva
UNESP
Examinador externo



Prof. Dr. Dalton Luiz Razera
Universidade Federal do Paraná
Examinador interno



Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini
Universidade Federal do Paraná
Co-orientador



Prof.ª Dr.ª Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto
Universidade Federal do Paraná
Presidente e examinadora interna

Dedico este trabalho aos meus pais Miguel Barba (*In memoriam*) e Vilma Biasi Barba; e a todos aqueles que fizerem uso dele, contribuindo com o avanço da pesquisa e o desenvolvimento tecnológico no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Certamente a parte mais desafiadora da dissertação: conseguir expressar tamanha gratidão que sinto por todas as de pessoas que foram fundamentais durante este trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a todo corpo docente do PPGDesign pelo compromisso, dedicação e prontidão, que demonstraram durante o curso, em especial a Profª Drª Virgínia Souza de Carvalho Borges Kistmann pelo seu carinho e sorriso, sempre presentes. À Profª Drª Stephania Padovani, pelo comprometimento e envolvimento com meu difícil processo de aprendizagem até o último dia do meu trabalho, sempre com a disposição e simpatia que lhes são peculiares. Ao Prof. Msc Ken Fonseca, pelas boas críticas e sugestões ao longo da busca do meu caminho. Muito obrigado!

Aos meus amigos de turma, todos, sem excessão, pela transparência e solidariedade, pela cumplicidade e carinho incondicionais. Especial agradecimento aos mais próximos, Cristiana de Miranda, André Schlemmer e Estefanie Schuster Cristofonili, pelas orientações e generosidade implícitas em cada gesto. Muito obrigado!

A Deus, por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais como a Profª Drª Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto, orientadora e amiga, a quem coube a delicada tarefa de dosar, “o que”, como e quando exigir de mim, além de tudo que me disponibilizou; o Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini, co-orientador e amigo, pela paciência e participação voluntária em momentos decisivos da pesquisa; o Prof. Dr. Dalton Luiz Razera, pela atenção e compromisso pela minha causa. Todos souberam reconhecer minha luta, dentro das minhas limitações, minhas potencialidades e principalmente meus prazos, qualidade tão difícil de encontrar em líderes. Muito obrigado Deus, por esta sorte. Muito obrigado, professores.

Agradeço à minha filha, Ariana Rassweiler Barba, pela paciência e pela cumplicidade, pela ajuda, pelo apoio, pelo amor dedicado, abrindo mão da minha atenção em tantas oportunidades, inclusive agora, com o mestrado. Muito obrigado, querida filha!

Especial agradecimento à Marilene Oeschler, parceira querida, minha paz, pelos abraços, pela presença desde o primeiro passo, em todas as etapas, pela solidão silenciosa, por tanta dedicação e amor. Muito obrigado!

Agradeço imensamente aos amigos Iria Tancon, Linda Poll e Francisco Klein, Marcel Viermon, pela amizade, gentileza, prontidão e simpatia. Obrigado a todos os amigos que me aguardam o retorno do contato, do convívio. Muito obrigado a todos!

Especial agradecimento à minha mãe, Vilma Biasi Barba, que me fez nascer e renascer tantas vezes. Quanta energia! Muito obrigado, querida mãe!

Por fim, agradeço à CAPES, pela bolsa de estudos.

*When we grew up and went to school
There were certain teachers who would
Hurt the children in any way they could
By pouring their derision
Upon anything we did
And exposing every weakness
However carefully hidden by the kids
But in the town it was well known
When they got home at night, their fat and
psychopathic wives would thrash them
Within inches of their lives.*

(Another Brick In The Wall, Pink Floyd)

RESUMO

Este trabalho estrutura um procedimento metodológico para estudar o desenvolvimento de novas possibilidades de sistemas construtivos, inspirados na natureza, biomimetizando estruturas de ninhos de *Cacicus haemorrhous*. O procedimento inclui revisão bibliográfica, estudo de métodos de identificação e extração de princípios de sistemas naturais (método de biônica), observação, experimentos laboratoriais e conclusão. Os resultados quanto à biomimetização apontam que é possível através de observação e experimento de validação o uso de sistemáticas que visem a biônica. A revisão bibliográfica acerca do tema, um dos objetivos específicos da pesquisa revelou necessidade de ampliar o território da biônica no Brasil. As tramas confeccionadas artificialmente a partir da biomimetização apresentaram resultados satisfatórios no que diz respeito resistência ao puncionamento, tanto em testes com pistão hemisférico como em pistão plano.

Palavras Chave: Estruturas, Design, *Cacicus haemorrhous*, Biônica.

ABSTRACT

The following work structure a methodological procedure to study the development of new possibilities of constructive systems inspired on nature, bio-mimetizing nests structures of *Cacicus haemorrhous*. The procedure included bibliographic review, study of methods identification and extraction of the principals from the natural systems (bionic method), observation, laboratory experimental and conclusion. The results regarded to bio-mimetization showed that it is possible, through the observation and validation experiments, the use of systematics that uses bionics. The bibliographic review about the theme, one of the specifics objectives of the research, revealed the necessity of amplified the bionic field in Brazil. The wefts artificially confected from the bio-mimetization presented satisfactory results regarding to the resistance to the punching, both in tests with hemispheric piston then flat piston.

Key-words: Structures, Design, *Cacicus haemorrhous*, Bionic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ganchos agarram as fibras.....	31
Figura 2 - Representação do canal de luz no pêlo do urso polar	32
Figura 3 - Análise morfológica da fruta do conde no processo de design do piso	33
Figura 4 - Amostra formulada por simulação 3D do piso inspirado na fruta-do- conde	33
Figura 5 - Esquema de uma solução de composição simples de geração de ideia ..	35
Figura 6 - Geração analógica iterativa do escopo de um problema	36
Figura 7 - Base da construção biônica	38
Figura 8 - Metodologia proposta pelo ndsm para o desenvolvimento de produtos baseados em estudos de biônica	44
Figura 9 - Essência da formação da analogia	45
Figura 10 - Conexão entre domínios	46
Figura 11 - Modelo de orientação do processo de raciocínio e ação em biônica	47
Figura 12 - Método proposto de hellms, Vattam & Goel (2009)	54
Figura 13 - Projeto conceitual bio-inspirado baseado em soluções (SB-BICD).....	57
Figura 14 - Mapa das populações dos caticus cela e caticus haemorrhous na América do Sul.	63
Figura 15 - Caticus cela.....	65
Figura 16 - Caticus haemorrhous.	65

Figura 17 - Formação de colônia de <i>Cacicus haemorrhous</i> , nas extremidades dos galhos da árvore hospedeira. Foto: P. Gonçalves.....	67
Figura 18 - Esquema ninho <i>cacicus cela</i> e <i>cacicus haemorrhous</i>	69
Figura 19 - Ninho de vespas (indicado com seta) mostra convívio entre insetos e colônia de <i>cacicus cela</i>	70
Figura 20 - Esquema gráfico das etapas 1 a 7.....	72
Figura 21 - Seleção do tipo de amostra	74
Figura 22 - Coleta das amostras	76
Figura 23 - Observação das amostras	78
Figura 24 - Parametrização	79
Figura 25 - Extração do princípio	80
Figura 26 - Validação	83
Figura 27 - Formação de analogias.....	84
Figura 28 - Esquema conceitual do método de pesquisa.....	85
Figura 29 - Pistão hemisférico.....	90
Figura 30 - Pistão plano	91
Figura 31 - Aparelho fixador do corpo de prova	92
Figura 32 - Exemplo de ninho comum.....	93
Figura 33 - Exemplo de ninho de <i>Cacicus haemorrhous</i>	94
Figura 34 - Arco para confecção das réplicas dos ninhos.....	95

Figura 35 - Processo de confecção réplica XX. O número presente na lateral superior esquerda da figura representa a etapa de construção.	96
Figura 36 - Resultado da confecção da réplica XX	97
Figura 37 - Processo de confecção réplica tipo 0.0, 2.0 e 4.0.....	98
Figura 38 - Resultado da confecção da réplica tipo 0.0	99
Figura 39 - Detalhe do processo de confecção do laço na réplica tipo 2.0	100
Figura 40 - Resultado da confecção da réplica tipo 2.0	101
Figura 41 - Resultado da confecção da réplica tipo 4.0	102
Figura 42 - Esquema da etapa 1	105
Figura 43 - Esquema etapa 2	107
Figura 44 - Mapa geral da Baía da Babitonga – Joinville/SC	108
Figura 45 - localização da captura dos ninhos de <i>Cacicus hemorrhous</i>	109
Figura 46 - Captura ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i>	110
Figura 47 - Ninho 01.....	111
Figura 48 - Ninho 02.....	111
Figura 49 - Ninho 03.....	112
Figura 50 - Ninho 04.....	112
Figura 51 - Ninho 05.....	113
Figura 52 - Esquema etapa 3.....	114
Figura 53 - Ninho 01 - análise morfológica.....	116

Figura 54 - Ninho 01: reforços estruturais, com fibras mais rígidas envolvidas pela da trama.....	117
Figura 55 - Ninho 01: o círculo mostra trama mais rígida e espessa; o retângulo,..	118
Figura 56 - Ninho 01 - mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.....	118
Figura 57 - Ninho 01 ponto 01 laço 'A' em repouso	119
Figura 58 - Ninho 01 ponto 01, (laço 'A') em repouso	120
Figura 59 - Ninho 01 ponto 01 laço 'A' sob puncionamento (tração).....	120
Figura 60 - Ninho 01 ponto 02 laço	121
Figura 61 - Ninho 01 ponto 03 laço	121
Figura 62 - Ninho 02: ilustração análise morfológica.....	122
Figura 63 - Ninho 02 – graveto inserido na trama.	123
Figura 64 - Ninho 02 - mistura de elementos artificiais e naturais.....	124
Figura 65 - Ninho 02: mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.....	124
Figura 66 - Ninho 02, ponto 01:2 laços sucessivos numa mesma fibra.	125
Figura 67 - Ninho 02 ponto 02 - 2 laços com várias voltas numa junta de fibras. ...	125
Figura 68 - Ninho 02, ponto 03 – laços de várias voltas numa junta de fibra, próximo ao galho de apoio.....	126
Figura 69 - Ninho 02 pt 03: detalhe do engaste	126
Figura 70 - Ninho 02 pt 04 - laço em artificial em fibra de natural	127
Figura 71 - Ninho 02 pt 05 - laço sem tração	127

Figura 72 - Ninho 02 pt 05 - laços tensionando o conjunto	128
Figura 73 - Ninho 02 ponto 05 – Apesar de rompido, o sistema	128
Figura 74 - Ninho 03 - ilustração da análise morfológica.	129
Figura 75 - Ninho 03: não estão presentes gravetos mais rígidos	130
Figura 76 - Ninho 03 - trama do fundo do ninho não representa diferença marcante em relação ao restante da trama.....	131
Figura 77 – Ninho 01: mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.	131
Figura 78 - Ninho 03 ponto 01: laço	132
Figura 79 - Ninho 03 ponto 02: laço	132
Figura 80 - Ninho 03 ponto 03: sistema em repouso.....	132
Figura 81 - Ninho 03 ponto 03: laço tensionando as fibras	133
Figura 82 - Ninho 04 – análise morfológica.....	134
Figura 83 - Ninho 04 - fundo do ninho formado por trama mais densa, com fibras mais apertadas se comparadas ao restante da estrutura	135
Figura 84 - Ninho 04 - presença de gravetos na parte externa da trama.	135
Figura 85 – Ninho 04: ancoragem e acabamento da borda de entrada do ninho ...	136
Figura 86 - Ninho 04 - mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.....	137
Figura 87 - Ninho 04 ponto 01: Fibra dá várias voltas ao redor das fibras	137
Figura 88 - Ninho 04 ponto 03 - Fibra dá várias voltas ao redor das fibras	138
Figura 89 - Ninho 04 pt 04 - vários laços em uma fibra.....	138

Figura 90 - Ninho 04 ponto 02 - Entrelaçamento de fibras.....	139
Figura 91 - Ninho 04 ponto 05 - Entrelaçamento de fibras.....	139
Figura 92 - Ninho 04 ponto 06 - fibras sem tensão de puncionamento	139
Figura 93 - Ninho 04 ponto 06 - fibras com tensão de puncionamento	140
Figura 94 - Ninho 05 – Análise morfológica	141
Figura 95 - Ninho 05: Fibras secas e finas. Estrutura complementar evidente.	142
Figura 96 - Ninho 05 - Fundo do ninho apresenta maior e mais	143
Figura 97 - Ninho 05: mapeamento dos pontos de observação	144
Figura 98 - Ninho 05 pt 01 - tramas que se laçam	144
Figura 99 - Ninho 05 ponto 02 - tramas que se laçam	145
Figura 100 - Ninho 05 ponto 03 - tramas que se laçam	145
Figura 101 - Ninho 05 ponto 05: ramo envolvido pelo laço, sem tensão.	146
Figura 102 - Ninho 05 ponto 05: ramo envolvido pelo laço, com tensão.....	146
Figura 103 - Esquema etapa 4.....	147
Figura 104 - Trama formada por fibras entrelaçadas	148
Figura 105 - Laço envolvendo um conjunto de outras fibras.....	148
Figura 106 - Os esforços são distribuidos entre outras fibras	149
Figura 107 - União de fibras, aumenta capacidade de força.....	150
Figura 108 - Reação das fibras que laçam o conjunto, evitando que se abra	150

Figura 109 - Vista lateral - a fibra se rompe dependendo da intensidade da tração	151
Figura 110 - Vista lateral - Sistema rompe em função da perda de atrito.	152
Figura 111 - Vista lateral - Conjunto de fibras laçadas por outra fibra.1.....	153
Figura 112 - Vista lateral - Força é distribuída na rede.....	154
Figura 113 - Vista inferior - sistema não impede que as fibras escorreguem para a fora.	155
Figura 114 - Vista inferior - punção supostamente.....	156
Figura 115 - Punção penetra com mais dificuldade no sistema.	156
Figura 116 - Sistema reage de forma contrária á força exercida pelo punção.	157
Figura 117 - Esquema etapa 5.....	158
Figura 118 - Esquema gráfico dos procedimentos da validação.....	160
Figura 119 - Arco para confecção das réplicas dos ninhos.....	162
Figura 120 - Trama aleatória tipo XX, confeccionada em lã.....	163
Figura 121 - Características das tramas 2.0.....	164
Figura 122 - Características das tramas 4.0.....	164
Figura 123 - Réplica com suporte para corpo de prova.	165
Figura 124 - Dinamômetro utilizado no ensaio.....	166
Figura 125 - Teste de puncionamento com pistão hemisférico.....	167
Figura 126 - Laço envolvendo fibras.....	168
Figura 127 - Laço envolvendo fibras.....	168

Figura 128 - Laço envolvendo fibras	169
Figura 129 - Solitação das fibras adjacentes, em função do entrelaçamento	169
Figura 130 - Laço envolvendo fibras	171
Figura 131 - Laço envolvendo fibras	171
Figura 132 - Laço envolvendo fibras	171
Figura 133 - Solitação das fibras adjacentes, em função do entrelaçamento	172
Figura 134 - Progressão da resistência ao esforço do grupo Y comparado ao grupo X – Pistão hemisférico.....	174
Figura 135 - Esforço x desvio padrão.....	174
Figura 136 - Comparação dos desvios padrões em relação aos esforços.....	175
Figura 137 - Coeficiente de variação entre as tramas.....	175
Figura 138 - Progressão da resistência ao esforço do grupo Y comparado ao grupo - Pistão plano	177
Figura 139 - O esforço e respectivos desvios padrões.....	177
Figura 140 - Comparação dos desvios padrões em relação aos esforços.....	178
Figura 141 - Coeficiente de variação entre as tramas.....	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Fases da pesquisa	25
Tabela 02 - Medições dos ninhos.....	111
Tabela 03 - Resumo dos resultados do puncionamento hemisférico	173
Tabela 04 - Resistência das tramas do grupo Y em relação ao grupo X – Pistão hemisférico.....	173
Tabela 05 - Resumo dos resultados do puncionamento plano.....	176
Tabela 06 - Resistência das tramas do grupo Y em relação ao grupo X - Pistão Plano.....	177

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	19
1.2 PROBLEMÁTICA	20
1.3 OBJETIVO GERAL	21
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.5 JUSTIFICATIVA	22
1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	24
1.7 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 CONCEITUAÇÃO DE BIÔNICA.....	26
2.1.1 Por que inspirar-se na natureza?	28
2.1.2 A Natureza como Meio para Inovação	29
2.1.3 Exemplos Motivadores de Produtos Inspirados na Natureza	30
2.1.4 Transferência Analógica entre Diferentes Domínios e Criatividade	33
2.1.5 Sistemática de Construção e Aplicação Biônica como Base da Construção Biônica..	37
2.2 ESTUDOS DE MÉTODOS DE BIÔNICA.....	39
2.2.1 Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseado no Estudo da Biônica de Acordo com Kindlein et al (2002).....	39
2.2.2 Modelo de Orientação do Processo de Raciocínio e Ação em Biônica Apresentado (Hill, 2005).....	45
2.2.3 Processo de Design Biologicamente Inspirado (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).	49
2.2.4 Projeto conceitual biologicamente inspirado, baseado em solução biológica - SB-BICD (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).	54
2.3 ESTRUTURAS DA NATUREZA – NINHOS DE PÁSSAROS	61
2.3.1 Ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i> e <i>Cacicus cela</i>	62
2.4 Orientações para método de extração do princípio de ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i>	71
2.4.1 Seleção do Tipo de Amostra	73
2.4.2 Coleta das Amostras	74
2.4.3 Observação das Amostras	76

2.4.4 Parametrização	78
2.4.5 Extração do Princípio	80
2.4.6 Validação.....	80
3 MÉTODO E MATERIAIS.....	85
3.1 ESQUEMA DO MÉTODO	85
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	86
3.3 MÉTODO DE OBSERVAÇÃO: DESCRIÇÃO FASE 01	87
3.3.1 Etapa 1 - Seleção do Tipo de Amostra.....	87
3.4 MÉTODO DE VALIDAÇÃO: DESCRIÇÃO FASE 02.....	87
3.4.1 Pistões.....	89
3.4.2 Aparelho Fixador do Corpo de Prova	91
3.4.3 Procedimentos dos Ensaios	92
3.4.4 Corpos de Prova	94
3.5 FASE 3: CONCLUSÃO	102
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO	104
4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE BIOMIMETIZAÇÃO DA ESTRUTURA DA TRAMA DOS NINHOS DE <i>CACICUS HOMORRHOUS</i>	104
4.1.1 Seleção do Tipo de Amostra	104
4.1.2 Coleta das Amostras	106
4.1.3 Observação das Amostras	113
4.1.4 Parametrização	147
4.1.5 Extração do Princípio	157
4.2 VALIDAÇÃO	159
4.2.1 Consulta a Bibliografias, Normas e Engenheiros	160
4.2.2 Análise dos Procedimentos	161
4.2.3 Preparo e Execução das Réplicas	161
4.2.4 Preparo dos Corpos de Prova	164
4.2.5 Testes Laboratoriais	165
4.2.6 Análise dos Corpos de Prova	167
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO	170
5.1 ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA	170
5.2 ANÁLISE DOS DADOS.....	172
5.2.1 Resultados dos Testes com Pistão Hemisférico	172
5.2.2 RESULTADOS DOS TESTES COM PISTÃO PLANO.....	176

6 CONCLUSÃO	180
6.1 QUANTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA	180
6.2 RECOMENDAÇÕES	183
6.3 APLICAÇÕES PARA AREA DO DESIGN	183
REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
ANEXO I.....	191

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados e justificados o tema e a problemática que envolvem domínios diferentes de conhecimento, a biologia e o design. Também serão apresentados os objetivos geral e específicos, bem como a classificação dos métodos de pesquisa.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

As pesquisas voltadas ao comportamento dos animais estão ganhando força e a importância que merecem (VASCONCELOS, 2000). Há muitas possibilidades de exploração da construção e da arquitetura de estruturas feitas por animais presentes na natureza. Sabendo-se então que os animais constroem estruturas com variadas formas e sistemas, da maneira mais apropriada possível, dentro de seus limites individuais e de seu contexto (VASCONCELOS, 2000). Diante da importância do tema, esta pesquisa parte da observação de um sistema natural, para encontrar mecanismos que possam ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos no domínio da engenharia.

Projetos inspirados em sistemas biológicos vêm ganhando vulto como um movimento do design voltado para consciência ambiental e o desenvolvimento sustentável (BENYUS, 2010). A urgência em alcançar a sustentabilidade ambiental tem promovido interesse crescente em coletar inspiração na natureza, a fim de criar conceitos inovadores em design (COELHO E VERSOS, 2010).

Outrossim, na fase criativa e conceitual do processo de projeto de engenharia, os designers têm a tarefa de inovar, buscando soluções para problemas do homem (WILSON & ROSEN, 2010). No entanto, eles tendem a se concentrar em uma estreita faixa de solução de abordagens, perdendo oportunidades valiosas, tendo em vista a quantidade de soluções disponíveis na biologia (HILL, 2005; BENYUS, 2010; WILSON & ROSEN, 2010). Neste contexto, alguns designers utilizam-se de ferramentas do domínio do design como auxílio na geração de ideias originais, inovadoras, eficientes e sustentáveis, buscando compreender o domínio da biologia para inspirarem-se (HILL, 2005, KAZAZIAN, 2005, BENYUS 2010, WILSON & ROSEN 2010). No design o nome desta ferramenta é biônica.

A biônica consiste em estudar e recuperar soluções formais, sistemáticas, estruturais, funcionais, morfológicas presentes na natureza viva, para serem empregadas em soluções de engenharia e design, em benefício do homem (RAMOS E SELL, 1994; KINDLEIN, 2000; HILL, 2004; BENYUS, 2010; WILSON & ROSEN, 2010; EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). A ação da biônica pode ser vista como o ato de descobrir princípios que definem certos mecanismos ou sistemas naturais, que ainda não foram alcançados plenamente pelo homem, a fim de implantá-los em sistemas artificiais (MIRALLES & GIULIANO, 2008). Esta prática requer observação dos sistemas naturais similares aos projetos de engenharia, proporcionando a possibilidade de construção de analogias (WILSON, 2008).

1.2 PROBLEMÁTICA

Uma vez estabelecido o ponto de partida, de acordo com Wilson (2008) é importante estabelecer um procedimento ou método. Os métodos auxiliam projetistas a explorar e expandir o espaço que delimita seu trabalho, visando melhores soluções de design (WILSON & ROSEN, 2010). A crítica aos métodos de concepção inspirados na natureza emergem do questionamento quanto a capacidade de medir a eficácia do apoio a realização dos objetivos. Para medir esta eficácia, é necessário o uso de ferramenta de validação (COELHO & VERSOS, 2010). A ferramenta de validação diz respeito a uma sucessão de procedimentos laboratoriais empíricos, que comprovam a eficácia das observações e conclusões atingidas pelo método de concepção inspirado na natureza (WILSON, 2008).

A biônica requer aplicação de formas específicas de agir e pensar no momento de sua implementação (HILL, 2005). O meio de fazer transferência de conhecimentos de domínios diferentes é a analogia. Esta transferência só é possível quando há similaridade entre as características funcionais do sistema natural e do sistema artificial, para estabelecerem relações. O princípio da solução de ambos os domínios devem coincidir (HILL, 2005). Para a extração do princípio funcional, um método deve ser construído (WILSON, 2008).

O sistema de construção de um método para a solução de um problema inspirado na natureza abrange a definição de tarefas a serem efetuadas, suas especificidades, chegando ao conceito do projeto até o produto final (HILL, 2004).

No entanto, não há como atribuir claramente as funções de um projeto, uma vez que existem várias formas de atingir a solução de um mesmo problema e, portanto, não há amostras esquemáticas seguras que conduzam a uma solução da engenharia (HILL, 2004). O processo é mais uma heurística, que combinado a criatividade e métodos, em que permite uma transição possível à realização de uma solução, gerada a partir da formação de analogias (HILL, 2004). Uma possibilidade para a ampliação de uma área na busca da analogia está na utilização de estruturas biológicas para a identificação da solução de um determinado problema (HILL, 2004).

A analogia representa uma espécie de medida para a originalidade da idéia, liberando associações para identificar a solução mais adequada ou eficaz. Para a formação de analogias, é necessária a extração do princípio funcional essencial do sistema natural, pois a partir dele, poderá ser feita a transformação deste em solução técnica similar, por meio de variação ou combinação com outros princípios ou funções estruturais válidas, visando suprir exigências tecnológicas, econômicas, ecológicas e sociais (HILL, 2004).

Para inovar, os designers poderiam fazer uso da observação da natureza viva e da ciência como ferramentas de trabalho (HILL, 2004). Estas ferramentas auxiliariam na aplicação de princípios naturais já existentes na criação de novas tecnologias. A biônica poderá ser esta ferramenta, facilitando o reconhecimento de princípios através de analogias, conhecendo mecanismos naturais desenvolvidos ao longo de milênios de processo evolutivo, inspirando-se para criar novas tecnologias (HILL, 2004, WILSON, 2008).

1.3 OBJETIVO GERAL

Biomimetizar o princípio funcional do sistema estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* para aplicar em design de produto

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar métodos de extração de princípio de sistemas naturais.

- Compor e aplicar método específico para extração do princípio estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous*.
- Replicar o princípio estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* e analisar sua eficácia, através de testes de resistência mecânicos em laboratório.

1.5 JUSTIFICATIVA

A natureza está em permanente aperfeiçoamento há bilhões de anos, desenvolvendo soluções próprias, necessitando cada vez menos de recursos para manter-se e adaptar-se (HILL, 2005; WILSON, 2008; BENYUS, 2011). Designers e engenheiros desenvolvem soluções econômicas e simplificadas quando inspiram-se em sistemas naturais vivos, desenvolvendo mecanismos que utilizam um mínimo de recursos de energéticos ou de materiais (WILSON, 2008), sendo considerada a tecnologia do futuro (HILL, 2005). A natureza é impulsionada pela sobrevivência do mais apto e ao mais adaptado ao contexto, onde a energia e a eficiência são fundamentais. Isso criou uma gama imensa de soluções eficazes para a maioria dos problemas do homem (WILSON, 2008), onde a economia de recursos nunca foi tão discutida como nos tempos atuais (MANZINI & VEZZOLI, 2005; MANZINI 2007).

Conforme Kazazian, (2005) a criação inspirada na natureza permite tirar alguns princípios suscetíveis de guiar nossos passos em direção à realização do desenvolvimento sustentável das atividades humanas e de uma economia baseada na generosidade. Na natureza, encontramos a mais perfeita noção de interdependência, onde cada sistema ou elemento existe através da relação com o todo, num eterno ciclo. Da natureza aparece a idéia de ciclo, numa permanente mudança de estado, de retroalimentação, onde todos os sistemas se desenvolvem à medida que recebem energia, sempre se auto-regulando.

A crescente importância e interesse na biomimética sugere para que os engenheiros compreendam que a natureza oferece ainda muito espaço para melhorar a forma como os sistemas são projetados. Neste momento, o processo pelo qual os engenheiros estão cientes de soluções da natureza é muito ineficiente (VINCENT & MANN, 2002).

É preciso desenvolver e empregar novas técnicas de desenvolvimento de produtos e tecnologias adequadas à realidade (MANZINI, 2007) e às necessidades,

encontrando soluções que agridam cada vez menos o meio ambiente (MANZINI & VEZZOLI, 2005). Para tanto, é necessária uma drástica descontinuidade tecnológica, ou seja, um grande salto para o aumento das capacidades técnicas ambientais (MANZINI & VEZZOLI, 2005).

A inovação tecnológica é fator fundamental para o desenvolvimento sustentável (KAZAZIAN, 2005). Novos conceitos (sustentáveis) devem ser desenvolvidos para dar novos rumos às possibilidades de permanência da espécie (BENYUS, 2011; HILL, 2005).

Neste contexto, cabe ao designer um papel fundamental na reconstrução de novos valores, ao adotar materiais e tecnologias adequados às características locais, culturais e sensoriais dos consumidores, ao meio ambiente e a indústria (MANZINI & VELOZZI, 2005; KARANA, 2008), buscando inovar e preservar a natureza. Por isso, e segundo Karana (2008, p. 1081) “os designers são responsáveis pela escolha de materiais adequados para os seus produtos, levando em consideração as características técnicas e sensoriais dos materiais”.

A observação da natureza facilita o reconhecimento de princípios através de analogias, conhecendo mecanismos naturais, desenvolvidos ao longo de milênios de processo evolutivo (HILL, 2004). De acordo com Hill (2005) através da analogia com a natureza, surge a oportunidade de transferência de conhecimentos heurísticos úteis que são abstraídas e, assim, permitindo a transição. A criação inspirada na natureza permite tirar alguns grandes princípios suscetíveis de guiar nossos passos em direção à realização do desenvolvimento sustentável das atividades humanas e de uma economia baseada na generosidade (KAZAZIAN, 2005).

As respostas podem estar presentes na natureza, porém ocultas por falta de pesquisas. A observação da natureza viva e a construção de analogias com seus elementos, pode ser uma forma de desenvolver novos princípios, formas e estruturas. O processo de utilização de um elemento natural como referência no processo de desenvolvimento de novos produtos, é uma ferramenta do design chamada “biônica” ou “biomimética” (SILVEIRA et al, 2010; BENNYUS, 2011).

1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Serão estudados ninhos de *Cacicus haemorrhous*, popularmente conhecidos como Guaxe e Japi, disponíveis na baía da Babitonga, Joinville, SC. Os ninhos serão submetidos a análises através de método de extração do princípio funcional, construído a partir de estudos de outros métodos de biônica. Para validação dos resultados da observação, o princípio funcional será testado em laboratório através de corpos de prova que replicarão as características da trama, e submetidas a testes de puncionamento.

1.7 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Do ponto de vista do objetivo geral, trata-se de pesquisa de natureza aplicada, pois “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (SILVA & MUSZKAT, 2001). A abordagem do problema é feita de forma qualitativa onde há uma valorização da idéia em detrimento da quantidade (REEVES, 1998). Do ponto de vista dos objetivos específicos a pesquisa se desenvolve em etapas.

A análise de métodos de extração dos princípios de sistemas naturais, consistirá em pesquisa bibliográfica buscando autores que tenham publicado métodos de biônica e extração de princípios, para delimitar o conceito de biônica, e selecionar elementos convergentes nos métodos para a composição e construção de método específico para extração de princípio funcional de amostra biológica. Os procedimentos técnicos segundo Silva e Muszkat (2001, p. 21) são denominados bibliográficos “quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na internet”.

A aplicação do método específico para extração do princípio estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous*, segunda etapa, consistirá na seleção, captura, observação da amostra biológica e extração do princípio funcional. Este procedimento tem como objetivo, segundo Gil (2010, p. 27) “a descrição das características de determinada população [...] com o objetivo de identificar possíveis relações entre variáveis”, classificando 21 estes procedimentos sob o aspecto do

objetivo, como descritiva. Depois de observadas as amostras, os dados referentes ao sistema natural serão abstraídos e parametrizados, resultando na extração do princípio funcional do sistema de estrutura. Segundo Gil (2010, p. 28) este procedimento “tem o propósito de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos”, classificando-a como pesquisa explicativa.

A terceira etapa, replicar o princípio estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* e analisar sua eficácia, através de testes de resistência mecânicos em laboratório, consistirá em fazer experimentos que possibilitem testar a extração do princípio funcional. Sob os aspectos dos procedimentos técnicos, Gil (2010, p. 32) classifica a pesquisa como experimental pois “consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as fórmulas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

A quarta e última etapa consistirá em analisar os resultados dos testes laboratoriais, com recomendações para novos estudos e conclusão da pesquisa. O resumo das fases da pesquisa constam na tabela 01.

Tabela 01 - Fases da pesquisa

Fases	Objetivos	Procedimento
Levantamento do métodos em biônica	Analisar métodos de extração de princípio de sistemas naturais, para compor método específico.	Seleção dos autores sobre biônica, Delimitação do conceito, seleção e convergencia dos metodos
Observação da Amostra	Aplicar método específico para extração do princípio estrutural da trama de ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i> ;	Seleção da amostra, captura da amostra, observação da amostra, parametrização e extração do principio (Biometização).
Validação	Replicar o princípio estrutural da trama de ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i> e analisar sua eficácia, através de testes de resistência mecânicos em laboratório;	Consultas, normas e engenheiros. Análise dos procedimentos. Execução das replicas, Preparo dos corpos de prova, Testes laboratoriais. Resultados (validação ou não).
Conclusão	Validar os procedimentos de biomimetização do princípio estrutural da trama de ninhos de <i>Cacicus haemorrhous</i> para aplicação em design de produto.	Análise dos resultados laboratoriais, recomendações conclusão.

Fonte: autor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados a conceituação de biônica e similares; quatro métodos de biônica de diferentes autores; e os hábitos dos guaxes em seus habitats.

2.1 CONCEITUAÇÃO DE BIÔNICA

A biônica é o estudo dos sistemas e organizações naturais que podem ser representados analogicamente pelo homem, visando recuperar soluções formais, estruturais e funcionais, empregando-as em situações semelhantes em problemas humanos (BROECK, 1989 apud SILVEIRA et al, 2010; RAMOS & SELL, 1994; KINDLEIN Jr, GEYER, LUNZLER, 2000). Para Benyus (2011; p. 10), a biônica ou “biomimética é a imitação consciente da genialidade da vida. Inovação inspirada pela natureza”. De acordo com Bonsiepe (1992, p. 177):

A análise biônica dos fenômenos formais da natureza é particularmente adaptada a estimular as capacidades de recolha dos pormenores tridimensionais e os princípios formais que os estruturam e para desenvolver as capacidades de transformar aquilo que se viu e analisou num objeto análogo.

Na análise biônica a criatividade é um aspecto essencial. A criatividade pode ser entendida como a capacidade de relacionar informações, surgindo outras possibilidades de idéias, segundo Ramos & Sell (1994, p. 97):

...ela pode ser estimulada pela busca de mais informações disponíveis em diferentes áreas do conhecimento e nos mais diversos meios, como a pesquisa bibliográfica, o estudo de sistemas técnicos existentes, a experimentação de modelos e o estudo e a análise de sistemas naturais; esta última, objeto de trabalho da biônica.

Ramos e Sell (1994, p. 99) comentam que “a Biônica analisa sistemas naturais, seus princípios e características funcionais, com o objetivo de buscar, por analogia, inspiração e novas abordagens para a concepção de sistemas técnicos”. A contribuição da biônica ocorre tanto como ferramenta para estimular a criatividade, quanto estudo científico na busca da compreensão dos fenômenos naturais. Como resultado, a contribuição pode resultar na determinação da melhor forma, na

definição de princípios de solução apropriados às funções almejadas ou ainda, na redução de insumos (RAMOS & SELL, 1994). Neste contexto, Ramos e Sell (1994, p. 86) esclarecem que “o estudo e a análise de um dado do sistema natural gera conhecimento sobre as características deste, podendo-se obter princípios naturais promissores”. Porém, é difícil a tarefa de identificar os sistemas naturais que possam dar ideias de soluções promissoras, ainda mais, escolher os mais importantes (RAMOS & SELL, 1994).

Miralles & Giuliano (2008) relatam que a biônica realça o reconhecimento de que, a partir do estudo de sistemas naturais e através de um processo de abstração, é possível afirmar princípios aplicáveis na engenharia, sendo transferível para o mundo artificial. A partir de um olhar heurístico, a ação biônica pode ser interpretada como o ato de descobrir mecanismos ou princípios que ainda não tenham sido capazes de alcançar em uma forma artificial de implantá-los em sistemas artificiais (MIRALLES & GIULIANO, 2008).

A idéia de pegar emprestadas as soluções da natureza é cunhada pelo homem há muito tempo, mas foi chamada de biônica pela primeira vez por Jack Steele, da força aérea dos EUA, em 1960, em uma reunião em Wright-Patterson Air Force Base, em Dayton (VINCENT et al, 2006; SILVEIRA et al, 2010). Mais tarde, Otto Schmitt usou o termo biomimética para descrever esta área de estudo (WILSON, 2008). O processo de utilização de um elemento natural como referência no processo de desenvolvimento de novos produtos, é uma ferramenta do design chamada “biônica” ou “biomimética” (SILVEIRA et al, 2010; BENYUS, 2011). Biomimética pode ser vista como a transferência da tecnologia natural para a engenharia de domínio, como a mecânica, química, materiais, etc. Outros sinônimos são usados por diversos autores como biomimesis, biomicry, biognosis, e design bio-inspirado (WILSON, 2008).

Para Eroglu, Erden & Erden (2011) o processo de inspiração na natureza, chamado como biomimética ou bioinspirado visa desenvolver novos produtos da engenharia através da observação de similares da natureza, no que diz respeito às funções, estruturas e materiais. De acordo com Podborschi et al. (2005 apud SOARES 2008), “a Biônica (ou Biomimetismo) é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, de formas, etc.) e a aplicação destes princípios e processo na procura de soluções para os problemas que a humanidade encontra.”

De forma geral, os autores não traçam diferenças marcantes entre biônica e biomimética. Para Benyus (2011), existem três fatores que descrevem o campo da biomimética, que vão a seguir sintetizados:

- a) A natureza como modelo. Estuda modelos da natureza imitando-os ou usando-os como inspiração em prol de designs e/ou processos, para resolver problemas humanos.
- b) A natureza como mentora. Enfoca a natureza sob nova perspectiva, estabelecendo-a como modelo para o aprendizado, não como matéria-prima para produtos.
- c) A natureza como medida. Usa o padrão ecológico para avaliar a relevância das inovações. Após bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu o que funciona, o que é apropriado e o que dura.

2.1.1 Por que inspirar-se na natureza?

Para Wilson (2008, p. 34) “o processo de design da natureza, a evolução, é promulgada pela seleção natural”. A natureza pode ser sintetizada como um processo cujas características mais favoráveis tornam-se prevaletes em gerações sucessivas de um organismo. É impulsionada pela sobrevivência do mais apto, no qual a energia e a eficiência são fundamentais. Além disso, é o mais adaptado possível ao contexto de seu ambiente. Com isso, a natureza criou uma gama de soluções eficazes para a maioria dos problemas enfrentados de engenharia (WILSON, 2008).

Quando os designers fazem uso da natureza viva como referência no desenvolvimento de novos produtos, constroem sistemas e tecnologias a partir de modelos naturais, trazendo novas perspectivas para a solução dos problemas, consumindo o mínimo de materiais, energia ou facilitando a reciclagem (HILL, 2005).

As respostas podem estar presentes na natureza, porém ocultas por falta de pesquisas (RAMOS & SELL, 1994; HILL, 2004; BENYUS, 2011). A observação da natureza viva e a construção de analogias com seus elementos podem ser uma forma de desenvolver novos princípios, formas e estruturas (HILL, 2005). De acordo com Benyus (2011, p. 15) a natureza estabelece uma condição de interrelação

consigo própria, que é caracterizada por todo o sistema de vida no planeta, passível de instituir algumas leis, estratégias e princípios:

- A natureza é movida a energia solar.
- Usa apenas a energia de que precisa.
- Adapta a forma à função.
- Recicla tudo.
- Recompensa a cooperação.
- Confia na diversidade.
- Exige especialização geograficamente localizada.
- Inibe excessos em seu seio.
- Explora o poder dos próprios limites.

Vogel (1998 apud WILSON, 2008) enumera algumas características comuns encontradas em sistemas naturais que são:

- Feitas a partir de menos componentes cujas propriedades variam internamente.
- Preocupadas com a força, fazendo seus materiais mais resistentes.
- Construídas através de compósitos fibrosos.
- Adaptativa, o que significa adaptar-se a mudanças ambientais e de cargas, em diferentes escalas de tempo.
- Multifuncional, dedicando várias funções a um único componente (integrada).
- Organizadas hierarquicamente, tendo muitas escalas de tamanho e níveis de organização.

2.1.2 A Natureza como Meio para Inovação

A inovação faz parte da mudança advertida no início dos anos 1970 pelo Clube de Roma, já vivenciada por milhões de pessoas em todo o planeta. Neste contexto, a natureza poderia ser fonte de inspiração para problemas relativos à necessidades e atividades cotidianas em curto prazo (BENYUS, 2011). Uma iniciativa tomada hoje pode render resultados concretos num prazo entre 2 e 5 anos (KAZAZIAN, 2005). Porém, Kazazian (2005, p. 10) ressalta que “nossa sociedade

precisa dar um enorme passo criativo: isso deverá acontecer por meio de objetos concebidos para tecer um novo vínculo entre o homem e a natureza”.

O designer, para inovar, poderá fazer uso de ferramentas e da ciência, ora desenvolvendo sistemas artificiais de tecnologia, ora observando, percebendo, inspirando-se e empregando princípios já existentes na natureza (BENYUS, 2011). A observação da natureza facilita o reconhecimento de princípios através de analogias, conhecendo mecanismos naturais, desenvolvidos ao longo de milênios de processo evolutivo (HILL, 2004). De acordo com Hill (2005, p. 25) “através da analogia com a natureza, surge a oportunidade de transferência de conhecimentos sobre leis heurísticamente úteis que são abstraídas e, assim, aberta a comparação com a tecnologia”. A criação inspirada na natureza permite “tirar alguns grandes princípios suscetíveis de guiar nossos passos em direção à realização do desenvolvimento sustentável das atividades humanas e de uma economia baseada na generosidade” (KAZAZIAN, 2005, p. 28).

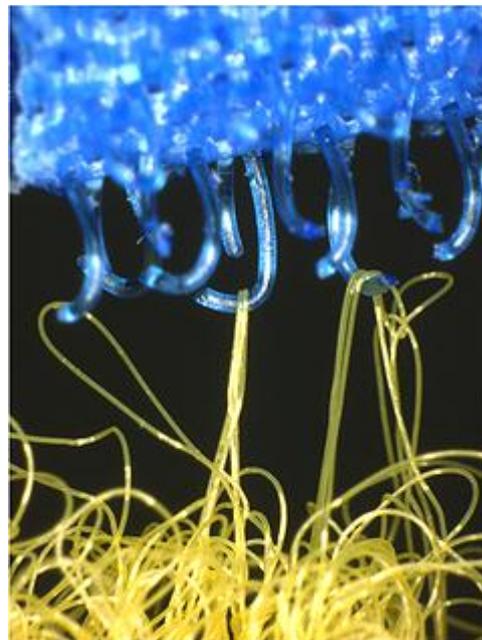
Observando a natureza, podemos ter uma ótima referência de ciclo de vida (KAZAZIAN, 2005; BENYUS, 2011). Por exemplo, a energia é o fator que faz o ecossistema crescer e multiplicar-se, proliferando um estado mais favorável - chamado de *optimum* - sem nunca ultrapassar seus limites de tolerância. Os manguezais são um ótimo exemplo disso. As margens dos manguezais são formadas por árvores, cujas raízes estendem-se debaixo d'água. Ao caírem, suas folhas constituem a alimentação de bactérias, peixes, caranguejos, camarões e algas que, por sua vez, são presas gastrópodes, presentes na alimentação de certos peixes. Além de servirem de abrigo para ostras, esponjas e crustáceos, as raízes submersas servem de berçário para alevinos de peixes de alto-mar. Em perfeito equilíbrio, o manguezal alimenta-se de água salobra, de luz solar e de nitrogênio, nutriente tirado da decomposição das próprias folhas para sobreviver (KAZAZIAN, 2005).

2.1.3 Exemplos Motivadores de Produtos Inspirados na Natureza

- Velcro

Um dos produtos inspirados na natureza mais conhecidos foi o velcro, criado em 1948, antes mesmo de ser conhecida a palavra biônica como ciência. O cientista suíço Georges de Mestral percebeu no retorno de suas caminhadas junto com seu cachorro, vários carrapichos estavam grudados em suas roupas e pelagem. Ao estudar a planta, Mestral observou o desenho do elemento vegetal e descobriu como se dava o mecanismo de agarre. Desenvolveu estudos e inventou o Velcro, derivado da palavra francesa veludo e crochè (BIOKON, 2001).

Figura 1 - Ganchos agarram as fibras



Fonte: Velcro ® (2011).

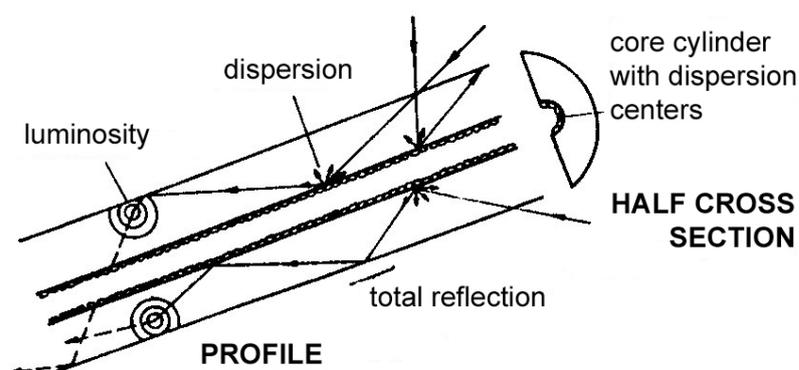
- Canal de luz

Durante o processo evolutivo dos ursos, houve migrações para o pólo norte que induziram a uma cisão e conseqüente nova adaptação ao meio. A pelagem marrom mostrava-se adequada para a produção de calor para as condições climáticas e ambientais predominantes onde viviam, mas mostrou-se inadequada no entorno branco das regiões polares setentrionais para onde migrou. O desenvolvimento de pigmentação escura na pele e o branqueamento natural dos pelos fez-se necessário para uma nova condição do habitat. As mudanças não param por aí. Os pelos brancos dos ursos polares são ocos, levando a luz por

reflexão para a raiz dos mesmos, sendo absorvida de maneira mais eficiente pela pele escura (HILL, 2005).

Este sistema de canal de luz pode ser interpretado analogamente. Estas percepções são armazenadas em sistemas de catálogo para servirem de informações úteis, como ponto de partida para resolução de problemas, como por exemplo, soluções técnicas para sistemas de isolamento térmico (HILL, 2005).

Figura 2 - Representação do canal de luz no pêlo do urso polar

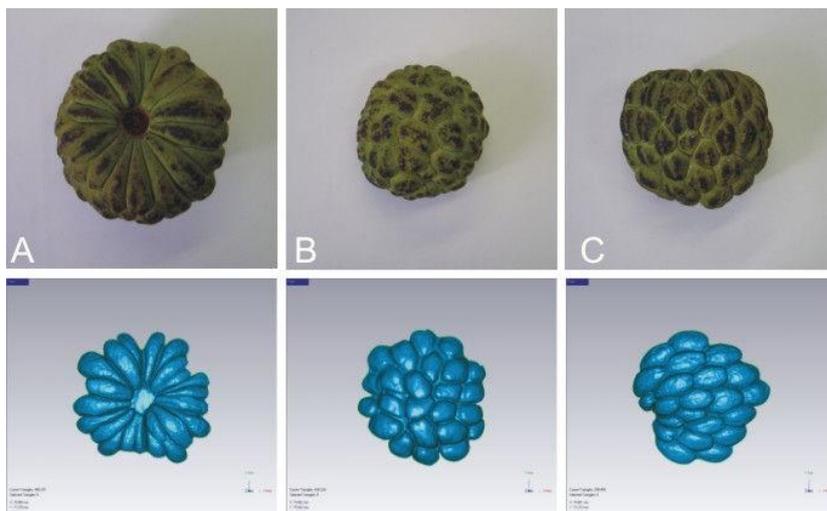


Fonte: Hill (2005).

- Piso antiderrapante

No Brasil, experimentos elaborados pelo prof. Dr. Wilson Kindlein Jr. e colaboradores, a espécie vegetal *Annona Coriacea*. Conhecida no Brasil como Fruta-do-conde ou Araticum, serviu de inspiração para o design de superfícies no desenvolvimento de pisos antiderrapantes, graças à morfologia da superfície da fruta, em gomos, e sua rugosidade. De acordo com Kindlein et al (2010, p. 35) “A metodologia adotada neste trabalho inclui a digitalização tridimensional de um espécime de fruta-do-conde, tratamento dos dados obtidos, testes em materiais, criação de textura, modelagem tridimensional dos pisos e renderização final.”

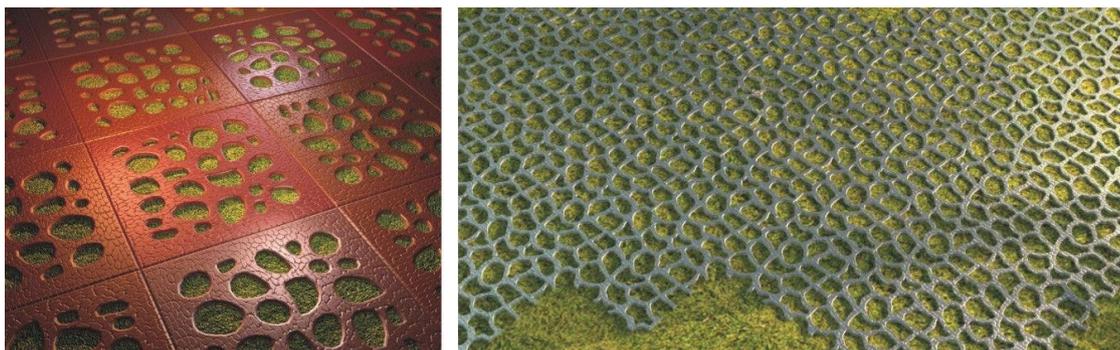
Figura 3 - Análise morfológica da fruta do conde no processo de design do piso



Fonte: Kindlein et al (2010).

Depois de processados, os dados e as imagens formaram um repertório de informações na geração de ideias para o desenvolvimento do piso. Apesar de virtuais, as imagens da proposta revelam a relação entre os gomos da fruta do conde e o desenho no piso.

Figura 4 - Amostra formulada por simulação 3D do piso inspirado na fruta-do- conde



Fonte: Kindlein et al (2010).

2.1.4 Transferência Analógica entre Diferentes Domínios e Criatividade

Uma analogia envolve transferência de informações ou ideias de uma fonte para outra. Os pesquisadores Hon e Zeiner (2004, apud CHEONG, CHIU & SHU,

2010) descobriram que de forma geral, designers são mais estimulados quando inspirados em fontes de domínios diferentes que quando inspirados dentro de fontes de seus próprios domínios. Benami & Jin (2002, apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010), descobriram que as analogias de diferentes domínios a que os designers estão acostumados, estimulou ideias mais inovadoras. Teng et al (2008, apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010) observou que os estímulos relacionados distantemente com o domínio dos designers são particularmente mais eficazes quando eram estabelecidas metas mais abertas de um problema de design. Consequentemente a transferência analógica entre domínios diferentes tende a promover mais as ideias criativas, por envolver transferência de um nível mais profundo das relações entre diferentes áreas. Esta condição requer que os designers mapeiem padrões que se relacionam, por exemplo, semelhanças funcionais, ao invés de simplesmente mapear similaridades perceptivas (HOLOYAK & THAGARD, 1996 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010).

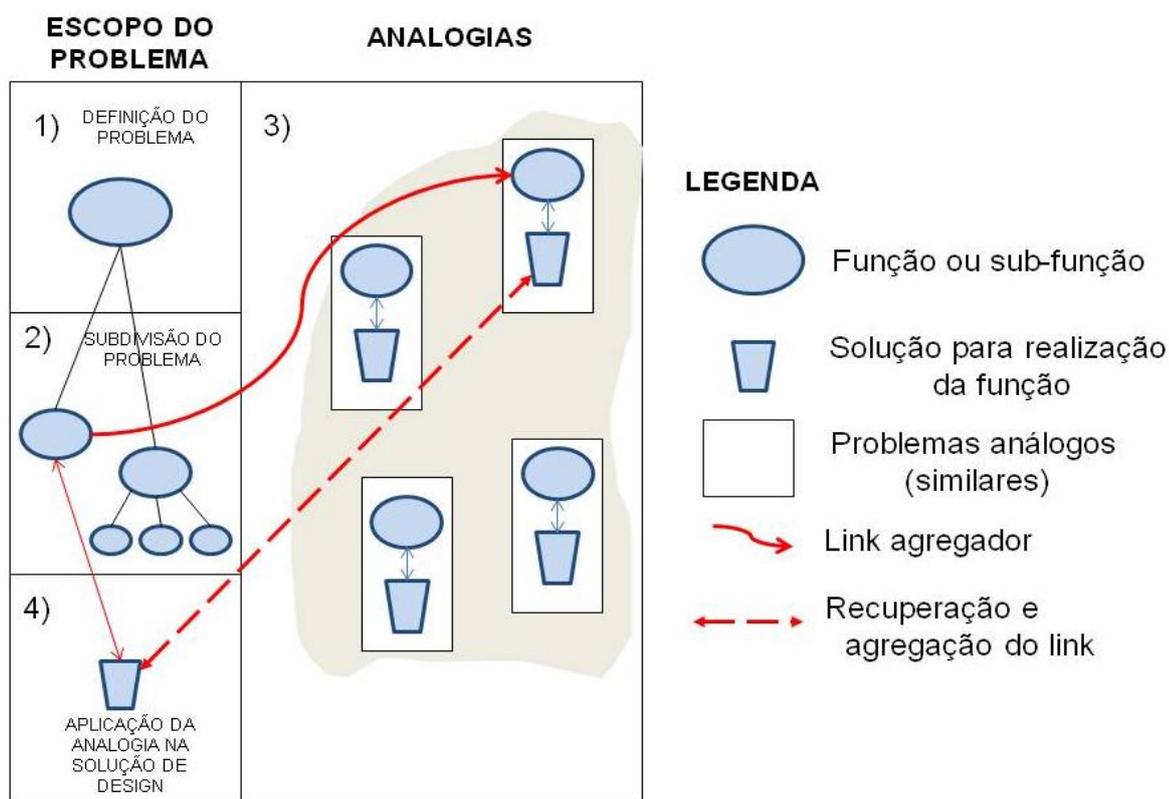
A fonte biológica analógica aparentemente difere do alvo do problema de engenharia. Isto acontece mais frequentemente entre designers jovens ou inexperientes (BONNARDEL ET al, 2005 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010). Linsey et al (2007 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010) analisaram a influência que um determinado designer teve em função de seu conhecimento na área da aviação e isso foi fundamental para uma solução original e inovadora de design de um caiaque, apesar de ser da área da navegação.

O processo de design apoiado pela biônica ou biomimética, envolve uma complexa interação entre analogia e recuperação de decomposição do problema (VATTAM et al, 2008 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010). Um erro muito comum incide sobre a estrutura das soluções biológicas: o mapeamento dos padrões relacionais entre diferentes domínios podem dificultar muito as analogias e as transferências de soluções entre biologia e engenharia (HELMS et al 2009 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010). Para Cheong & Shu (2009 apud CHEONG, CHIU & SHU, 2010), encontrar outras habilitações para uma mesma ação nas descrições biológicas, ou seja, estudar a gama de informações nas relações causais relevantes, desempenha um papel chave na formulação ou construção de uma analogia corretamente formulada pelos designers.

Segundo Helms, Vattam & Goel, (2008), o processo de concepção de projeto biologicamente inspirado envolve composição de analogias, resultando numa

complexa interação entre o processo de decomposição do problema e a transferência analógica. Normalmente os designers decompõem um problema complexo em subproblemas mais simples. No entanto, uma análise da interação entre a decomposição do problema e a transferência analógica, revelou o processo de oportunidades de composição de analogias (HELMS, VATTAM & GOEL, 2008) (Figura 05).

Figura 5 - Esquema de uma solução de composição simples de geração de ideia: 1) apresentação do problema; 2) elaboração do espaço problema e decomposição em subproblemas; 3) recuperação do espaçoanálogo; e 4) aplicação da analogia na solução. repetir a operação

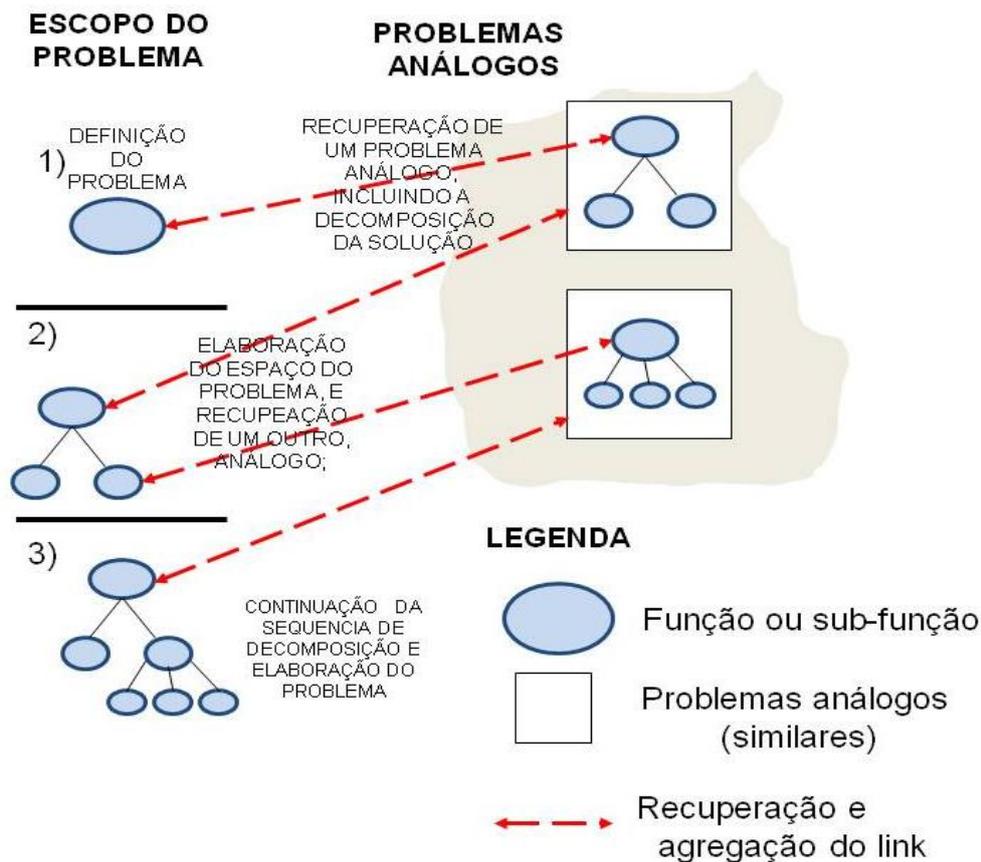


Fonte: Autor, baseado em Helms, Vattam & Goel, 2008.

Helms, Vattam & Goel, (2008) revelam que em outras situações, onde o problema e a decomposição se apresentam mais complexo, o designer reconhece o problema e procura uma solução análoga. Esta fonte de recuperação análoga fornece uma solução potencial, a qual, através de um conhecimento mais explícito a respeito do funcionamento da solução (decomposta), percebe a decomposição do

problema. O esquema dessa estratégia de decomposição da solução em design é expressa na figura 6.

Figura 6 - Geração analógica iterativa do escopo de um problema: 1) apresentação do problema e recuperação de outro análogo, incluindo a decomposição da solução; 2) elaboração do espaço do problema, e recuperação de um outro, análogo; 3) continuação da elaboração



Fonte: autor, baseado em Helms, Vattam & Goel, 2008.

Cada nova decomposição, a partir da fonte análoga que está integrada no domínio do problema, pode atuar como uma pista adicional para a recuperação de um novo conjunto análogo de solução. Este processo continua iterativamente, conduzindo a um desenvolvimento gradual do espaço do problema. Em cada etapa, o designer pode avaliar as soluções parciais disponíveis, decidindo tomar atitudes adicionais, ou não (HELMS, VATTAM & GOEL, 2008). A realimentação interativa entre os dois diferentes domínios representa tanto a evolução do processo

incremental do problema de design, como da concepção composta de soluções (HELMS, VATTAM & GOEL, 2008).

Para Helms, Vattam & Goel (2008), o sucesso do processo da biônica requer que os designers realizem representações ricas em soluções antes ou durante o projeto. Estas representações são organizadas em diferentes níveis de abstração e de agregação, de forma a facilitar a decomposição de soluções, permitindo soluções análogas a serem recuperadas com dicas tiradas de cada nível. A partir do mapeamento cria-se um espaço comum entre os diferentes domínios de conhecimento, permitindo transferir o potencial de soluções entre o domínio da engenharia e da natureza. Esta oportunidade de interação entre a decomposição do problema de engenharia e o sistema natural análogo é a chave para a evolução do espaço do problema de design e no sucesso de criação de composição de soluções. (HELMS, VATTAM & GOEL, 2008).

Conforme Vincent & Mann (2002) revelam, quando inovamos geralmente não conseguimos tirar proveito das soluções e práticas de outras ciências e tecnologias ou para reconhecer as semelhanças entre os nossos problemas técnicos e as soluções para problemas semelhantes em tecnologias de outra forma estranha.

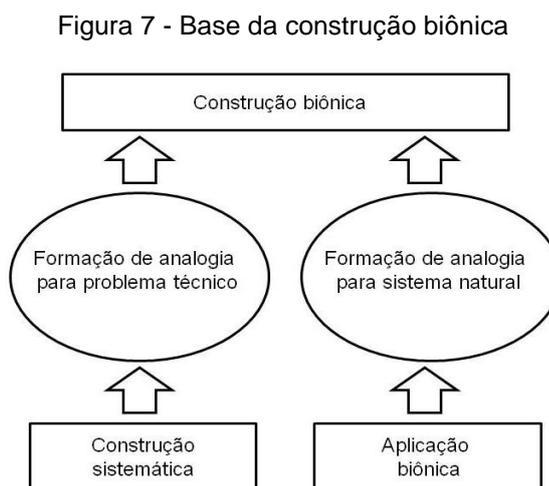
2.1.5 Sistemática de Construção e Aplicação Biônica como Base da Construção Biônica

A sistemática de construção é um método científico para a construção de solução de problemas, abrangendo a totalidade do processo de encontrar soluções para problemas técnicos (HILL, 2004). Abrange a definição de tarefas a serem efetuadas, suas especificidades, chegando ao conceito que é a identificação e definição da forma no contexto do projeto, até a produção final do produto (HILL, 2004).

Não há uma possibilidade de atribuir claramente as funções de estrutura de um sistema técnico, visto que há sempre uma multiplicidade de tipos de solução para um mesmo problema durante o desenvolvimento do projeto (HILL, 2004). Por esta razão, não há amostras esquemáticas ou algorítmicamente processáveis para orientar ou ajudar a pensar, que sejam por meios das informações seguras que conduzam ao objetivo de uma função que preencha uma estrutura (HILL, 2004). A partir disso, tal processo é mais uma heurística que, combinada com a criatividade e

métodos, permite uma transição possível da realização de uma etapa para outra (HILL, 2004). Para buscar a solução deve ser gerada uma solução cumprindo estruturas, que podem levar à formação de uma analogia (HILL, 2004).

A partir do reconhecimento do princípio, pode ser feita a transformação deste em uma solução técnica similar, adequada, por meio da variação e/ou da combinação de componentes estruturais válidos, visando a suprir as exigências de caracteres tecnológicos, econômicos, ecológicos e sociais. Biônica aplicada construída de forma sistemática é a base para a construção biônica (HILL, 2004). A natureza disponibiliza um arsenal de “patentes” para a construção biônica e a formação de analogias (HILL, 2004). A figura 7 mostra esquematicamente, a base da construção biônica, a partir de uma construção sistemática ou a partir de uma aplicação.



Fonte: Hill, 2004.

A integração entre o pensamento e a ação em biônica no processo de construção, pode ser descrita como uma forma sistemática no desenvolvimento de soluções técnicas eficientes (HILL, 2004). Este procedimento baseia-se na produção do conhecimento. O modelo de estratégia para o alcance do objetivo e identificação da solução requer superação de barreiras de pensamento do designer (HILL, 2004). De acordo com Hill (2004) a determinação do objetivo termina com a formulação da tarefa de desenvolvimento.

2.2 ESTUDOS DE MÉTODOS DE BIÔNICA

Nesta sessão, serão apresentados os métodos de biônica que serão usados em forma de referencial para a composição do método de extração do princípio dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*.

2.2.1 Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseado no Estudo da Biônica de Acordo com Kindlein et al (2002)

Para o desenvolvimento de um produto baseado em princípios da natureza, é importante que se faça o uso de um método apropriado, visando conseguir maior eficácia nos resultados, buscando antes otimizar os dados para depois utilizá-los. O uso correto de uma metodologia em biônica permite ao projetista organizar etapas fundamentais de ações, de maneira lógica. Neste sentido, este método tem por objetivo colaborar com a pesquisa aplicada em biônica, para a captação de informações fundamentais e eficientes (KINDLEIN et al, 2002).

Seleção da amostra

A partir de uma necessidade: O tipo de sistema natural a ser pesquisado é definido a partir de uma necessidade ou produto não atendido, facilitando a formulação de um problema. É fundamental que os atributos presentes no sistema natural a ser estudado condiga com o problema que se pretende resolver (KINDLEIN et al, 2002). A identificação de uma necessidade depende de seu reconhecimento, para a preparação detalhada de um problema, envolvendo todos os seus aspectos. Isto permitirá conhecer minuciosamente a situação atual de uma determinada situação e suas falhas. Ao identificar as necessidades, será mais fácil formular o problema e traçar metas de ação visando a solução. A biônica está inserida neste contexto, como ferramenta de criação e desenvolvimento de produtos, ou seja, de design (KINDLEIN et al, 2002).

A partir de um sistema natural: O tipo de amostra a ser pesquisado surgirá da observação do ambiente natural. Parte de um sistema natural cuja analogia de sua estrutura, forma ou função possam ser futuramente aplicados em um problema de design (KINDLEIN et al, 2002). Algumas características funcionais, morfológicas,

estruturais, observadas poderão ser relevantes ou adaptáveis a futuros problemas, que até o momento não foram reconhecidos.

A partir da definição de um dos pontos de partida acima, o designer poderá escolher a amostra natural mais adequada para dar início ao desenvolvimento de seus estudos (KINDLEIN et al, 2002). Deverão ser determinados critérios para que possam avaliar a validade da analogia escolhida.

Preparação do Problema: mapear as alternativas possíveis para a solução de um problema ou ideia inovadora num projeto de produto. A partir da definição clara de um problema, a amostra do sistema natural que se enquadra a ele, poderá ser definida (KINDLEIN et al, 2002).

Amostra: selecionar tipos de sistemas naturais possíveis, enfatizando suas características mais relevantes (KINDLEIN et al, 2002).

Fontes de Informações: buscar em bibliografias específicas ou técnicos da área da biologia, especificidades e informações que levam à compreensão do escopo da amostra do sistema natural, buscando entender seu comportamento e o meio em que está inserido (KINDLEIN et al, 2002). Esta pesquisa prévia ajudará o designer entender que tipo de situação-problema o sistema natural dá a solução.

Coleta das Amostras

Saída a Campo: A partir dos dados das pesquisas junto a profissionais da área da biologia e das bibliografias técnicas específicas, o designer poderá saber onde e com que materiais deverá coletar as amostras dos sistemas naturais que pretende estudar. Durante esta etapa, é preciso ter máximo cuidado para não adulterar as amostras para não comprometer sua integridade (KINDLEIN et al, 2002).

Identificação das amostras: Uma vez capturadas, se necessário, pode se contar com auxílio técnico de um profissional da área biológica. As amostras devem ser identificadas (KINDLEIN et al, 2002).

Observação das Amostras

Nesta etapa, o designer deverá abstrai-se, investigando o sistema natural como se estivesse analisando propriamente um protótipo. Segundo Kindlein et al (2002) devem-se considerar:

- Componentes: componentes físicos, organismos, células, etc.
- Estrutura e morfologia: organização das partes e do todo, organização entre sistemas de outras espécies, relações estruturais e funcionais entre outras espécies, mesmo quando envolvem plantas ou animais.
- Funções e processos: fisiologia do sistema, incluindo mecanismos de regulação em qualquer nível.
- Distribuição do tempo: variações do sistema ao longo do tempo tanto no indivíduo como na espécie.
- Distribuição espacial: zoogeografia, fitogeografia, etc.
- Relação com o meio ambiente: influência do meio e vice-versa.
- Classificação: taxonomia, classificação de ecossistemas, etc.

Segundo Kindlein et al (2002) para visualizar as características fundamentais da amostra do sistema natural, a observação deverá ser feita nas seguintes escalas:

- Observação a olho nú: permitirá visualização contextual, observando e percebendo a forma do sistema, a composição do todo.
- Fotografia Macro: Com uso de equipamento fotográfico com lentes objetivas apropriadas, é possível visualizar a amostra em detalhes e congelamento das imagens.
- Lupa Ótica: Possibilita visualização de pormenores que facilitam a compreensão dos componentes do sistema ou subsistemas. Com equipamento adequado, poderá ser possível o registro das imagens ampliadas e diferentes escalas ópticas. O observador poderá também fazer uso de representações gráficas do que está sendo observado, requisitando mais atenção do pesquisador.
- Análise em Microscópio (ideal que seja eletrônico por varredura – MEV): Um feixe de elétrons age como condensadores, através de lentes eletromagnéticas. Uma série de sinais são emitidos, formando imagens muito precisas. Este sistema permite a formação de imagens eletrônicas,

possibilitando o uso dos instrumentos mais atuais de processamento e visualização de imagens. O MEV permite visualizações com profundidade de foco, cuja microscopia ótica convencional não permite (KINDLEIN et al, 2002).

Quanto mais detalhada é a figura, mais detalhada e minuciosa a observação das mesmas, pois as propriedades e superfícies dos materiais ficarão mais evidentes, obtendo informações que podem ser úteis ao desenvolvimento de eventuais produtos. O observador deverá fazer anotações sobre ‘forma-função’ e gravar as imagens em meio digital (KINDLEIN et al, 2002).

Caso sentir necessidade, o observador poderá fazer incisões na amostra. Isto requer o uso de bisturi ou material apropriado, dependendo da amostra e materiais de proteção, como luvas. Para visualização em microscópios, deverão ser preparados suportes específicos das amostras, chamados de *stubs*. Os *stubs* são dispositivos feitos pelo observador no qual as partes da amostra natural são inseridas, para serem melhor posicionadas no microscópio. Fragmentos de amostra são inseridos dentro de resina acrílica em estado líquido, posteriormente endurecida por reação química. As amostras devem ser cortadas e devidamente polidas com diferentes gramaturas de lixas d’água. Os *stubs*, depois de observados, deverão ser devidamente acondicionados, evitando contato com poeira ou situações que destruam a amostra, que poderão ser re-analisadas a qualquer momento da pesquisa (KINDLEIN et al, 2002).

Desenhos e representações do sistema poderão ser feitos para correta interpretação das imagens, em qualquer das etapas de observação (KINDLEIN et al, 2002).

Parametrização

Nesta etapa, as imagens são analisadas com intuito de construir parâmetros, ou seja, reconhecer valores palpáveis e conhecidos dos dados adquiridos até esta etapa, simplificando as formas e os detalhes que o observador julgar importantes. A visualização do delineamento (esboço estrutural). Permite interação entre as ideias criativas e as informações disponibilizadas pela observação. Segundo Kindlein et al (2002) “Nesta etapa se faz uma espécie de tradução das informações à uma linguagem técnica através da parametrização”. Esta etapa precede a etapa de criação de analogias.

Analogia do Sistema Natural com o Produto

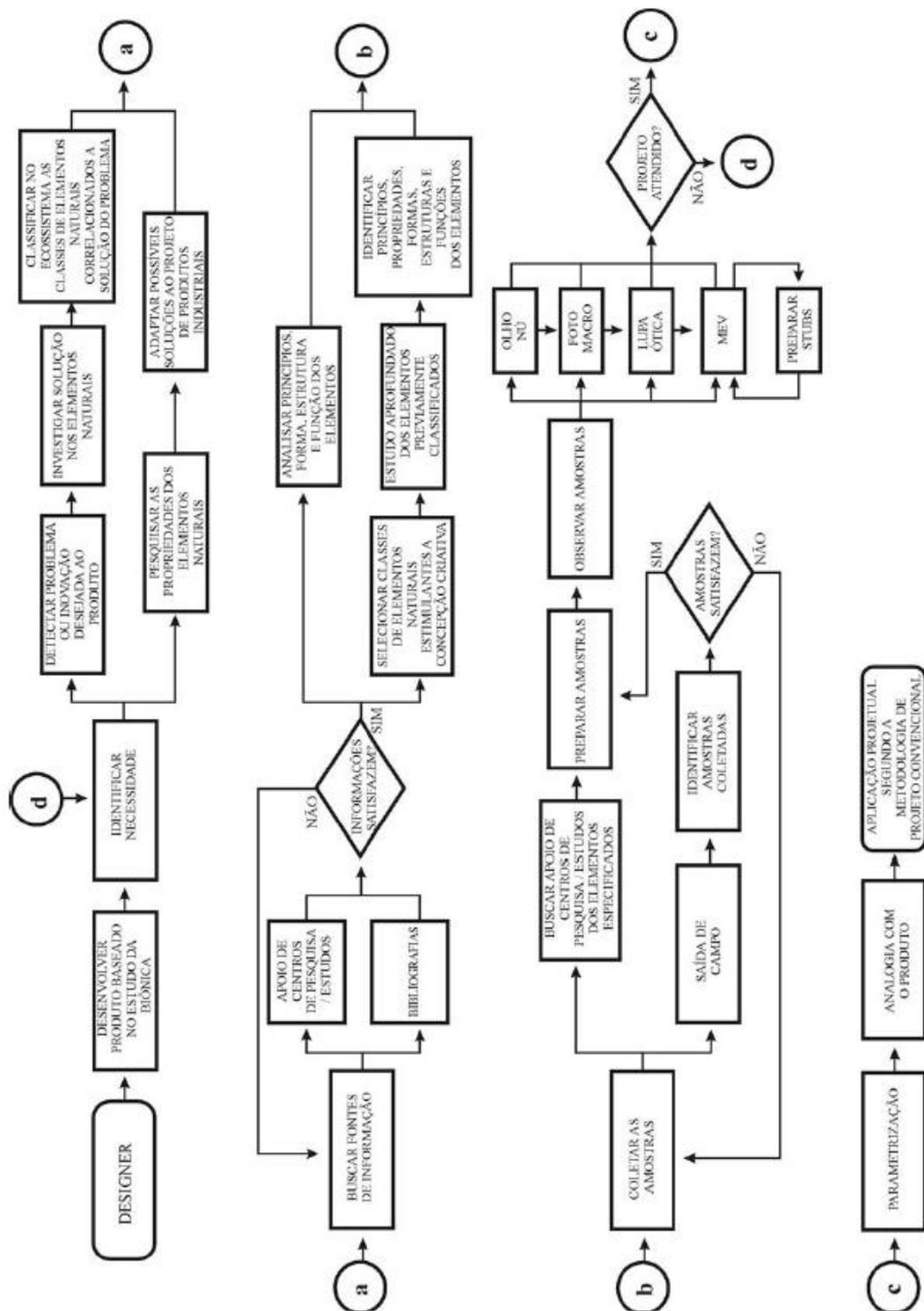
O repertório de informações adquiridas até esta etapa permitem ao designer iniciar a etapa de aplicação das analogias entre o sistema natural e o artificial. Para isso, é necessário analisar alguns aspectos do sistema natural, avaliando as consequências de suas aplicações no sistema artificial. Segundo Kindlein et al (2002), as análises recaem sobre os seguintes aspectos:

- Funcionais: fisiologia do sistema natural, seus mecanismos de funcionamento, quais princípios desencadeiam sua biomecânica. As questões de abordagem são: Qual a função a que corresponde?, Para que serve?, Como é o sistema funcional?, entre outras.
- Morfológica: entender porque a amostra apresenta determinada forma? Estudar suas proporções e interrelações geométricas; observar e compreender sua textura.
- Estrutural: estuda as partes do sistema (subsistemas) e sua organização no conjunto. Observar sua capacidade de suportar e reagir a esforços, sua arquitetura, seu crescimento. Por exemplo, como este sistema reage frente às intempéries da natureza?
- Viabilidade: estudar a possibilidade de aplicação das características do sistema natural na elaboração de um outro sistema, ou seja, em um produto elaborado pelo homem. Esta avaliação deve ser feita com muita cautela.

Aplicação projetual

A partir da possibilidade de aplicação das características do sistema natural em um sistema artificial, estudam-se as adaptações de proposições. Isto se faz interligando as necessidades das atividades das tarefas, no que diz respeito a análise funcional, com as necessidades do produto a ser desenvolvido, incluindo as análises estruturais e morfológicas do produto. Ainda nesta etapa, deverá ser analisado e avaliado o funcionamento do sistema artificial e se necessário, fazendo retroalimentação de dados, caso seja necessário (KINDLEIN, et al, 2002). A figura 8 apresenta a Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica.

Figura 8 - Metodologia proposta pelo ndsm para o desenvolvimento de produtos baseados em estudos de biônica

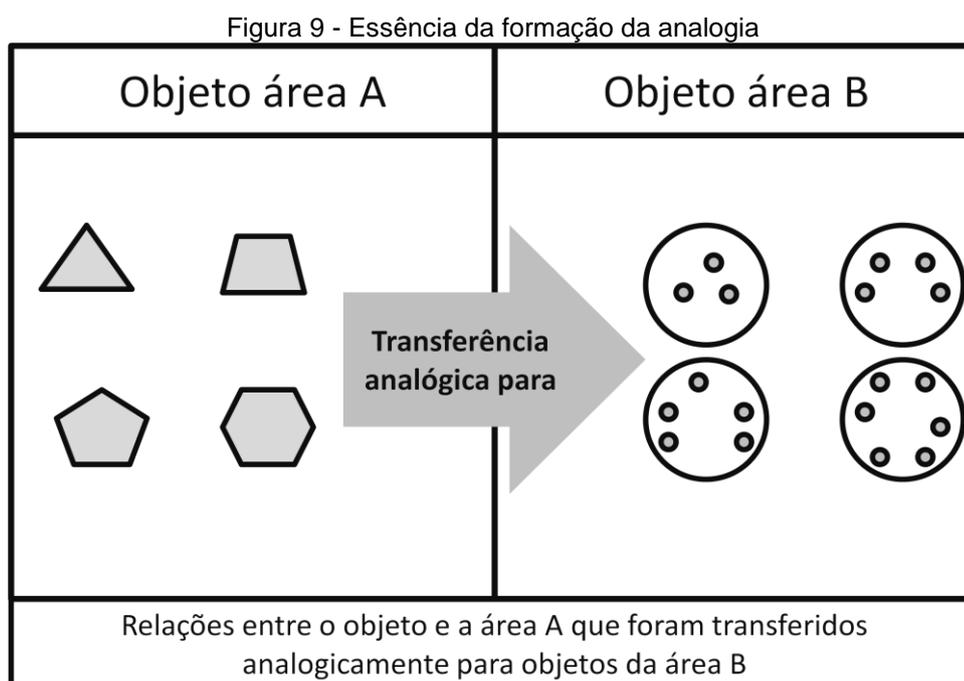


Fonte: Kindlein et al (2002).

2.2.2 Modelo de Orientação do Processo de Raciocínio e Ação em Biônica Apresentado (Hill, 2005)

Segundo Hill (2005) “A natureza nos oferece uma infinidade de modelos para a solução de problemas técnicos. A disciplina científica da biônica estabelecida para este fim, é uma tecnologia do futuro”. Os sistemas naturais muitas vezes têm características modelo, sobre as quais a tecnologia pode orientar-se (MACHTIGAL, 1986 apud HILL, 2005).

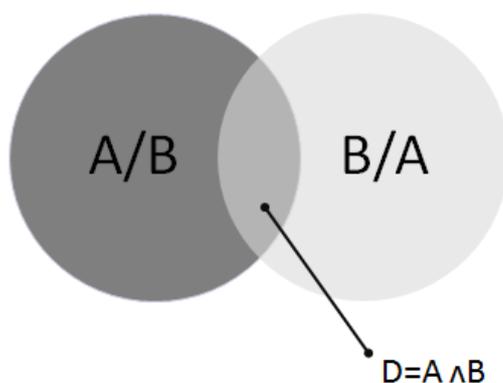
A biônica usada como ferramenta tecnológica, requer a aplicação de formas peculiares de pensar e agir no momento de sua implementação (HILL, 2005). Segundo Hill (2005) a formação de analogias é um meio de inferência através da transferência de problemas para os quais uma solução é procurada, ou sistemas a serem desenvolvidos para resolver um problema análogo, ou um sistema existente que já foi realizado. A analogia se dá através da “transferência intelectual de características funcionais do ainda desconhecido, pouco claramente formulado, objeto procurado (sistema técnico como meta) para as características do objeto análogo (sistema biológico como ponto de partida)” (HILL, 1999 apud HILL 2005) (Figura 09).



Fonte: Adaptado de Hill, 2005.

As características funcionais do sistema natural e do sistema de engenharia pretendido podem ser representadas como em um elo. Desta forma, as características que estão em D pertencem tanto ao sistema natural A como o sistema de engenharia B (Figura 10). Portanto, não há condição de analogia (similaridade) se ao menos uma característica não for pertencente a ambos os sistemas. Segundo Hill (2005), a comparação dos conjuntos de características inclui todas estas características, que são significativas para a estrutura técnica a ser realizada.

Figura 10 - Conexão entre domínios



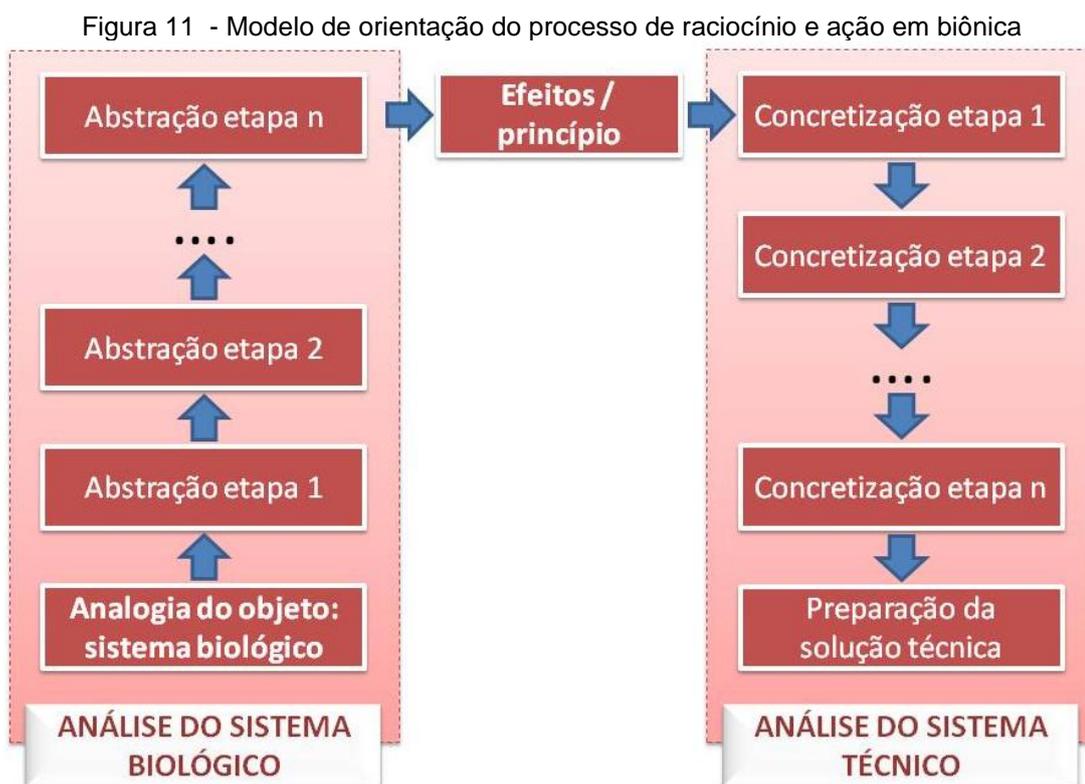
A – Quantidades características de antecipação técnica do objeto (Alvo do sistema)

B – Quantidades características de biológica útil do objeto (representação do sistema)

Fonte: adaptado de Hill, 2005.

Através da analogia, o estudo do funcionamento dos sistemas naturais podem ser analisados e suas estruturas e sub-estruturas abstraídas para descobrir o princípio subjacente (HILL, 2005). Segundo Hill (2005) o princípio das descobertas pode, através da variação e/ou combinação de elementos da estrutura ser utilizado em uma solução técnica adequada, com base em requisitos, condições e necessidades que devem ser cumpridas. Esta forma de processo constitui a base para o aumento do conhecimento necessário para ser capaz de modelar o tecnologia. Este percurso cognitivo, que leva da noção de vida (sistema biológico ou

sub sistema) para a idéia abstrata (princípio) e de lá para a prática (solução técnica), é o percurso, e não apenas de cognição, mas também da remodelação da realidade. Um pensamento biônico e o processo de ação como um modelo de orientação geral da biônica (Figura 11) orientada para a solução de problemas, podem ser inferidos a partir destes insights.



Fonte: adaptado de Hill (2005).

O raciocínio embasado em sistemas naturais e o processo de ação projetual fornecem importantes etapas de captação e atualização de ideias, com o propósito de gerar o princípio básico em vigor a partir de um sistema natural e, em seguida, a transferência desta à solução técnica correspondente (HILL, 2005).

Neste sentido, através do conhecimento das leis da evolução e das representações da estrutura biológica de determinado sistema natural pode-se obter o ponto de partida para as soluções, dando ao designer uma ampla visão do sistema a ser analisado. Esta estratégia usada como um processo, deverá conduzir a uma solução inventiva, organizada de uma forma meta-orientada (HILL, 2005). A partir deste procedimento, barreiras mentais podem ser bem sucedidas e superadas, aumentando o poder de imaginação e promoção da criatividade” (HILL, 2005).

A mera transferência da funcionalidade – técnica que utiliza a analogia direcionada ao mundo natural – de um sistema natural para um tecnológico, limitará as possibilidades de solução. Não se trata de transferir diretamente as leis de evolução para o mundo tecnológico, mas sim, sobreganhar estímulo para um maior desenvolvimento para uma maior eficácia e eficiência ecológica (HILL, 2005). De acordo com Reichel (1984, apud Hill, 2005) a análise comparativa da evolução biológica e técnica demonstrou a existência de muitas analogias surpreendentes. Nós não devemos nos surpreender que estas analogias podem ser remontadas, em parte, aos mesmos fatores evolutivos e leis. Segundo Hill (2005) através do exame da analogia, surge a oportunidade de transferência de conhecimentos sobre leis heurísticamente úteis que são abstraídas e, assim, aberta a comparação com a tecnologia.

As leis da evolução servem para determinar os fatores que afetam a eficácia de determinado sistema artificial a partir do ponto de vista do fabricante ou usuário de determinado produto, para confirmar os objetivos de desenvolvimento do ponto de vista evolutivo e de discernimento bruto inicial, dos pontos de partida para as soluções (LINDE & HILL, 1993 apud HILL 2005). Esses fatores incluem a eficiência tecnoeconômica, no que diz respeito aos materiais usados, consumo de energia, economia dos transportes, proteção ao ambiente, entre outros. Outros fatores como a facilidade de utilização, tempo de montagem e eficiência também podem ser considerados (HILL, 2005). O objetivo básico, é aumentar a eficácia de um sistema.

A eficácia dos sistemas biológicos pode ser entendida como uma inter-relação entre a maximização da função de sobrevivência e aquelas relacionadas às minimizações do uso de energia e biomassa. A função de sobrevivência, designada como função completamente necessária, inclui as subfunções de reprodução, alimentação, defesa, movimento, abrigo (ninhos, tocas), captura, processamento e transmissão, entre outros. Esta situação consiste numa relação custo-benefício onde os custos de materiais e energia para a realização das funções vitais são os mais baixos possíveis. A evolução move-se frequentemente em direção da eficácia, confiabilidade, estabilidade, velocidade, uso de energia e materiais, manutenção do calor, etc (HILL, 2005).

2.2.3 Processo de Design Biologicamente Inspirado (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Estudos desenvolvidos por Hellms, Vattam & Goel (2009) a partir de atividades de professores e palestrantes experientes na área da biônica, apontam algumas características e diferenças importantes a respeito da definição e aplicação do método de biônica. Segundo Hellms, Vattam & Goel (2009) as mais relevantes são:

- a) Interdisciplinaridade: o desenvolvimento de projetos baseados em sistemas naturais, ou biologicamente inspirados, é inerentemente interdisciplinar. Por definição, as analogias são formuladas entre domínios de campos de diferentes, entre a biologia e a engenharia.
- b) Dificuldade de comunicação: o material de estudo da biologia e da engenharia, seus objetos, relações e processos são diferentes entre si. Biólogos e projetistas usam termos e expressões, linguagens muito diferentes, criando um grande desafio entre si.
- c) Métodos diferentes: apesar de estar em constante transformação, natureza está presente e disponível para a pesquisa. Biólogos investigam a natureza usando métodos diferentes de abordagem dos engenheiros, que por sua vez, usam métodos de abordagem de criação. Ambos apresentam perspectivas diferentes sobre o design.
- d) Multifuncionalidade: Soluções de sistemas naturais são tipicamente mais multifuncionais e interdependentes que sistemas de produtos da engenharia.
- e) Sistemas abstratos: os materiais e processos disponíveis na natureza apresentam um conceito de design abstrato muito diferente se comparado aos materiais e processos disponíveis no domínio da engenharia.

A riqueza deste estudo recai sobre o realismo e precisão do comportamento e dos resultados dos designers durante exercícios de desenvolvimento de produtos inspirados na natureza. O estudo foi realizado no contexto de um curso de graduação interdisciplinar, sobre projeto biologicamente inspirado, no Geogia Institute of Technology (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Apesar de a natureza ter inspirado vários designers e inventores há milhares de anos, não há um processo normativo existente específico para a prática do

design biologicamente inspirado (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009). O aprofundamento do desenvolvimento da biônica nas últimas décadas está na vanguarda de uma comunidade nascente e em rápida expansão, pesquisadores e estudiosos transmitem o que eles consideram as melhores práticas, partindo tanto da comunidade de pesquisadores do design biologicamente inspirado como de suas próprias experiências. O processo de seis etapas descritos abaixo não constitui um método explicitamente formulado e ensinado, mas uma estrutura de organização metodológica para a prática do design bio-inspirado (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

O padrão de problematização do design biologicamente inspirado segue uma sequência de passos que se apresentam, na prática, de forma dinâmica e não-linear, visto que os passos posteriores frequentemente influenciam as fases anteriores, resultando em seguidos retornos gerando retroalimentação de informações e refinamento (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009). No entanto, grosso modo, o procedimento metodológico obedece a seguinte sequência:

Definição do problema

Na etapa de formulação de um problema proposto para designers, foi estabelecido o seguinte desafio: como evitar ataques de tubarões a surfistas? A solução intuitiva recaiu em camuflar a prancha de surf. A técnica empregada para pensar o problema, induzia à sua decomposição (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Decomposição funcional: inicialmente, a definição do problema pode parecer simples, mas vai se tornando complexa ao passo que envolve múltiplas e integradas funções. É difícil extrair um conceito único e trabalhar a partir do emaranhado de questões que envolvem o problema. A complexidade das funções pode ser decomposta (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Otimização funcional: define uma função ou um conjunto de funções em termos de um problema de otimização ou equação. O projetista, então, analisa o potencial de novas soluções de mensuração de desempenho contra critérios de otimização. Por sua vez, os biólogos podem moldar soluções biológicas em termos de otimizações e equações. Abstraídos a este nível, os designers podem mais facilmente transferir requisitos da engenharia para soluções biológicas (e vice-

versa). Por exemplo, em um exercício a partir de um determinado objeto da natureza, o musgo, os princípios funcionais, morfológicos e espaciais são: (a) reduzir a perda de água; (b) aumentar a área de superfície para a fotossíntese; (c) posicionamento em relação ao sol; e (d) proteger estruturas reprodutivas do estresse ambiental. No entanto, as funções de redução e perda de água do musgo protegem estruturas reprodutivas através do aumento de área de superfície e funções expostas à luz solar. A estrutura e posicionamento do musgo deve otimizar o equilíbrio entre estes dois conjuntos opostos de funções (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Reformulando o problema

Segundo Hellms, Vattam & Goel, (2009), em função da especificidade da atividade e da linguagem, os designers sempre iniciam a definição de seus problemas em termos humanos, como no exemplo da proteção policial costeira para evitar ataques de tubarão. Para conseguirem encontrar soluções análogas na natureza, ou seja, na biologia, devem redefinir seus problemas em termos mais amplos, aplicáveis na biologia, muitas vezes em forma de pergunta como *Quais soluções biológicas realizam a função xyz?* Pesquisadores denominam esta etapa como reenquadramento 'biologizante' (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009). Por exemplo, em vez de *parar um projétil*, a versão biologizada desta função seria 'Que características um organismo possui que lhes permitam prevenir, resistir e curar um dano?' (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Estratégias de busca

Segundo Hellms, Vattam & Goel, (2009), os instrutores orientam a buscar soluções biológicas a partir de quatro estratégias técnicas básicas para encontrar soluções relevantes para um problema. As estratégias são as seguintes:

- Alterar restrições: Se o problema do design é 'refrescar', ampliar o problema na biologia para 'termorregulação'.
- Campeões da adaptação: Encontre na natureza um elemento ou organismo que sobreviva nos casos mais extremos dentro do contexto do problema humano formulado. Por exemplo, 'refrescar', pesquisar sobre

animais ou organismos que sobrevivam no deserto ou em regiões de clima equatorial.

- Variar dentro de uma família de soluções: Onde diferentes organismos biológicos têm enfrentado e resolvido o mesmo tipo de problema ou situação. Por exemplo, eco-localização: pesquisar orelhas de morcego e as pequenas diferenças nas soluções próximas, identificando e relacionando as soluções mais próximas.
- Multifuncionalidade: Buscar sistemas ou organismos que apresentem soluções simples que resolvem vários outros problemas simultaneamente.

Definir a solução biológica

Segundo Hellms, Vattam & Goel, (2009), os designers normalmente identificam superficialmente e de imediato as estruturas ou mecanismos de um sistema biológico que foram relacionados com a função reenquadrada. Por exemplo, o entendimento inicial das conchas de abalone é que resistem bem a impactos. Ao longo do tempo, com o aprofundamento do entendimento das complexas interações de materiais compostos da concha de abalone, compreendeu-se que além de resistente a impactos, ela é também leve, dura e ao mesmo tempo, regenerativa. A mesma atividade de decomposição do problema foi frequentemente útil no sentido de facilitar o entendimento da solução biológica, para ser apropriada pelos projetistas (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Extração do princípio

Após a correta busca e compreensão do sistema natural, relacionado aos problemas e soluções do problema de engenharia formulado, importantes princípios foram percebidos, extraídos em forma de solução neutra, o que exigiu uma descrição das restrições e especificidades estruturais e ambientais (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009). No exemplo da concha de abalone, descrevendo seus princípios em termos de interações entre proteínas flexíveis e depósitos de carbonato de cálcio hexagonal, pode restringir o projeto, pensando em termos de proteínas, carbonato de cálcio e hexágonos. Outra formulação pode ser construída interpretando como material fortemente acoplado alternadamente composto de

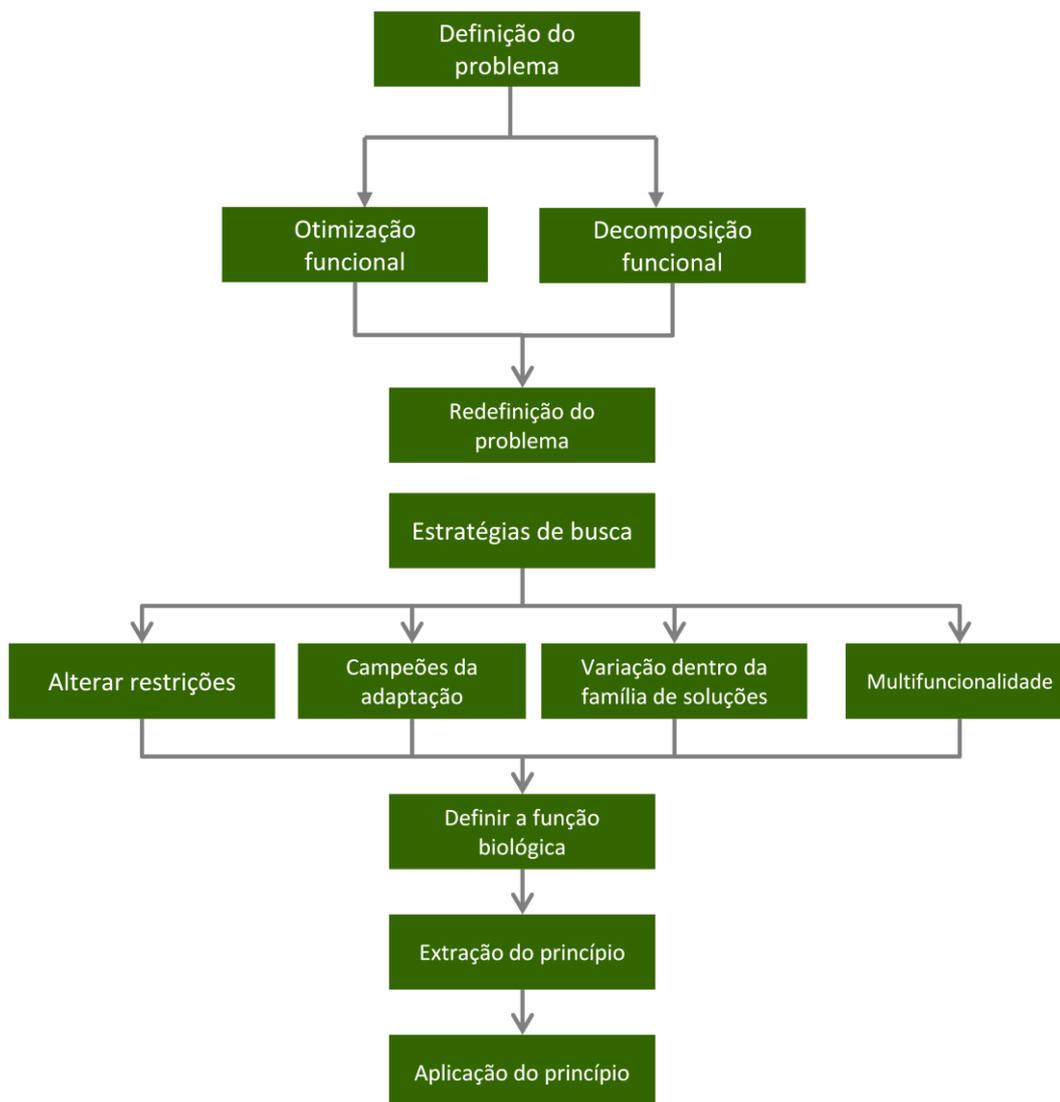
estruturas flexíveis e estruturas rígidas, para resistir a impactos. Este arranjo da formulação da leitura da concha de abalone permite a possibilidade de usar arranjos de muitos tipos diferentes de materiais flexíveis juntamente com rígidos (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

Aplicação do princípio

Segundo Hellms, Vattam & Goel (2009), depois de extraído o princípio da solução biológica, os designers traduzem o princípio para o domínio da engenharia. A tradução envolve o ato da interpretação de um espaço de domínio (biologia) para o outro (engenharia), observando as restrições e relações para o problema biológico. No caso de um colete à prova de projéteis, novo peso, flexibilidade, critérios de impacto e processo de resistência e de produção deverão ser adicionados, juntamente com novas relações entre os domínios da biologia e da engenharia, por exemplo, na área dos materiais. Os designers normalmente criam soluções compostas, selecionando os campeões de múltiplas fontes para atender demandas concorrentes, que foram classificadas como analogias compostas (HELLMS, VATTAM & GOEL, 2009).

A figura 12 apresenta o método proposto pelo estudo de Hellms, Vattam & Goel (2009):

Figura 12 - Método proposto de hellms, Vattam & Goel (2009)



Fonte: adaptado de hellms, Vattam & Goel (2009)

2.2.4 Projeto conceitual biologicamente inspirado, baseado em solução biológica - SB-BICD (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Segundo Eroglu, Erden & Erden (2011) a natureza é a fonte mais importante de engenharia, processos, dispositivos, materiais e sistemas que existe para fomentar criatividade e a inovação tecnológica. O “design da natureza” apresenta alto desempenho funcional e performance consumindo o mínimo de energia, garantindo grande flexibilidade, precisão e durabilidade em condições adversas.

Esta condição perfeita dos sistemas biológicos foram atingidos através de anos de evolução e tem sido usada como plataforma experimental de ciência e engenharia. No entanto, há muita dificuldade na transferência do conhecimento da biologia para a engenharia. É requisito essencial estabelecer relações entre a biologia e a engenharia, sendo muito útil desenvolver ferramentas para melhorar as propostas de engenharia bio-inspirada (WILSON, 2008; MAK & SHU, 2004 apud EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

O design bioinspirado tem basicamente duas abordagens: (a) tendo um problema como ponto de partida para buscar um sistema biológico para inspirar-se e; (b) parte da pesquisa de um determinado sistema biológico para depois ver em que problema pode ser resolvido a partir deste (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

a) Abordagem a partir de um problema

Nesta abordagem, o problema é decomposto em funções, formas, comportamentos, dando início a uma seleção de um sistema biológico correspondente em qualquer nível de semelhança (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). A partir das semelhanças, dá-se início ao processo de biomimetização.

b) Abordagem a partir da natureza

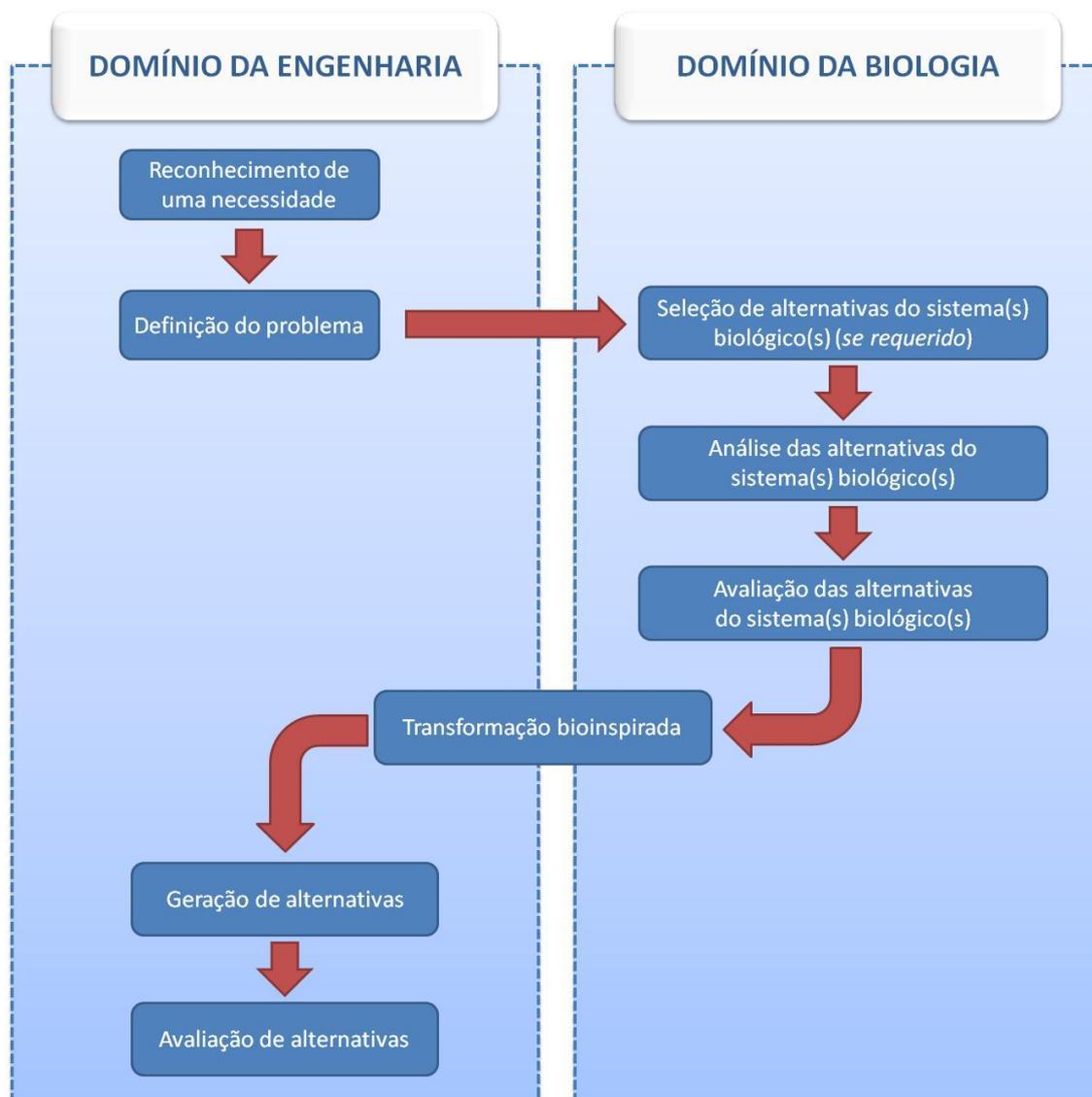
O designer inicia o trabalho através de pesquisa em determinado sistema biológico, sem qualquer sistema da engenharia em mente, buscando sistematizar o sistema biológico, promovendo abstrações de eventuais usos, procedimento este, tipicamente empregado no desenvolvimento de novos materiais e dispositivos da engenharia (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Pesquisas a respeito de métodos de desenvolvimento de produtos inspirados na natureza revelam algumas limitações quanto à sua eficácia. Por exemplo, o processo de biomimetização depende principalmente da experiência do designer. A transformação, o transporte do domínio biológico para a engenharia, não é claro; pode ser necessária a composição de mais de um sistema biológico (por exemplo, forma de um, função de outro) para o desenvolvimento de um único sistema de engenharia; a extração do conhecimento do domínio da biologia não é claramente definida, necessitando de representações dos sistemas biológicos mais

bem definidos para desenvolver sistemas artificiais mais eficazes (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

O modelo metodológico citado por Eroglu, Erden & Erden (2011) diz respeito à abrangência de vários sistemas biológicos para facilitar o desenvolvimento de robôs. Segundo Eroglu, Erden & Erden (2011, p. 906) “Este modelo de processo discute projeto conceitual, porque a literatura revela que a única diferença do bio-design é a partir de um projeto de engenharia tradicional” que é o projeto conceitual. A diferença do modelo de processo de bio-design conceitual é que “inclui um mapeamento adequado entre os domínios biológicos e de engenharia, e um modelo de representação clara para análise de sistemas biológicos” (tanto para a abordagem biônica a partir de um problema ou a partir de um sistema biológico) (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011, p. 907) (Figura 13).

Figura 13 - Projeto conceitual bio-inspirado baseado em soluções (SB-BICD).



Fonte: adaptado de EROGLU, ERDEN & ERDEN (2011).

Segundo Pahl *et al* (2007), (apud EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011), basicamente três passos compõem o processo de conceito de design bioinspirado, podendo ser classificados com relação a dois domínios específicos: o da engenharia e o da biologia. O primeiro passo caracteriza-se pelos domínios da engenharia, sendo considerados: a) o reconhecimento da necessidade e a definição do problema; b) o estabelecimento das funções e modelo de comportamento; c) a geração de alternativas; e a avaliação das alternativas. O segundo passo consiste no domínio da biologia, incluindo: a) a seleção de alternativas de um sistema biológico; b) a análise destas alternativas. O terceiro e último passo, consiste na bioinspiração da

transformação. Este último é usado para transformar informações da biologia para a engenharia.

O reconhecimento de uma necessidade

O reconhecimento de uma necessidade começa com o preparo de uma lista de exigências a cumprir, técnica comum entre os vários métodos de biônica existentes (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). Quando tratar-se de Bio-design Conceitual, a lista de requisitos pode ser adaptada em função das eventuais especificidades do uso (PAHL *et al*/2007, apud EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Definição do Problema

A definição de um problema inclui critérios, restrições e um objetivo, que descreve as funções do produto desejado, enquanto as restrições definem seus limites num determinado espaço de possibilidades admissíveis, como peso, ambiente operacional e dimensões (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). Os critérios dizem respeito aos objetivos quantificáveis a serem alcançados. As informações que alimentam os objetivos vêm da lista de necessidades, que fornecerão palavras-chave em forma de verbos/funções, tais como saltar, travar, selecionar. Nas pesquisas em sistemas naturais sem um problema específico a ser resolvido, as palavras-chave são consequências das abordagens e observações do sistema em estudo (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). Conforme Basseto (2004, apud Detanico, Teixeira & Silva 2010, p. 907) “Na fase conceitual, são buscados princípios de solução, que devem ser avaliados para um posterior amadurecimento”. Na conceituação, a abstração é desenvolvida a estrutura de funções do produto relacionados com as necessidades pré-estabelecidas. Em seguida, busca-se estabelecer de que forma o produto irá satisfazer estas funções, segundo princípios físicos, químicos ou biológicos presentes na natureza (BASSETO, 2004 apud DETANICO, TEIXEIRA & SILVA, 2010).

Estabelecimento de Funções e Modelos Comportamentais

O estabelecimento de funções e modelo comportamental é abordagem específica do domínio da engenharia. Num primeiro momento, a função global do problema é decomposta em subfunções. Para cada subfunção, um conceito alternativo é desenvolvido para realizar combinações possíveis, no qual cada conceito alternativo representará um modelo de comportamento. A decomposição de modelos e funções comportamentais são usados na transformação de um sistema natural em em sistema artificial (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011), prática elementar do design bio-inspirado.

Seleção de Alternativas do Sistema Biológico

O sistema biológico eleito para atender às necessidades da proposta conceitual de bio-design, é resultado de uma pesquisa de sistemas naturais estudados anteriormente, que poderão inspirar ou atender as eventuais necessidades do projetista. As palavras-chave geradas na pesquisa de sistemas naturais sem necessariamente haver um problema específico a ser resolvido, são fundamentais para o projetista conectar as pesquisas prévias com seus estudos (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Análise de Alternativa do Sistema Biológico

Segundo Eroglu, Erden & Erden (2011) “As alternativas selecionadas devem ser analisadas para responder às perguntas de "o que ele faz" e "como ele faz". Para garantir a eficácia do sistema biológico eleito, a engenharia reversa deverá ser abordada. Para tanto, dois métodos são discutidos. O primeiro consiste em análise da alternativa amparados por pesquisa bibliográfica e análise por biólogos, enquanto o segundo podem ser feitas medições e observações para que seja entendido o sistema biológico (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). Segundo os mesmos autores (p. 907) “Acredita-se que a combinação desses dois métodos traz resultados mais eficientes para a decomposição dos sistemas biológicos.”

Para Eroglu, Erden & Erden (2011, p. 907) “o objetivo principal da análise dos sistemas biológicos é o de representar o conhecimento sobre os sistemas

biológicos”. É possível ser realizada a análise se os sistemas biológicos forem decompostos em componentes importantes, tais como estrutura, comportamento e função na representação do conhecimento (WILSON, 2008 apud EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Avaliação das Alternativas do Sistema Biológico

Para avaliação do sistema biológico, eventuais combinações de sistemas biológicos devem ser construídas previamente (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011). Depois de geradas, uma combinação deve ser selecionada para inspirar o projetista, que deve ter em mãos uma ferramenta de avaliação conhecida (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Transformação Bio-inspirada

Depois de reconhecidas e decompostas as funções e subfunções biológicas, dá-se a transformação para a engenharia (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Gerando Alternativas

A Geração de Alternativas é um passo bem conhecido no método tradicional de design. É o momento em que as alternativas de componentes para cada subfunção do domínio da engenharia são geradas (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

Avaliação das Alternativas

Assim como no passo f, a etapa de avaliação segundo Eroglu, Erden & Erden, (2011) em primeiro lugar, combinações vindas de diferentes elementos de funções devem ser construídos. A partir disso, as combinações de elementos podem ser avaliadas usando ferramentas de avaliação existentes. Com posse dos resultados, a avaliação pode ser concluída, devendo satisfazer todas as restrições e critérios (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

2.3 ESTRUTURAS DA NATUREZA – NINHOS DE PÁSSAROS

Muitas espécies de aves constroem seus ninhos para abrigar e chocar seus ovos, ao mesmo tempo em que os protegem de predadores. A construção do ninho, portanto, assume grande importância sobre a sobrevivência da prole, estando em forte pressão seletiva (MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009). Os conjuntos de materiais empregados na execução dos ninhos são muitas vezes adequados a determinadas espécies ou gêneros, embora dentro da espécie, a variação de materiais selecionados para execução do ninho pode ser significativa (COLLIAS & COLLIAS 1964; HANSELL M., 2000 apud MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009). Esta variação pode acontecer em função das características do habitat e pode ser alcançada através de aprendizagem individual ou social. Particularmente, aves mais jovens em uma população podem tornar-se mais eficientes ao observar como outras aves localizam e selecionam os materiais apropriados para construção de seus ninhos (HEALY S., WALSH P., HANSELL M., 2008 APUD MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009). Além dos materiais básicos para a execução da estrutura dos ninhos, como galhos e musgos, algumas espécies constroem seus ninhos com plantas verdes, ricas em compostos secundários (CLARK L., MASON J.R., 1985; WIMBERGER P.H., 1984 apud MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009), disponíveis próximos dos ninhos (GWINNER H. 1997 apud MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009), por serem benéficos para o crescimento, desenvolvimento ou sobrevivência dos filhotes (GWINNER H., OLTROGGE M., TROST L. & NEIENABER U., 2000 apud MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009).

Apesar de alguns pássaros usarem os ninhos também como abrigo (BUZZETTI & SILVA, 2005), todos os estudiosos atrelam suas construções à procriação e ao acasalamento. Existem algumas espécies que não constroem ninhos, acomodando os ovos diretamente no chão como o caso do Black Skimmer (*Rynchops níger*), assim como outras aves marinhas, ou do Pinguim, que incubam um único ovo entre as membranas fortemente vascularizadas de seus pés e seu corpo, para manter o ovo aquecido (VASCONCELOS, 2000). Algumas aves depositam seus ovos em ninhos de outras aves, para que as choquem e alimentem como é o caso do Chupim (*Molothrus bonariensis*), que deposita seus ovos em ninhos de tico-ticos (*Zonotrichia capensis*) (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2004).

Em clareiras ou em áreas abertas como pastagens, ninhos que apresentam acesso lateral têm sua orientação determinada pelos ventos e insolação menos intensos, por não apresentarem riscos aos filhotes (LONG; JENSEN; WITH, 2009).

A construção dos ninhos é um evento complexo, variado e empolgante, envolvendo particularidades e facetas muito interessantes (VASCONDELOS, 2000). A construção depende principalmente dos hormônios presentes no corpo de quem a constrói na ocasião da execução. A temperatura ambiente, a umidade, o alimento presente no entorno, a estação do ano e a segurança contra predadores são algumas das principais condicionantes dos resultados (VASCONDELOS, 2000). Suas dimensões podem ser as mais variadas. Alguns beija-flores, por exemplo, constroem ninhos com diâmetros de uma moeda, enquanto as Águias podem construir ninhos com diâmetros de três metros e profundidades que podem chegar a seis metros (BERGER, 1971 apud VASCONCELOS, 2000).

A gama de materiais é muito variada, podendo chegar a dezenas. No entanto, não raro são fibras alongadas e finas, podendo ser naturais, como folhas secas, capins, pequenos ramos, cabelos crinas de cavalo, teias de aranha, peles de cobra, ou artificiais como barbantes, papéis, plásticos, lã e uma variedade enorme de produtos industrializados encontrados em lixões, próximos a centros urbanos (VASCONDELOS, 2000; BUZZETTI & SILVA, 2005). Algumas aves adicionam barro, saliva, teias de aranha, musgos dentre outros materiais às fibras vegetais e gravetos, mas a maioria utiliza apenas o atrito para uni-las e estruturá-las (VASCONDELOS, 2000).

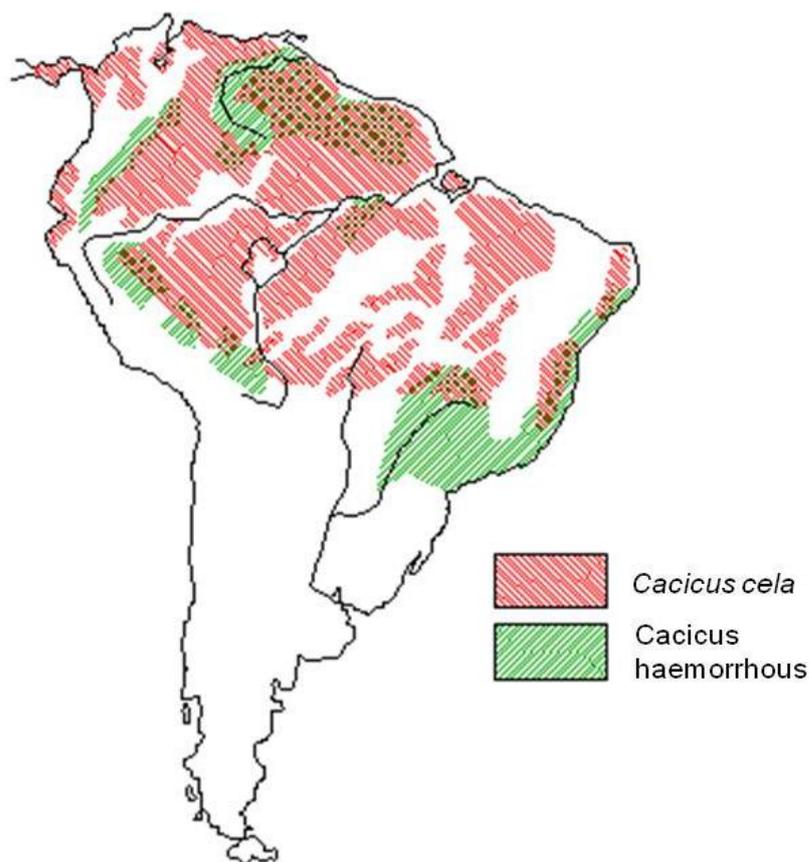
2.3.1 Ninhos de *Cacicus haemorrhous* e *Cacicus cela*

O guaxe, guacho ou japi, o *Cacicus haemorrhous* é uma espécie da família dos Icteríneos, ordem passeriforme (DUCA & MARINI, 2004) exclusivamente neotropical, encontrado no norte do continente sul americano, incluindo a Colômbia, toda região amazônica até os Andes; centro oeste, sudeste e sul do Brasil, principalmente em matas tropicais, leste do Paraguai e nordeste da Argentina (DUCA & MARINI, 2004). Na Amazônia, é encontrado em poucas e pequenas áreas, mais exatamente em áreas próximas a Santarém e Belém (DUCA & MARINI, 2004), sendo uma espécie que apresenta amplitude ecológica menor que os *Cacicus Cela*

(LINNAEUS, 1758), mais comum em toda a região norte do continente sul americano popularmente conhecido como xexéu, japim, japi, japiim, baguá e joão-conguinho (FEEKS, 1981) (Figura 14).

Populações de *Cacicus cela* ocorrem na zona tropical entre o nível do mar e 1000 metros de altitude, em florestas tropicais virgens, xerófitas e de várzea, além de florestas de crescimento secundário, beira de mangues, pântanos, campos abertos com árvores mais isoladas, plantações, margens de rios, arbustos ribeirinhos e campos do cerrado do Brasil. É principalmente ave de áreas arborizadas, mas também de espaços abertos, desde que haja árvores ou arbustos para construir seus ninhos. Apresenta ampla gama ecológica, vivendo em grande variedade de habitats de toda região tropical da América do Sul (FEEKS, 1981).

Figura 14 – Mapa das populações dos *Cacicus cela* e *Cacicus haemorrhous* na América do Sul.



Fonte: Feeks, 1981.

Os *Cacicus haemorrhous* também são exclusivamente tropicais, mas mais confinados em áreas florestais. Ocupam áreas desde o nível do mar até 900 metros de altitude, encostas de montanhas íngremes, bordas de florestas, margens de rios, florestas de crescimento secundários e clareiras onde existam árvores e arbustos. A amplitude ecológica do *Cacicus haemorrhous* é muito menos que do *Cacicus cela*. Há regiões onde o *Cacicus haemorrhous* é ausente, como a várzea úmida ao longo do rio Amazonas - exceto próximos de Belém e Santarém – e em grande área do Cerrado e da Caatinga (FEEKS, 1981).

Os *Cacicus cela* (Figura 15) e os *Cacicus haemorrhous* (Figura 16) vivem em bandos da mesma espécie, misturados entre si ou até com pássaros de outro gênero como os *Psarocolius*, de porte pouco maior, que nidificam em colônias, confeccionando ninhos em forma de cestas. A vida e nidificação em grupo vem sido relacionada com a redução de risco de predação e distribuição de alimentos. Alimentam-se principalmente de frutas e insetos, por constituírem uma inesgotável fonte de alimento nas florestas tropicais (FEEKS, 1981).

Na aparência a diferença entre as duas espécies é a coloração secundária. O *Cacicus cela* apresenta coloração predominantemente preta com cobertura das asas, costas, anca superior e parte inferior da cauda em amarelo brilhante. O *Cacicus haemorrhous* também predomina o preto, mas com anca inferior e superior vermelhas. Em posição de repouso, ambas apresentam coloração predominantemente preta. As fêmeas adultas, assim como os filhotes de ambos, apresentam coloração mais opaca, acinzentada (FEEKS, 1981) cor de fuligem (SILVA & CAMPOS, 2011). Os machos adultos variam entre 27 e 29,5 cm, enquanto as fêmeas, 21,5 a 24 cm (SIMÕES, 2010).

Figura 15 – *Cacicus cela*.

Fonte: Silva & Campos, 2012.

Figura 16 – *Cacicus haemorrhous*.

Fonte: Simões, 2010.

As diferenças dos padrões de coloração bem como da distribuição dos *Cacicus cela* e *Cacicus haemorrhous* podem ser explicadas pela teoria de especiação por isolamento, correlacionados com períodos glaciais e interglaciais durante o Pleistoceno, períodos de seca alternados com úmidos na América do Sul tropical. Durante os períodos de seca as áreas de savana se expandiam, deixando apenas bolsões isolados de floresta, que ao contrário, e expandiam sobre a savana

em períodos úmidos. Em função da duração dos tempos de isolamento, muitos elementos da fauna se diferenciavam entre si, formando subespécies, como é o caso dos *Cacicus cela cela*, *Cacicus cela vitellinus*, *Cacicus cela flavicrissus* e dos *Cacicus haemorrhous affinis*, *Cacicus haemorrhous haemorrhous*, *Cacicus haemorrhous pachyrhynchus* ou até mesmo a nível de espécies, como os *Cacicus cela* e o *Cacicus haemorrhous* (PARKES, 1970, apud FEEKS, 1981)

Lack (1968, apud FEEKS, 1981) propôs que a falta de preferência na escolha de espécie de árvore para nidificação e a formação de colônias sejam em função de estratégia antipredatória dos *Cacicus*. Num primeiro momento, as árvores que abrigam os ninhos, sejam individuais ou em colônias dos *C. cela* e *C. haemorrhous* não apresentam nenhuma especificidade. No entanto, os *Cacicus cela* apresentam mais preferência por árvores médias – 12 a 20 metros - e altas - 22 a 49 metros - que os *Cacicus haemorrhous* nas florestas do Suriname (FEEKS, 1981). As copas das árvores também não apresentaram nenhuma característica específica quanto ao dimensionamento ou à forma. No entanto, não foram encontrados, em nenhum estudo, ninhos de ambas as aves em árvores sem folhas (FEEKS, 1981). A posição das árvores no sítio e a disposição dos ninhos apresentaram características de defesa contra predadores, pois permitem que se estabeleçam posições de guarda das crias e vigia por partes de elementos sentinelas, comuns nos bandos.

Há preferência por árvores onde já haja ninhos antigos, reocupando em muitos casos as mesmas árvores, mas nunca os mesmos ninhos (FEEKS, 1981). Segundo Duca & Marini (1984) em pesquisa realizada na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, dos 296 ninhos observados, 4 apresentavam evidências de reutilização.

Constituir colônias pode ter sido considerado, em maior ou menor grau, uma estratégia para o sucesso reprodutivo uma vez que influenciam na vulnerabilidade do predador (MASSONI & REBOREDA, 2001 apud DUCA & MARINI, 2008). Segundo Horn (1968, apud DUCA & MARINI, 2008) uma estratégia pode ser eficaz para alguns predadores, esta estratégia pode resultar em uma maior vulnerabilidade a outros tipos de predadores (Figura 17). Portanto, espécies que são atacadas por vários tipos de predadores, sejam aves, répteis ou mamíferos, têm de lidar com uma variedade de pressões seletivas que favorecem diferentes locais de estabelecimento colônias e diferentes distribuições espaciais de ninhos dentro colônias (ROBINSON, 1985, apud DUCA & MARINI, 2008).

Figura 17 - – Formação de colônia de *Cacicus haemorrhous*, nas extremidades dos galhos da árvore hospedeira. Foto: P. Gonçalves.



FONTE: Nossa Terra, 2012.

Acredita-se que a preferência pela ocupação periférica se dá em função da resistência dos galhos mais finos das árvores hospedeiras sejam menos resistentes ao peso de animais como os gambás, cobras e os macacos. Além disso, vistos de cima, os ninhos são menos visíveis por aves de rapina por estarem pendurados, melhor vistos apenas de baixo (FEEKS, 1981). Um grande número de ninhos numa mesma colônia, sobretudo os mais antigos, não habitados, reduz o risco de predação, pois distrai os predadores que acabam atacando ninhos vazios (FEEKS, 1981). No Suriname apenas 20% dos ninhos são construídos em árvores novas, porém, são árvores próximas a outras que possuem ninhos antigos ou em fase de construção por similares, no caso do *C. haemorrhous* (FEEKS, 1981).

Os resultados de uma pesquisa realizada com *Cacicus haemorrhous* em 2001, no Vale do Rio Doce, região sudeste do Brasil, em Minas Gerais, mostram que a localização ou sítio onde são estabelecidas as colônias está relacionado com o sucesso de reprodução das aves. Segundo a pesquisa, colônias estabelecidas em áreas pantanosas, cujo entorno do solo é lamacento, indicaram o menor número de

predações, seguidas por áreas cujo entorno era totalmente seco e por último, onde houveram mais predações aos ninhos, em árvores à beira d'água (DUCA & MARINI, 2008).

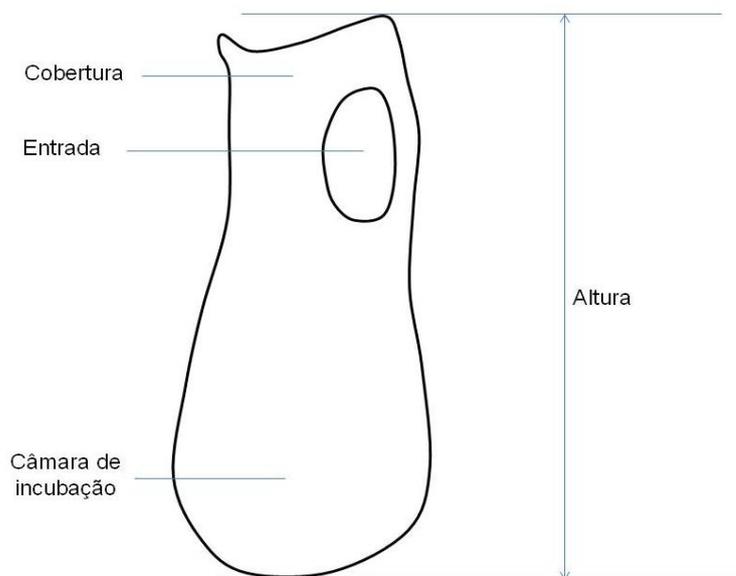
Pesquisas demonstram que as variações no sucesso reprodutivo é observado quando variam os ambientes de predadores terrestres e arborícolas, tanto no Suriname (FEEKS, 1981) como no Perú (ROBINSON, 1985, apud DUCA & MARINI, 2008). A maioria das fêmeas que perdem seus ninhos para um predador, tendem a selecionar os sítios mais seguros para este mesmo predador. Por causa deste mecanismo, os locais mais seguros contra determinados predadores acumulam o maior número de ninhos por colônia (ROBINSON 1985, WIKLUND & ANDERSSON 1994, PICMAN et al. 2002, apud DUCA & MARINI, 2008). Segundo Duca & Marini (2008). Isto sugere que a presença de um maior número de ninhos aumenta a probabilidade de sobrevivência do ninho do *Cacicus haemorrhous*.

Segundo Feeks (1981) em pesquisa realizada no Suriname, a construção dos ninhos em ambas as espécies variam entre 5 a 14 dias. Segundo Silva & Campos (2011), em pesquisa realizada no Amapá, a construção de ninhos de *Cacicus cela* dura de 12 a 28 dias. Duca e Marini (2004) afirmam que a construção de ninhos de *Cacicus haemorrhous* no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, consumiram de 10 a 50 dias. O tempo médio de incubação, geralmente de dois ovos, 17 dias (FEEKS, 1981). Depois da eclosão, os filhotes são alimentados apenas pelas fêmeas, com frutas vermelhas e insetos, muito raramente por um macho, por 24 a 28 dias. O ciclo completo de reprodução dura cerca de 7 semanas, quando a colônia volta a ficar vazia. Predadores, mau tempo ou algum tipo de perturbação leva a colônia toda abandonar os ninhos e os filhotes, iniciando imediatamente novo ciclo de reprodução (FEEKS, 1981).

O tamanho e a forma dos ninhos são semelhantes em ambas espécies (FEEKS, 1981). De acordo com Silva & Campos (2012) estudos realizados com ninhos de *Cacicus cela* variaram entre 37,7 e 42,1 cm de comprimento (Figura 18). Segundo Feeks (1981) estudos realizados com ninhos de *Cacicus haemorrhous* e *Cacicus cela* variaram entre 38,4 e 43,6 cm. Caracterizam-se por serem pendurados, possuírem cobertura e entrada lateral. São confeccionados com diferentes materiais. Os *Cacicus cela* quase exclusivamente usam fibras vegetais de 1 a 3 mm de largura, de palmeira, ocasionalmente com ramos de outras espécies vegetais. Os *Cacicus haemorrhous*, tecem seus ninhos invariavelmente com uma grande variedade de

outras fibras vegetais, mais comumente palmeiras e rizomas de orquídeas. Os ramos dos ninhos são sempre ligados aos ramos periféricos das copas das árvores hospedeiras (FEEKS, 1981).

Figura 18 - Esquema ninho *cacicus cela* e *cacicus haemorrhous*



FONTE: Baseado em Feeks (1981).

Em algumas ocasiões, o *Cacicus haemorrhous* constrói seu ninho próximo a um vespeiro ou colmeia, provavelmente com o intuito de proteger suas crias de moscas e predadores (Figura 19). Esta prática também foi observada nas colônias dos *Cacicus cela* (FEEKS, 1981; SIMÕES, 2010; SILVA & CAMPOS, 2012).

Figura 19 - Ninho de vespas (indicado com seta) mostra convívio entre insetos e colônia de *Cacicus* cela.



FONTE: Silva e Campos (2012).

As fêmeas constroem e defendem os ninhos, mas não os territórios (FEEKS, 1981). Foram observadas fêmeas de *Cacicus haemorrhous* retirando material de outros ninhos em construção, chegando a danificar e comprometer a construção de outros ninhos (DUCA & MARINI, 2004). As fêmeas adultas não reutilizam material nem ninhos antigos (DUCA & MARINI, 2004). Durante a construção dos ninhos, os machos aumentam em número ao redor das árvores hospedeiras na proporção de 1:2 – um macho para cada duas fêmeas (FEEKS, 1981). Depois do acasalamento, a proporção cai para 1:20-25 – um macho para cada vinte a vinte e cinco fêmeas. Há um contraste muito grande na proporção entre machos e fêmeas durante o período de construção do ninho, incubação dos ovos e alimentação dos filhotes. Durante o período de incubação e alimentação dos filhotes, poucos machos ficam presentes próximos às árvores, (FEEKS, 1981; DUCA & MARINI, 2004), vigilantes, emitindo

sinais sonoros muito fortes para avisar as fêmeas do perigo eminente (DUCA & MARINI, 2004).

Ambas as espécies não marcam território e acasalam longe de seus ninhos, que são sempre construídos pela fêmea. Os machos assumem a responsabilidade de dar sinais em forma de canto ao longo da incubação e alimentação dos filhotes, variando suas posições de vigia (FEEKS, 1981). Toda a colônia abandona os ninhos, indo para a parte inferior das árvores vizinhas, e voltando posteriormente, ao sinal em forma de canto dos machos. Os predadores naturais são tucanos, araçaris, corujas, aves de rapina, morcegos, cobras, gambás e macacos (FEEKS, 1981). Quando um predador investe contra uma colônia, os machos gritam e atacam o intruso. A colônia fica imediatamente deserta. Os machos perseguem o predador até o afastamento total da árvore hospedeira. Após a expulsão, cantam cantos de aproximação, chamando as fêmeas para a colônia novamente. Os machos voltam aos seus lugares de sentinelas (FEEKS, 1981).

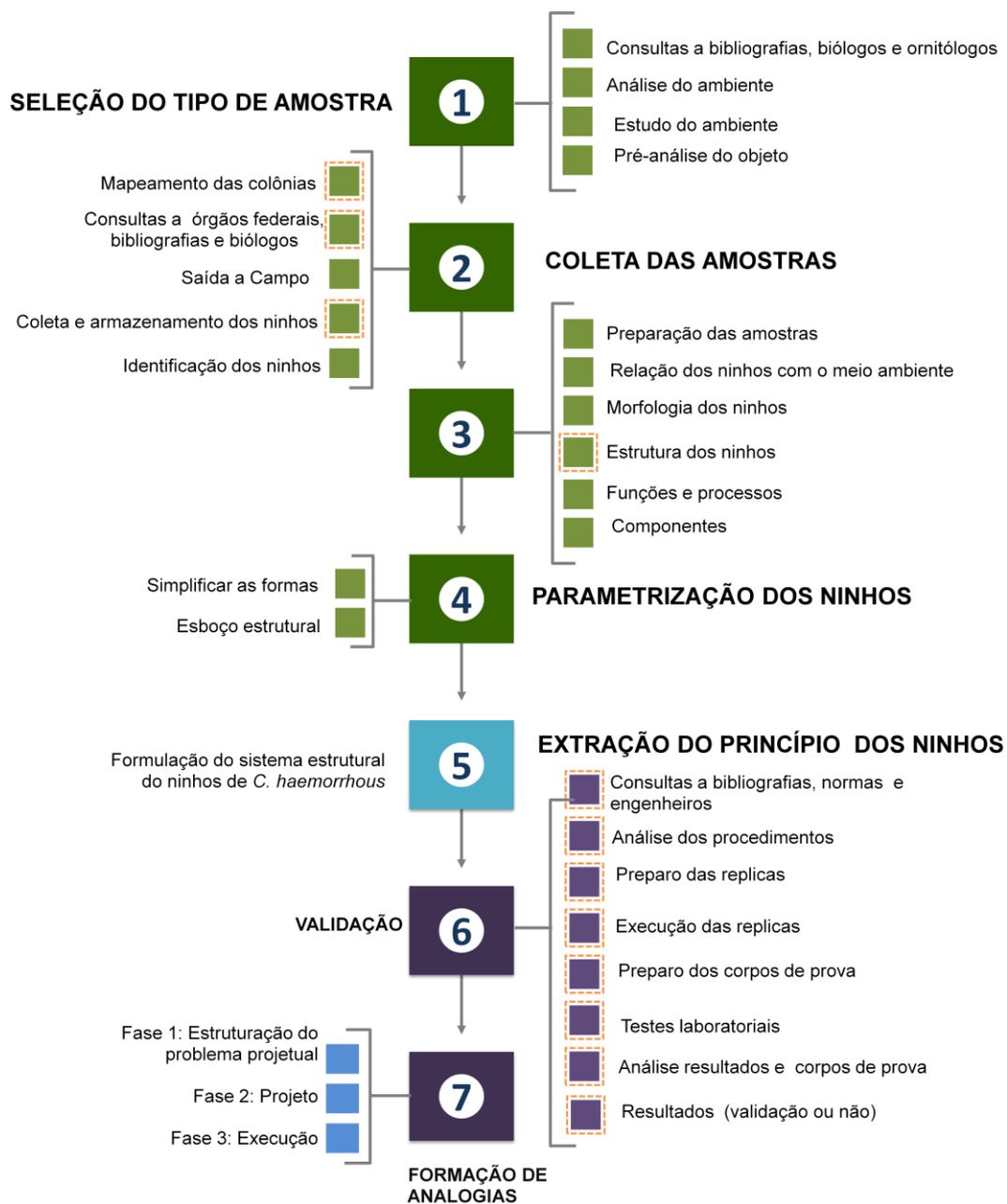
2.4 Orientações para método de extração do princípio de ninhos de *Cacicus haemorrhous*

A seguir, serão apresentadas as etapas e procedimentos do método de extração de princípio para ninhos de *Cacicus haemorrhous*. O objetivo é construir um método que auxilie na extração do princípio funcional do sistema estrutural dos ninhos. Foram levados em consideração as informações e conhecimentos extraídos das pesquisas bibliográficas das seções 2.1 e 2.2.

A etapa 7 compreende os procedimentos que dariam continuidade ao processo, que inclui procedimentos para desenvolvimento de produto inspirados em ninhos de *Cacicus haemorrhous*, caso seja este o objetivo de pesquisas futuras. Para esta, serão efetuados os procedimentos, das fases 1 a 6, caracterizando método de extração de princípio funcional do sistema estrutural.

A figura 14, apresenta as etapas 1 a 6, que configuram o método de extração do princípio funcional do sistema estrutural dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, incluindo a etapa 7, que o configura em método de desenvolvimento de produto inspirado em ninhos de *Cacicus haemorrhous* geral.

Figura 20 - Esquema gráfico das etapas 1 a 7



Fonte: autor.

As figuras circundadas por linhas tracejadas dizem respeito a procedimentos específicos, empíricos, necessários para o sucesso da pesquisa. Portanto, não fazem parte das informações levantadas na revisão bibliográfica.

2.4.1 Seleção do Tipo de Amostra

A busca de um sistema natural sem haver necessariamente um problema específico a ser resolvido deve gerar palavras-chave, por exemplo, através de respostas de perguntas como “o que ele faz?”, “como ele faz?” (EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011).

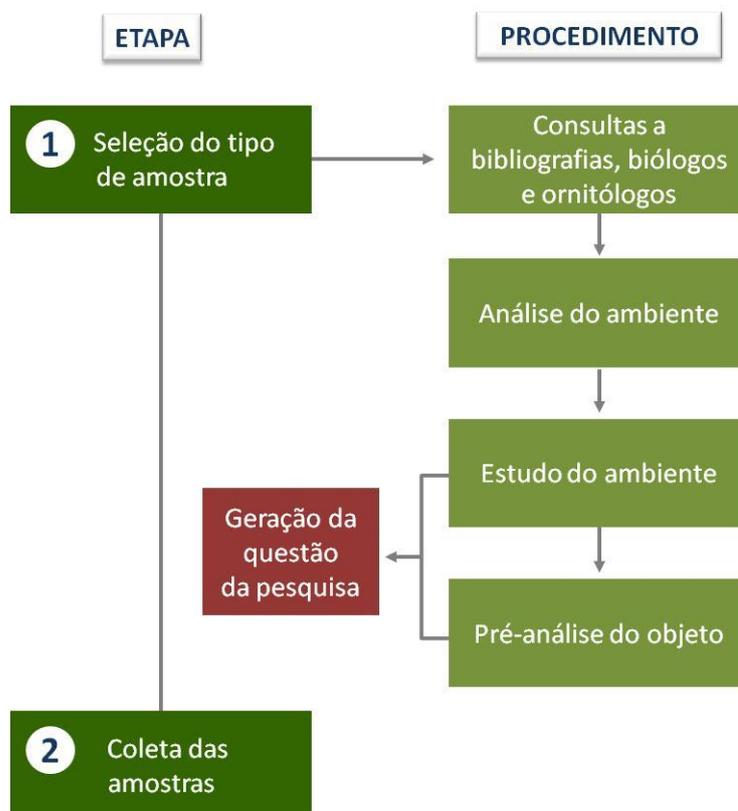
A questão orientadora da pesquisa poderá sair desta primeira etapa da pesquisa, conforme vai sendo construindo o conhecimento através da informação e observação dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*.

Os procedimentos para cumprir esta etapa são os seguintes:

- Análise do Ambiente: Conforme Kindlein et al (2002) é importante um estudo aprofundado sobre o escopo do ambiente de inserção do sistema natural, visando entender seus aspectos e o comportamentos. Em outras palavras, buscar entendê-lo como consequência de um sistema mais amplo e abrangente, compreendendo a que tipos de situações a amostra dá respostas e o tipo de respostas. É necessário estudar o ambiente e a amostra.
- Consultas: Sobre o habitat natural, as informações podem ser adquiridas em bibliografias ou em consultas técnicas junto a profissionais da área das ciências naturais (KINDLEIN et al, 2002).

A figura 15 apresenta graficamente os procedimentos para a seleção do tipo de amostra.

Figura 21 - Seleção do tipo de amostra



FONTE: Autor.

2.4.2 Coleta das Amostras

A coleta das amostras é parte importante da pesquisa. Nas amostras está representado um complexo sistema em constante movimento de evolução (HILL, 2005, WILSON, 2008, BENYUS, 2010). É importante que as propriedades e características das amostras sejam preservadas ao máximo (KINDLEIN et al, 2002).

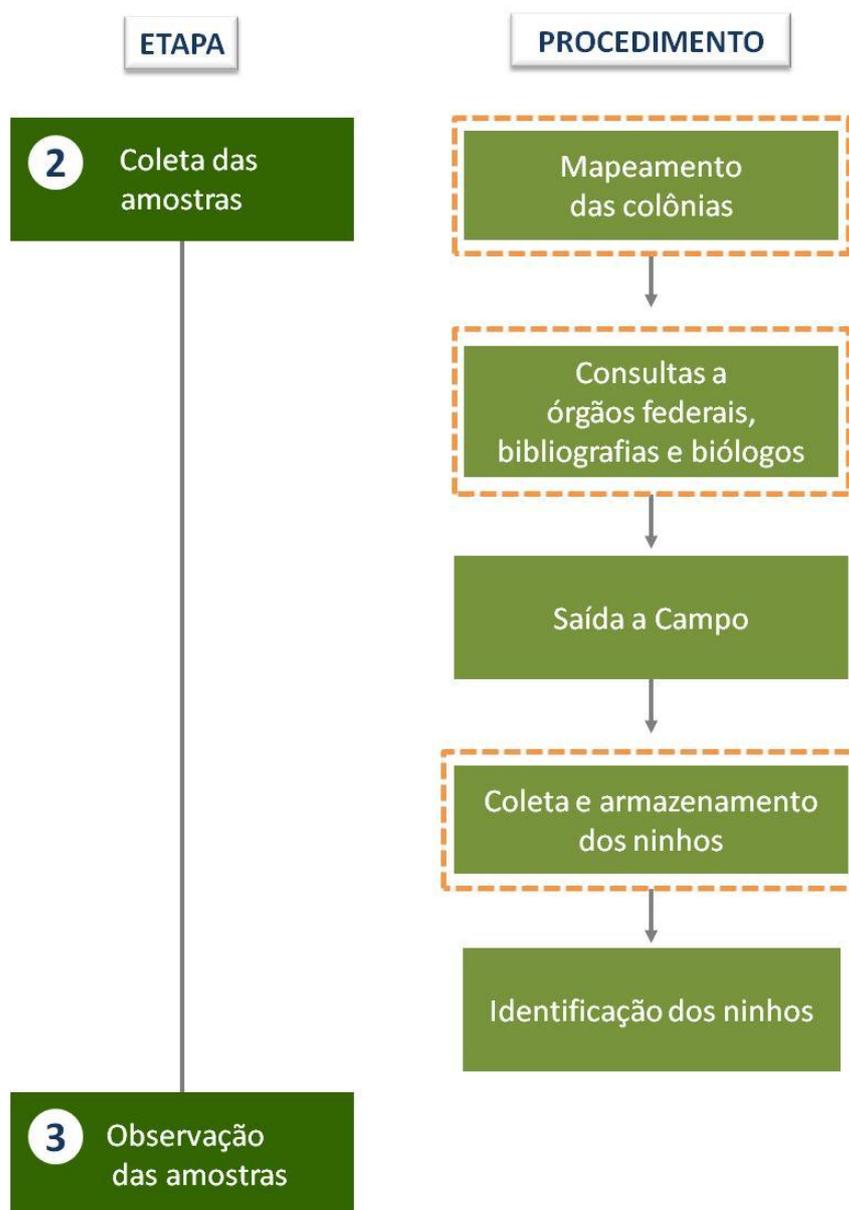
Os procedimentos desta etapa são os seguintes:

- Mapeamento: a partir das consultas em bibliografias e a profissionais de biologia e ornitologia, é possível fazer um mapeamento das espécies em várias escalas de distância, possibilitando o planejamento da coleta das amostras, uma vez conhecidas as localidades e acessos o onde encontrar os ninhos.

- Consultas a órgãos federais: por se tratar de amostras biológicas (ninhos), é necessário fazer consulta ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA e pedir autorização ao (Sis Bio <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/>) para a coleta dos ninhos.
- Saída a campo: uma vez mapeada a amostra, é possível saber os meios de locomoção. Pode ser necessário o uso de embarcações motorizadas ou a remo para ter acesso. Em alguns casos, pode ser necessário fazer uma visita prévia ao local de coleta, para programar os equipamentos necessários para a coleta e guarda das amostras, de maneira menos agressiva possível (KINDLEIN et al, 2002).
- Armazenamento dos ninhos: preferencialmente, o pesquisador deve fazer parte da coleta das amostras para observar detalhes que podem não estar presentes na bibliografia. Tanto o ambiente de inserção da amostra, como a própria, precisam ser preservados ao máximo, pois quaisquer danos podem comprometer a integridade das amostras e perder-se informações relevantes (KINDLEIN et al, 2002). Os equipamentos devem ser condizentes com o tipo de material das amostras.
- Identificação dos ninhos: Após terminada a coleta, as amostras devem ser identificadas (KINDLEIN et al, 2002), fotografadas, medidas e pesadas.

A figura 22 apresenta graficamente os procedimentos da etapa de coleta das amostras.

Figura 22 - Coleta das amostras



Fonte: autor.

2.4.3 Observação das Amostras

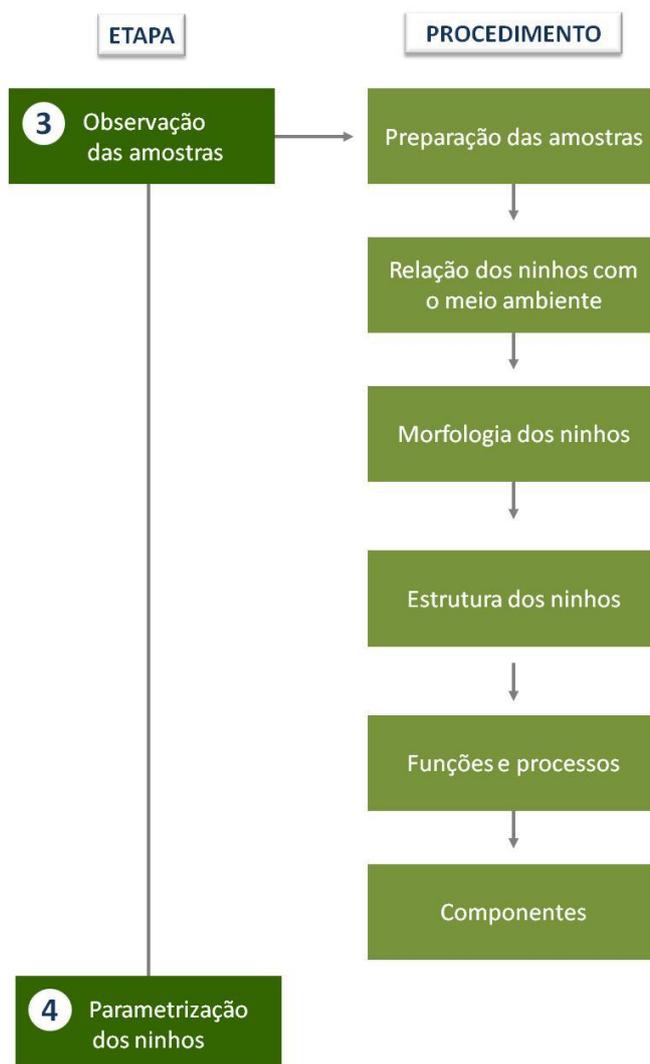
A amostra contém uma série de informações importantes a respeito das soluções naturais relativas ao meio de sobrevivência e adaptação ao contexto ambiental (HILL, 2005). O pesquisador deve lidar com a amostra considerando-a como um produto, embora feito pela natureza (KINDLEIN et al, 2002).

Nesta etapa, em função do emprego de lentes, será possível enxergar o sistema natural de maneira peculiar, obtendo informações relevantes a respeito da estrutura da trama dos ninhos, que poderão ser usados em futuras aplicações em design de produto. Se necessário, as informações poderão ser interpretadas em forma de croquis e desenhos, bem como anotações que o pesquisador achar importantes, que irão auxiliar no levantamento da relação forma/função. As imagens geradas pela lente macro e lupa ótica deverão ser armazenadas em meio digital (KINDLEIN et al, 2002).

Na etapa de observação, deverá dar atenção principalmente ao seguinte:

- Preparo da amostra: caso a amostra apresente firmeza, isto é, não se quebre ou desmanche ao manipulá-la, o pesquisador não precisará processá-la com quaisquer artifícios. Caso necessite de observação em microscópio, será necessário o preparo de *stubs* (KINDLEIN et al, 2002). *Stubs* são suportes feitos em resina acrílica, nos quais partes importantes do sistema natural são imersos. Depois de endurecidos, os *stubs* são cortados, lixados e polidos as superfícies, possibilitando a análise em microscópio, preservando a integridade da amostra (KINDLEIN et al, 2002).
- Relação com o meio ambiente: Influência do meio com o sistema e vice-versa (KINDLEIN et al, 2002). Observação a olho nu.
- Morfologia: Observar a forma e as proporções (KINDLEIN et al, 2002). Relação entre as partes (KINDLEIN et al, 2002). Observação a olho nu.
- Componentes: componentes físicos, partículas, células (KINDLEIN et al, 2002). Características e posicionamento dos materiais, forma, etc. Observação com lupa ótica.
- Estrutura: organização das partes e do todo, organização entre sistemas de outras espécies, relações estruturais e funcionais entre outras espécies, mesmo quando envolvem plantas ou animais. (KINDLEIN et al, 2002). Observação a olho nu, fotografia com lente macro e lupa ótica.
- Funções e processos: observar a fisiologia do sistema, incluindo mecanismos de regulação em qualquer nível (KINDLEIN et al, 2002). Observação a partir fotografia com lente macro e lupa ótica. A figura 23 apresenta graficamente a etapa de observação das amostras.

Figura 23 - Observação das amostras



Fonte: autor.

2.4.4 Parametrização

As imagens são analisadas sob um olhar peculiar do pesquisador, buscando construir parâmetros, reconhecendo valores e relações com o seu repertório (KINDLEIN et al, 2002). Nesta etapa a experiência anterior do observador poderá fazer diferença (HILL, 2005). A partir do reconhecimento do princípio será possível a transformação do domínio da natureza em domínio da engenharia, por meio de analogias, variações e/ou combinações (HILL, 2004).

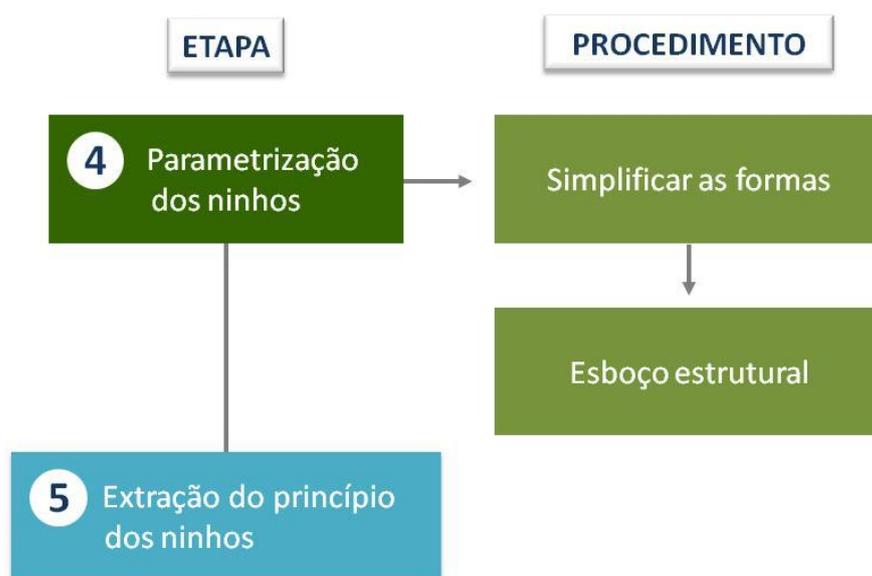
Os procedimentos serão os seguintes:

- Simplificação das formas: a leitura que o designer faz das imagens que produz, serão analisadas, com intuito de extrair informações importantes

sobre o sistema natural, que poderão ser usadas posteriormente. Fará simplificação das formas e dos detalhes da composição do todo, delineando as informações que apresentem representatividade.

- Esboço estrutural: Neste momento, o designer (pesquisador) faz uma síntese ou delineamento daquilo que observou (KINDLEIN et al, 2002), relacionando informações presentes em ambos os domínios, natural e da engenharia sistema natural. Segundo Kindlein et al (2002) nesta etapa se faz uma espécie de tradução das informações à uma linguagem técnica através da parametrização. Esta etapa precede a etapa de criação de analogias. A figura 24 apresenta a etapa de parametrização.

Figura 24 - Parametrização



Fonte: autor.

2.4.5 Extração do Princípio

As etapas de observação das amostras naturais e parametrização das informações percebidas resultam na extração do princípio de forma/função do sistema natural. A extração do princípio poderá munir projetistas de informações para formação de analogias, ocasião da aplicação propriamente dita da biônica (HILL, 2004). A figura 25 apresenta graficamente a etapa de extração do princípio.

Figura 25 - Extração do princípio



Fonte: autor.

2.4.6 Validação

Para garantir a eficácia da extração do princípio do sistema natural observado, Eroglu Erden & Erdem (2011, p. 607) revelam que a engenharia reversa deverá ser abordada, através de medições e observações para que seja entendido o sistema biológico. Segundo os mesmos autores “Acredita-se que a combinação desses dois métodos traz resultados mais eficientes para a decomposição dos sistemas biológicos.”

Para validar o princípio, as propriedades ou características percebidas pelo pesquisador frente ao sistema natural deverão ser comprovadas, a partir de réplicas artificiais e testes em laboratórios. O objetivo é comprovar sua eficácia. Testes laboratoriais submetendo eventuais amostras que representem o princípio do sistema natural deverão ser executados e analisados. Parâmetros para estes testes

deverão ser construídos, buscando na literatura, internet ou junto a profissionais da engenharia, informações que auxiliam e organizam os procedimentos e as informações obtidas.

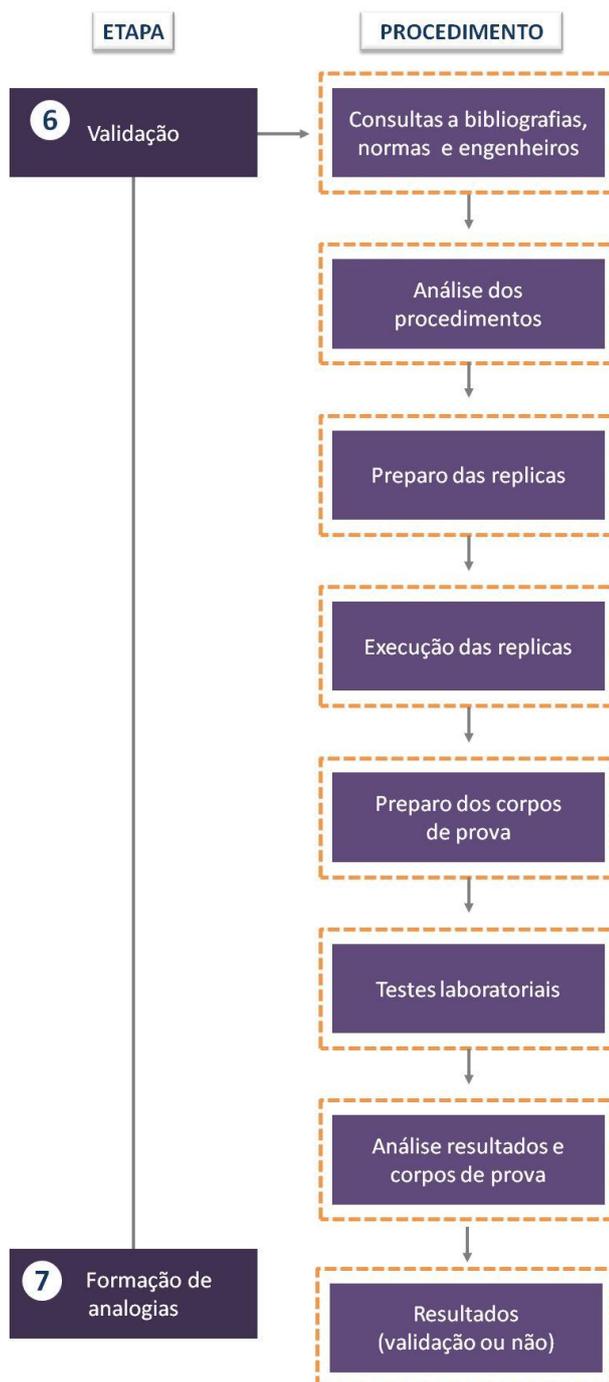
No caso desta pesquisa, a trama das estruturas que formam as paredes dos ninhos dos *Cacicus haemorrhous* foram relacionadas com a trama de membranas geotêxteis não-tecidas, usadas na contenção de barreiras e construção de auto pistas. A partir de buscas na internet a respeito de testes laboratoriais sobre resistência a tensão, além e consultas a engenheiros e empresas e instituições que atuam no mercado, foi possível compor os procedimentos de validação, descritos a seguir:

- Consulta: deverão ser consultados profissionais da engenharia e bibliografias buscando informações correspondentes e relacionadas ao tipo de tarefa que o princípio extraído do sistema natural realiza. Uma vez relacionadas, as normas técnicas deverão ser consultadas.
- Análise dos procedimentos: deverão ser analisados os procedimentos e materiais necessários para a realização dos testes, presentes nas normas técnicas. Um levantamento das empresas ou instituições que realizam os testes deve ser feito paralelamente além de consultas a profissionais que lidam com os equipamentos descritos nas normas.
- Preparo das réplicas: baseado nas recomendações da norma técnica, as réplicas deverão ser executadas. Variações poderão ocorrer, dependendo das diferenças entre o do tipo e característica do material presente na norma e os material resultante dos testes pelo pesquisador. A extração de um princípio de um sistema natural pode resultar em sistema artificial inédito. No entanto, a partir das recomendações e procedimentos presentes na norma técnica, poderão ser definidas as características básicas para a elaboração das réplicas, no que diz respeito às dimensões e características dos equipamentos a serem submetidas. As características das réplicas devem satisfazer as características das propriedades observadas na extração do princípio, relacionadas com os sistema natural observado. Os materiais e as respectivas propriedades que serão executas as réplicas, deverão ser escolhidos de acordo com os objetivos da validação. É importante o pesquisador manter o máximo de atenção e isenção para não comprometer os resultados. Todas as suas observações deverão ser anotadas.

- Execução das réplicas: Uma vez preparado todo material teórico e físico para a execução das réplicas, um pré-teste deve ser efetuado, antes da execução das demais. Os corpos de prova e testes no laboratório deverão ser executados. As informações devem ser anotadas e analisadas, e possíveis ajustes ou mudanças nas réplicas devem ser feitos.
- Preparo dos corpos de prova: Os corpos de prova deverão ser executados de acordo com as diretrizes e equipamentos sugeridos pela norma técnica.
- Testes laboratoriais: Os testes laboratoriais deverão contemplar as condições e restrições presentes na norma técnica, em laboratório que possua condições ambientais e equipamentos adequados. Os resultados deverão ser analisados e usados para a conclusão da validação. Novas amostras e experimentos poderão ser executados, em função dos resultados obtidos.

Os resultados dos testes laboratoriais darão um panorama ao pesquisador a respeito da validação do exercício de extração do princípio de um elemento natural. A partir dos resultados, deverá fazer uma análise e recomendações a respeito de possíveis melhorias no escopo do procedimento, podendo abranger parte ou todas as etapas do trabalho. A figura 26 apresenta graficamente a etapa de validação.

Figura 26 - Validação



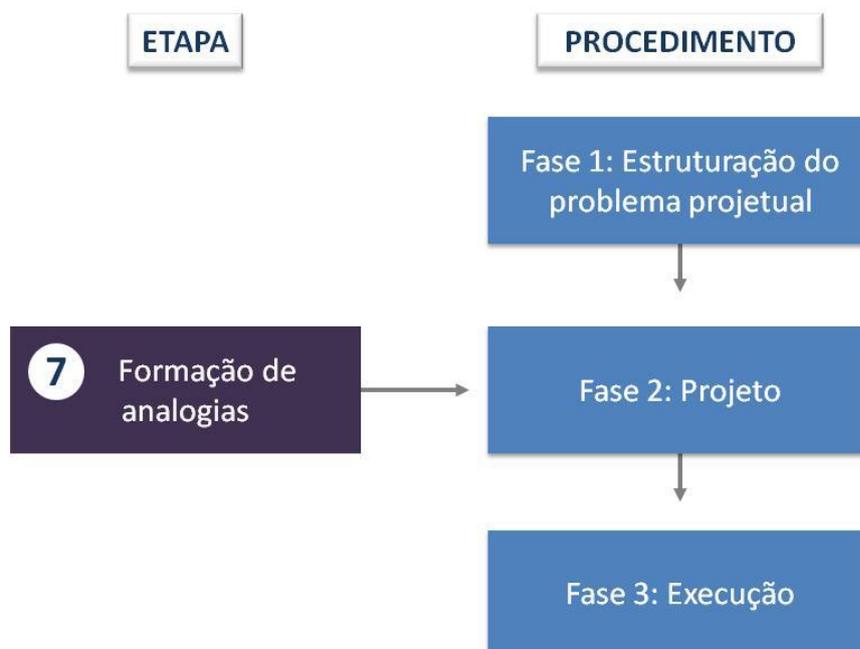
Fonte: autor.

O modelo apresentado faz referência a um método de biônica para o desenvolvimento de produto, inspirado em sistemas naturais que apresentam estruturas leves e flexíveis, tendo como objeto de estudo, ninhos de *Cacicus haemorrhous*, não obstante, o objetivo geral desta pesquisa termina com a validação do princípio extraído do sistema natural. As fases seguintes, darão eventual

prossequimento deste trabalho, onde a etapa das analogias propriamente ditas ampliarão as possibilidades de temas possíveis para o desenvolvimento de produtos ou materiais afinados com as questões de minimização re recursos e energéticos da da biomassa (HILL, 2005; KAZAZIAN, 2005; MANZINI E VEZZOLI, 2005; BENYUS, 2010).

Segundo Hill (1998 apud HILL,2004) “uma possibilidade para a ampliação da área de busca da analogia, existe na utilização de estruturas biológicas para a identificação da solução so problema. Neste momento, começa a biônica aplicada (HILL, 2004). A biônica pressupõe a modelagem de sistemas biológicos com a finalidade de transmissão de construções técnicas. O método fundamental para isto é a formação de uma analogia. A figura 27 apresenta graficamente a etapa de formação de analogias, embora não fará parte dos procedimentos desta pesquisa.

Figura 27 - Formação de analogias



Fonte: autor.

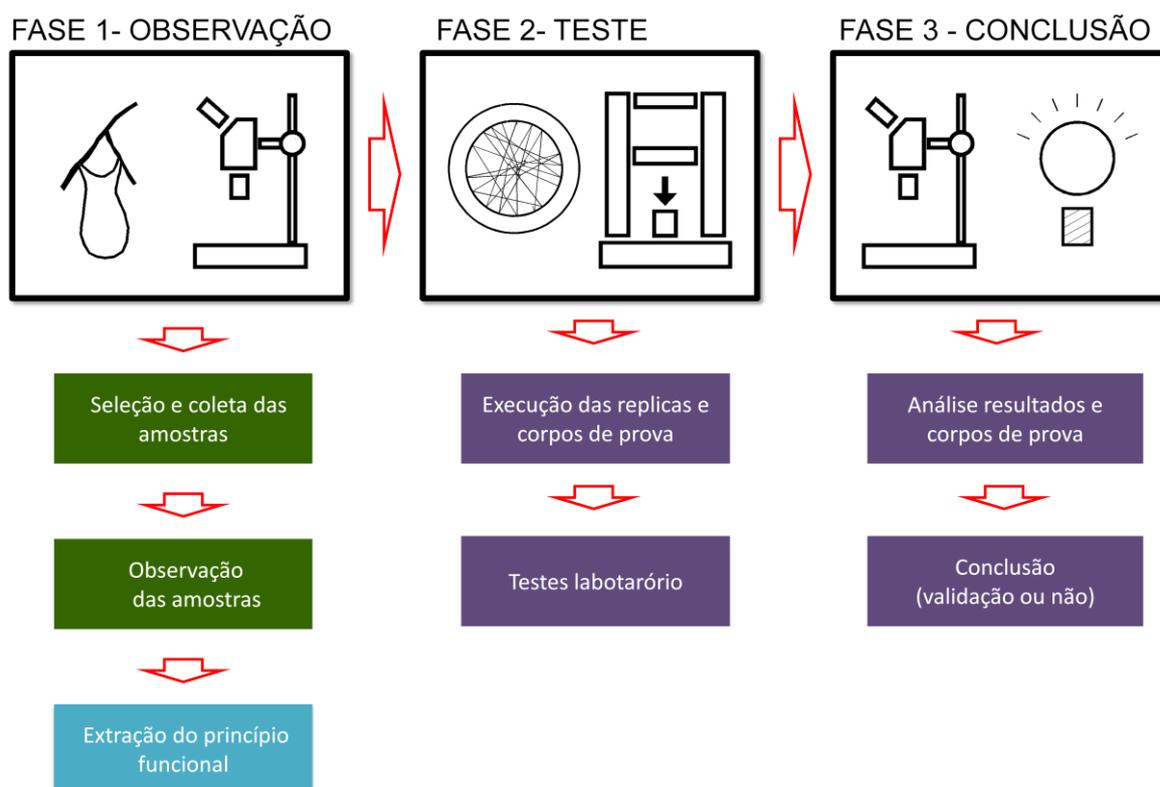
3 MÉTODO E MATERIAIS

Neste capítulo serão descritas as etapas e procedimentos que compõe o método de pesquisa além dos materiais utilizados. O objetivo é fomentar e organizar informações sobre o método de pesquisa adotado para a biomimetização do sistema estrutural de ninhos de *Cacicus haemorrhous*.

3.1 ESQUEMA DO MÉTODO

O método desta pesquisa é dividido em três fases: (1) observação sistemática, (2) validação e (3) conclusão. As fases e etapas correspondentes podem ser vistas graficamente na figura 28, e serão descritos no item 3.3.

Figura 28 - Esquema conceitual do método de pesquisa



Fonte: autor.

1) Observação Sistemática: A amostra natural selecionada para o caso estudado é o ninho de *Cacicus haemorrhous*, em função de suas particularidades, entre as quais a mais intrigante é o fato de serem construídos pendurados ao invés de apoiados nos galhos das árvores, como a maioria dos ninhos de pássaros. Através de

informações cedidas por biólogos foram mapeadas algumas colônias. Em seguida, capturadas cinco amostras. As amostras foram observadas e parametrizadas, para em seguida, ser extraído o princípio funcional do sistema estrutural da trama confeccionada pela ave, na ocasião de sua construção.

2) Teste: Com intuito de construir parâmetros, foram construídos dispositivos (réplicas) representando a trama da maioria dos pássaros e outras, cujas características conferem aos ninhos de *Cacicus haemorrhous* o princípio funcional do sistema estrutural que lhe é peculiar. Depois de produzidos, os dispositivos foram submetidos a experimentos empíricos, com ensaios laboratoriais de funcionamento, inspirados no procedimento correlato proposto na NBR 13359/95.

3) Conclusão: os resultados dos procedimentos foram analisados de forma comparativa a partir dos registros do equipamento de testes. Os dados serão compilados e apresentadas as conclusões. O objetivo é demonstrar eficácia dos procedimentos adotados na metodologia da pesquisa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

1) Observação sistemática: a observação dos ninhos será feita em várias escalas, partindo do olho nu, lente macro e lupa stereoscópica. Os equipamentos de observação foram os seguintes:

- Máquina fotográfica EOS Digital Rebel XS, lente Canon EF-S 18-200 mm f / 3.5-5.6 IS.
- Lupa stereoscópica Olympus SZX7 stereoscópica;
- Luminária dirigível Olympus LG PS2-5 com fibras óticas; e
- *Software* de visualização e processamento de imagens Olympus Stream Essentials.

2) Validação: a validação consiste na elaboração de tramas artificiais (réplicas) que serviram de corpos de prova para testes de funcionamento. Os materiais e equipamentos para os procedimentos desta etapa foram:

- Painel de fibra de madeira de média densidade (MDF) 18 mm e 10 mm;
- Pregos 11" x 11";
- Fio de poliamida Φ 0.25 mm;
- Punção hemisférico Φ 50 mm, de aço 1020;
- Punção plano Φ 50 mm, de aço 1020;

- Suporte para corpos de prova Φ 150 mm (interno), em aço 1020;
- Dinamômetro com variação uniforme de penetração ao longo tempo, tipo CRE (*Constant Ratio of Extension*) com penetração total de 100 mm.

Não foi identificado nenhum método de procedimento para validação de réplicas de ninhos de pássaros. Os procedimentos da etapa de validação da fase 01 foram construídos baseados na NBR 13359/95. Os procedimentos de replicação foram desenvolvidos empiricamente. Os fios de poliamida poderiam ser de outra bitola qualquer, porém, o material foi eleito em função do baixo coeficiente de atrito que o material oferece, visto que o de atrito poderia interferir nos resultados do teste.

3.3 MÉTODO DE OBSERVAÇÃO: DESCRIÇÃO FASE 01

A fase de observação será subdividida em cinco etapas, conforme apresentado no capítulo 2, seção 2.3. Cada etapa consistirá de uma série de procedimentos e ações. A descrição detalhada da fase um será apresentada a seguir.

3.3.1 Etapa 1 - Seleção do Tipo de Amostra

As características e especificidades dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* foram responsáveis pela escolha do tipo de amostra e orientação desta pesquisa. Nesta etapa, faz-se necessário a busca de conhecimento específico de biologia, afim de obter informações detalhadas sobre o comportamento da ave, bem como locais onde possam ser vistos e capturados seus ninhos. Os ninhos para o estudo foram selecionados por amostragem aleatória e por área descrita por biólogos. Este procedimento de seleção da amostra é justificado pelo não conhecimento da população de *Cacicus haemorrhous* e por se tratar de conhecimento específico do domínio da biologia.

3.4 MÉTODO DE VALIDAÇÃO: DESCRIÇÃO FASE 02

Um dispositivo reproduzindo artificialmente os princípios funcionais do sistema estrutural das tramas dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* deve ser

elaborado para medir a eficácia e dar validade à fase 1, observação. Para tanto, um experimento empírico será elaborado, baseado na norma NBR 13359/95. Esta norma trata de padronização de procedimento para teste de puncionamento estático para mantas geotêxteis não-tecidos e correlatos. Mantas geotêxteis não-tecido caracterizam-se pela composição da sua trama possui um padrão de ordenamento similar às tramas de ninhos, ou seja, apresenta a uma trama caótica, aleatória. A correlação com as tramas dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* foi estabelecida. Os dispositivos serão denominados corpos de prova e deverão, portanto, seguir procedimentos similares aos usados em testes de puncionamento estático de mantas geotexteis não-tecidos.

Mantas geotêxteis tipo não tecido caracterizam-se pelo arranjo aleatório dos fios. São fabricados arranjando as fibras aleatoriamente, em trama solta. No processo de fabricação, os filamentos são espalhados aleatoriamente sobre uma esteira rolante, cuja velocidade determina a espessura do produto. Os componentes são ligados por processos mecânicos, onde uma agulha entrelaça as fibras, produzindo uma manta que de espessura homogênea, que pode variar de 2,0 a 5,0 mm (MACCAFERRI, 2011).

Mantas geotêxteis não-tecido são usadas em obras de contenção de terra e pavimentação de rodovias e caracterizam-se pela ausência de trama tecida, ou seja, sua trama é confeccionada sem padrão, aleatoriamente.

O teste de puncionamento foi escolhido em função dos esforços a que as paredes dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* são submetidos, quando usados como abrigo de ovos e filhotes, além das aves que os incubam e alimentam. Não foram encontrados, em nenhuma bibliografia, testes de puncionamento em estruturas de ninhos de aves de quaisquer tipos. O teste de puncionamento foi eleito depois discussões e consultas junto engenheiros e professores da engenharia.

O teste de puncionamento estático consiste em submeter um corpo de prova a um punção, que fará penetração no mesmo. Durante os testes, serão medidos:

- a) Penetração p (mm): medirá a partir da letra A do gráfico, a distância percorrida pelo cilindro (punção) a partir do momento em que tocar a trama.
- b) Força de Puncionamento F_p (kN): medirá a força exercida sobre o pistão.
- c) Penetração Máxima $P_{máx}$ (mm): medirá a penetração máxima correspondente à força do pistão na amostra, representada pela letra B no gráfico, e

- d) Resistência ao Puncionamento $F_{p\text{máx}}$ (kN): Medirá a força máxima registrada de puncionamento.

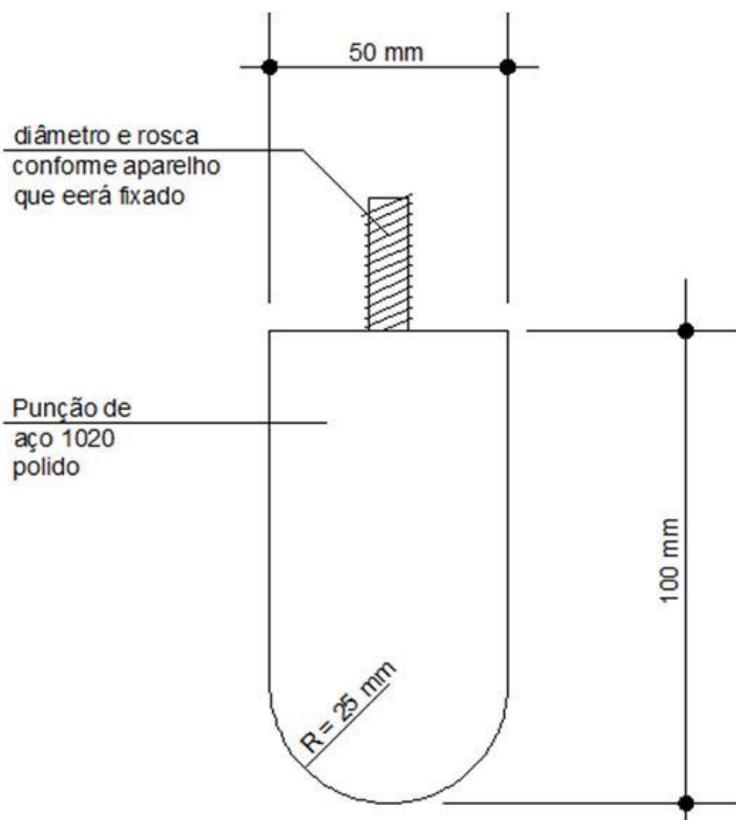
3.4.1 Pistões

O teste definido pela NBR 13359/95 prevê que o teste seja feito com pistão com base plana, para ensaios em mantas geotêxteis não tecidos. No entanto, em função de características das tramas dos ninhos de *Cacicus hemorrhous*, um outro modelo de pistão, além daquele de acabamento plano, foi proposto. Através de testes de puncionamento com dois diferentes tipos de pistões, foi possível observar o comportamento do sistema em laboratório, além de medir a resistência do sistema artificial, observado na trama do *Cacicus haemorrhous*.

As características dos dois tipos diferentes de pistões são as seguintes: 1) hemisférico, cuja extremidade de contato com o corpo de prova é em forma de semi-esfera; e 2) plano, cujo contato com o corpo de prova é plano. Os dois tipos de pistões estão relacionados à reação que os diferentes tipos de corpos de prova podem apresentar. A resistência ao puncionamento dos corpos de prova deverão ser comparados em relação à anatomia do pistão, ou seja, a propriedade de provocar o deslizamento das fibras que compõe as tramas (hemisférico) ou de romper as fibras trama (plano). As figuras 30 e 31 ilustram as características dos punções usadas nos testes de resistência.

O pistão hemisférico forçará o deslizamento e o escape das fibras que compõe a trama para sua periferia, diminuindo a capacidade da trama do corpo de prova em resistir ao esforço de penetração. Este teste pretende medir a capacidade da trama em resistir aos esforços de abertura da trama através de um esforço pontual (pistão). A figura 29 ilustra o punção hemisférico.

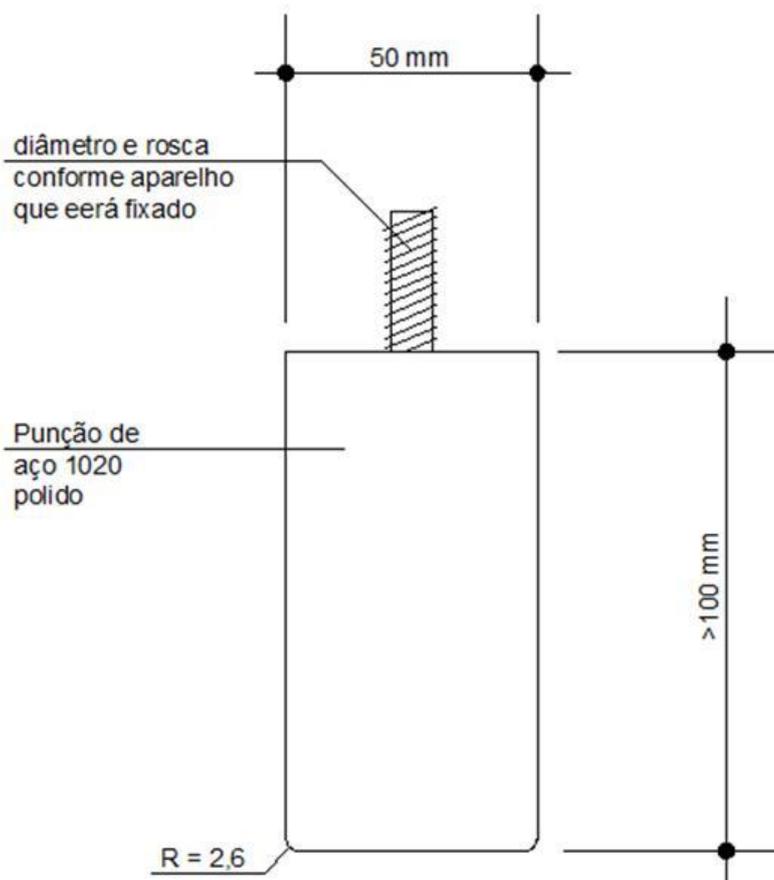
Figura 29 - Pistão hemisférico



Fonte: autor.

O pistão plano forçará o rompimento das fibras que compõe a trama sua periferia, diminuindo a capacidade da trama de resistir ao esforço. Este teste pretende medir a capacidade de rompimento da trama, a partir de um esforço pontual (pistão). A figura 30 ilustra o pistão plano.

Figura 30 - Pistão plano

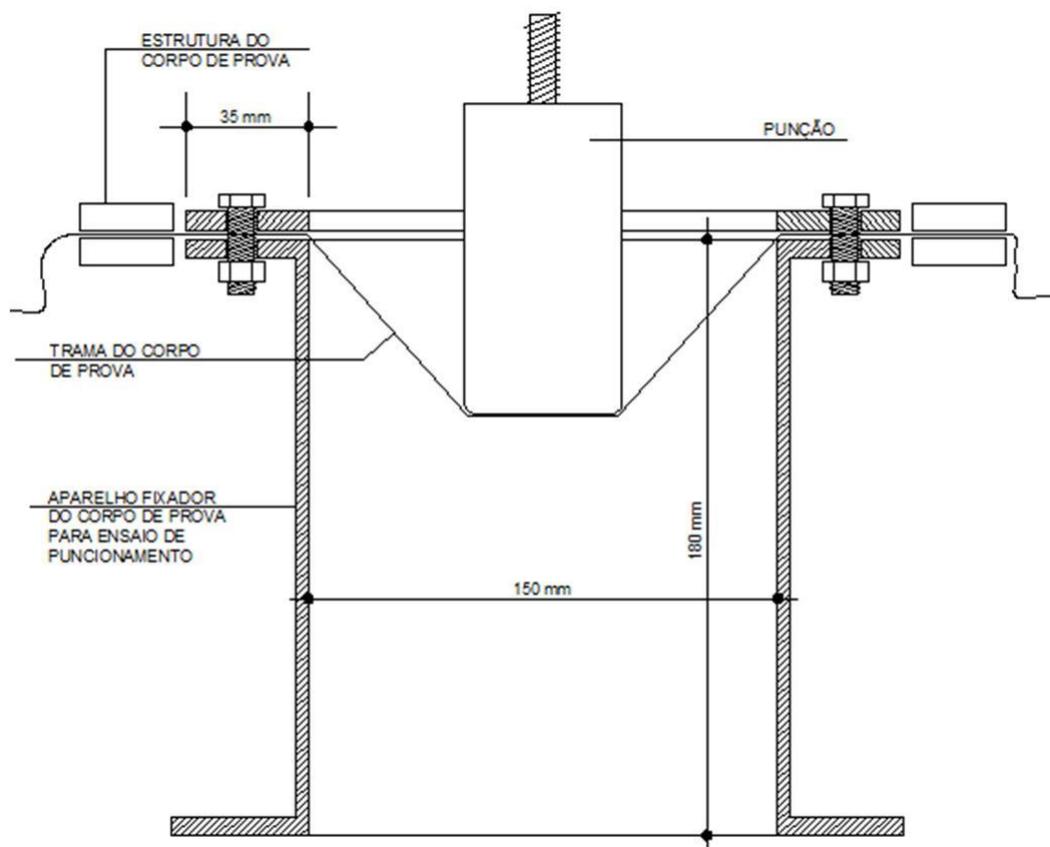


Fonte: baseado na NRB 13359/95

3.4.2 Aparelho Fixador do Corpo de Prova

Os corpos de prova serão fixados em aparelho cilíndrico, em suporte circular na parte superior do mesmo. A fixação dos corpos de prova no aparelho será por intermédio de parafusos. Uma vez fixado o corpo de prova, o aparelho é colocado sob o eixo de movimento de penetração do pistão, que se deslocará para o interior do aparelho até o rompimento dos corpos de prova. A figura 31 ilustra o modelo do aparelho fixador do corpo de prova para teste de puncionamento.

Figura 31 - Aparelho fixador do corpo de prova



Fonte: baseado na NBR 13359/95

3.4.3 Procedimentos dos Ensaios

Na ocasião dos ensaios, as amostras artificiais das tramas ficarão presas ao aparelho fixador (fig. 31) e submetidas ao punção. O aparelho fixador deverá permitir a penetração do punção no mínimo em 100 mm (NBR 13359/95).

Os corpos de prova deverão ser identificados, mantidos em ambiente seco, protegidos de poeira, luz, ações mecânicas e agentes químicos. Não devem conter umidade, dobras ou qualquer irregularidade provenientes de acidentes posteriores à sua confecção (NBR 12593/92; 13908/97). As condições ideais de umidade e temperatura, 65% e 20°C respectivamente, ficarão a cargo do laboratório que fará os testes (ABNT NBR ISO 139:2008). As umidades e temperaturas poderão variar para 50% e 23°C, respectivamente, como alternativa, desde que as partes envolvidas estejam de acordo, podendo ainda haver tolerância de +/- 4% e +/- 2°C (ABNT NBR ISO 139:2008).

As variáveis que serão estudadas dizem respeito às propriedades do sistema estrutural dos ninhos que são entrelaçamento das fibras, que distribuem os esforços solicitados nos vários pontos de entrelaçamento de fibras presentes na trama, e a união de fibras, propriedade observada que consiste no envolvimento de uma fibra, em forma de laço, em conjuntos de fibras da trama. Uma vez solicitadas, as fibras que formam os laços unem as tramas, impedindo que a trama seja traspassada pelo elemento que produz o esforço por puncionamento.

Na segunda etapa, experimental, replicações das tramas de dois grupos diferentes serão construídas. As réplicas do primeiro grupo, denominado grupo X, representam artificialmente as tramas de pássaros mais frequentemente encontrados na natureza, que tem forma de tigela, cuja sustentação do ninho é feita pelo fundo (figura 32). Os resultados da observação desta amostra servirão única e exclusivamente de parâmetros para os resultados do segundo grupo, denominado grupo Y, replicados a partir das observações dos ninhos do *Cacicus haemorrhous*, onde as variáveis encontradas nas amostras naturais serão reproduzidas.

Figura 32 - Exemplo de ninho comum



Fonte: autor.

O segundo grupo, denominado Y, representa as tramas inspiradas nos dados observados dos ninhos *Cacicus haemorrhous* (figura 33), apoiados pela parte superior, são pendurados. Este grupo refere-se às tramas entrelaçadas, no entanto com variações incluindo laços, com fios de poliamida de 2,00 e 4,00 m de extensão.

Figura 33 - Exemplo de ninho de *Cacicus haemorrhous*

Fonte: autor.

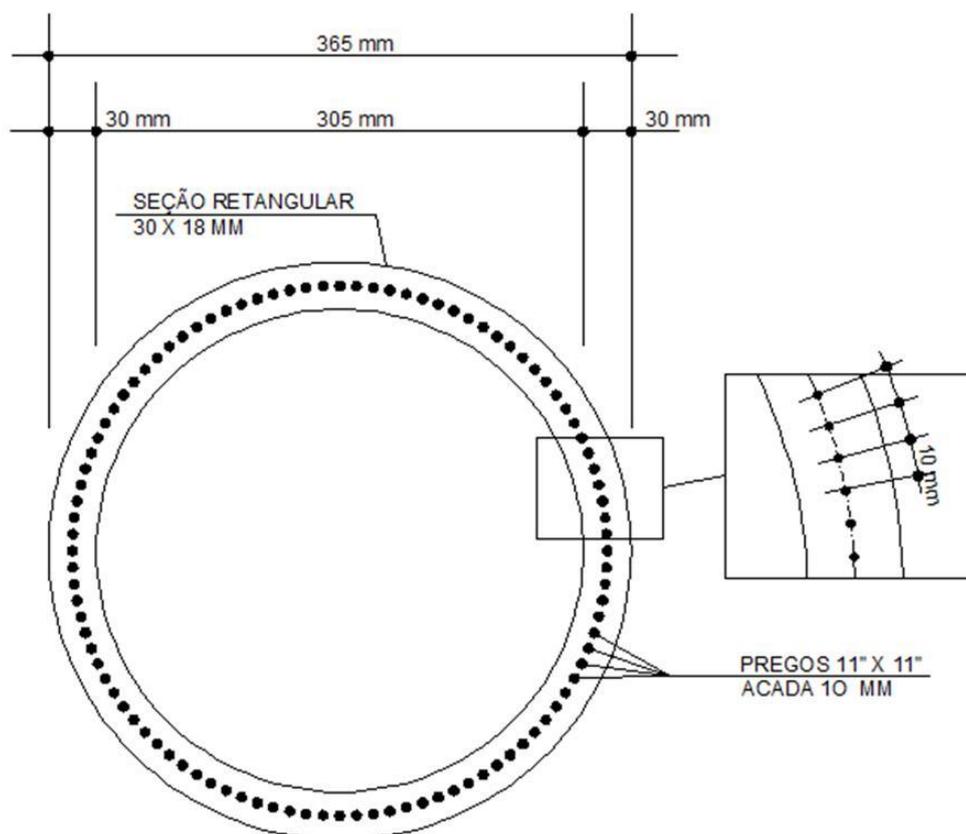
3.4.4 Corpos de Prova

Os corpos de prova são as réplicas das tramas na condição de ensaio. Foram feitos a partir de um arco de painel de fibra de madeira de média densidade (MDF) 18 mm, cuja circunferência externa mede 36,5 cm e a interna 30,5 cm. Estas medidas foram estabelecidas em função do dimensionamento do aparelho de fixação de corpos de prova necessários para o teste de puncionamento, conforme NBR 13359/95. O eixo do perfil retangular que forma o arco, foi subdividido e demarcado de 01 em 01 centímetro, resultando em cem pontos demarcados.

Em cada um dos 100 pontos foram instalados pregos 11" x 11" para dar apoio ao fio que será usado para confeccionar as tramas artificiais. Não foi encontrada na literatura qualquer padronização para a determinação do dimensionamento do arco, nem a respeito do número e distanciamento entre apoios para a confecção das réplicas das tramas. As dimensões dos dispositivos para o teste de puncionamento estão disponíveis no A figura 34 apresenta as características do arco para

confeção das réplicas das tramas, que servirão de corpo de prova depois de processadas.

Figura 34 – Arco para confecção das réplicas dos ninhos



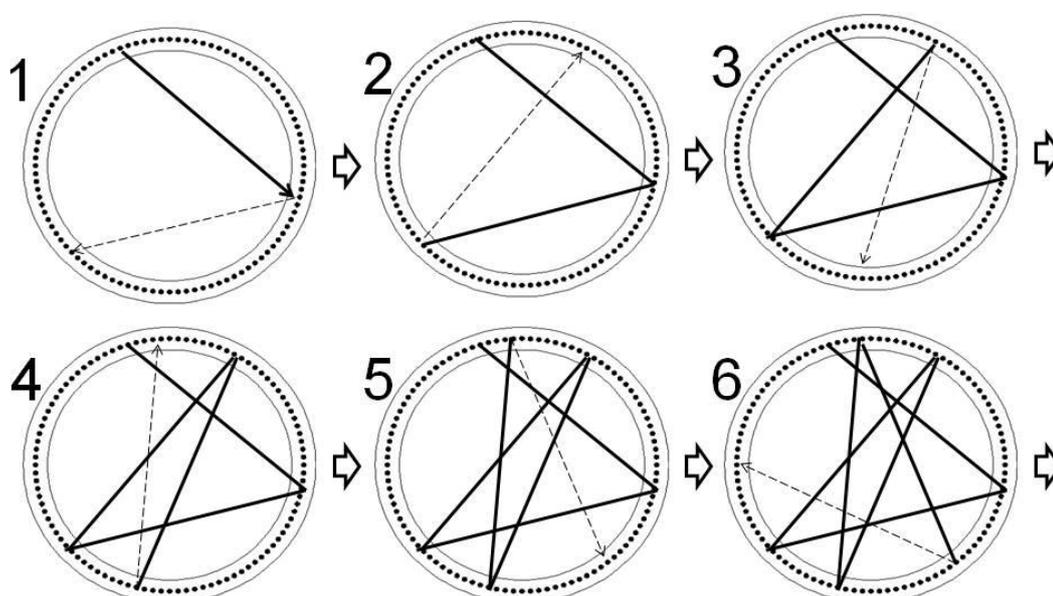
Fonte: autor.

Critérios e procedimentos da replicação do grupo X

As réplicas do grupo XX representam as tramas dos ninhos de aves mais frequentemente encontradas na natureza. Trata-se de ninhos em forma de tigela, construídos apoiados sobre galhos, bifurcações ou até mesmo em superfícies planas e inclinadas, nos mais diversos lugares, tanto nas árvores da mata, como em postes, beirais de casas e bosques urbanos. Este tipo de trama caracteriza-se pela aparência aleatória e pelas conexões entre as fibras se darem pelo simples atrito das mesmas entre si (VASCONCELOS, 2000). Estas réplicas foram confeccionadas para servir de parâmetro às réplicas das tramas dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, que apresenta outro tipo de configuração, objeto deste estudo.

Para a confecção das réplicas denominadas XX, um único fio de poliamida Φ 0.25 mm deve ser amarrado em um dos cem pontos de ancoragem (pregos 11" x 11"). A posição do ponto de partida é aleatória. A trama será tecida de forma a reproduzir a estrutura caótica do grupo X, buscando cruzar os fios na região central do arco, em função do teste de puncionamento à qual a réplica será submetida. A réplica estará pronta quando todos os pontos de apoio forem tocados pelos fios. A figura 35 ilustra o processo e construção. Dez unidades de trama XX devem ser confeccionadas.

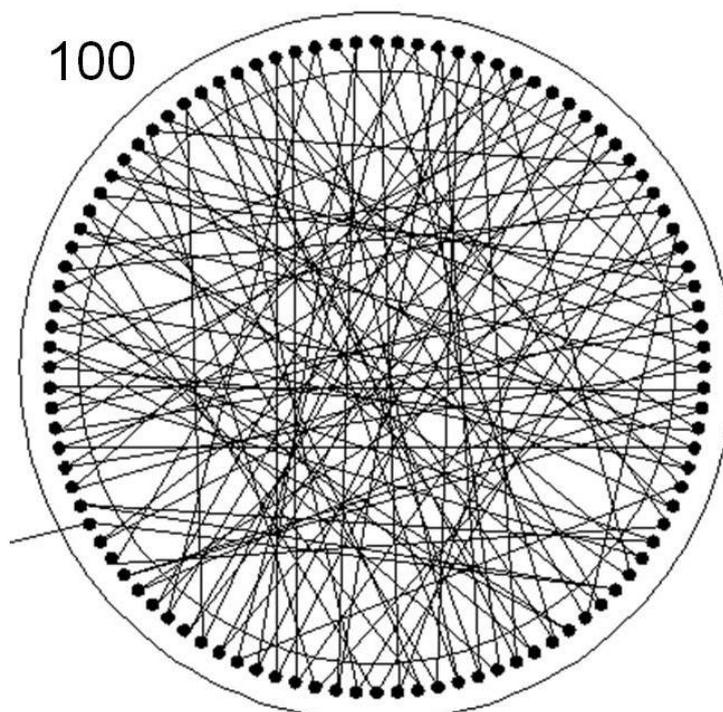
Figura 35 - Processo de confecção réplica XX. O número presente na lateral superior esquerda da figura representa a etapa de construção.



Fonte: autor.

Após passar o fio pelos cem pontos de apoio aleatoriamente, o resultado da réplica do ninho, está representado na figura 36.

Figura 36 - Resultado da confecção da réplica XX



Fonte: autor.

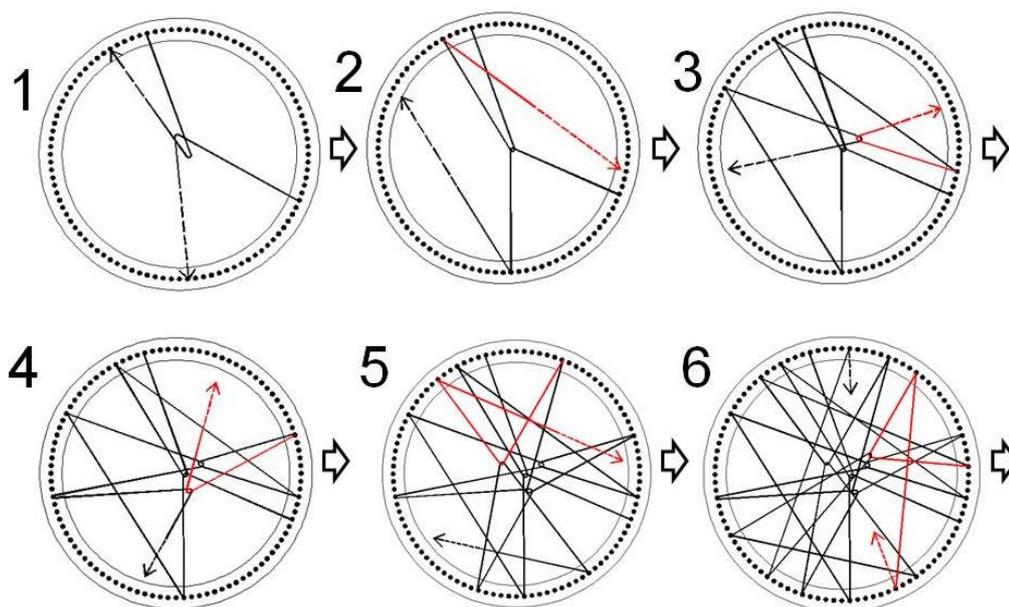
Critérios e procedimentos da replicação do ninho tipo 00

As réplicas tipos 0.0, 2.0 3 4.0, reproduzem algumas características encontradas nas observações da fase 1, ninhos de *Cacicus haemorrhous*. As fibras entrelaçadas entre si convertem-se em um sistema com conexões deslizantes que reagem aos esforços solicitantes, sobretudo de puncionamento.

Este tipo de sistema foi interpretado e replicado a partir de dois fios de poliamida Φ 0.25 m, presos em dois dos cem pontos (pregos) de ancoragem. Em todas as amostras 0.0, 2.0 e 4.0, os inícios das tramas foram em pregos com posições aleatoriamente opostas do arco. A trama foi tecida de forma aleatória, buscando cruzar os fios na região central do arco, em função do teste de puncionamento, a que as réplicas serão submetidas. A diferença da réplica 0.0 para as 2.0 e 4.0 está no emprego de outro elemento estrutural que foi adicionado ao sistema, o laço.

Depois de passados por todos os apoios perimetrais do arco, a trama 0.0 está terminada. As figuras 37 e 38 ilustram os procedimentos e o resultado respectivamente. Trinta tramas do tipo 0.0 foram confeccionadas, das quais vinte, foram processadas e passaram a ser dos tipos 2.0 e 4.0.

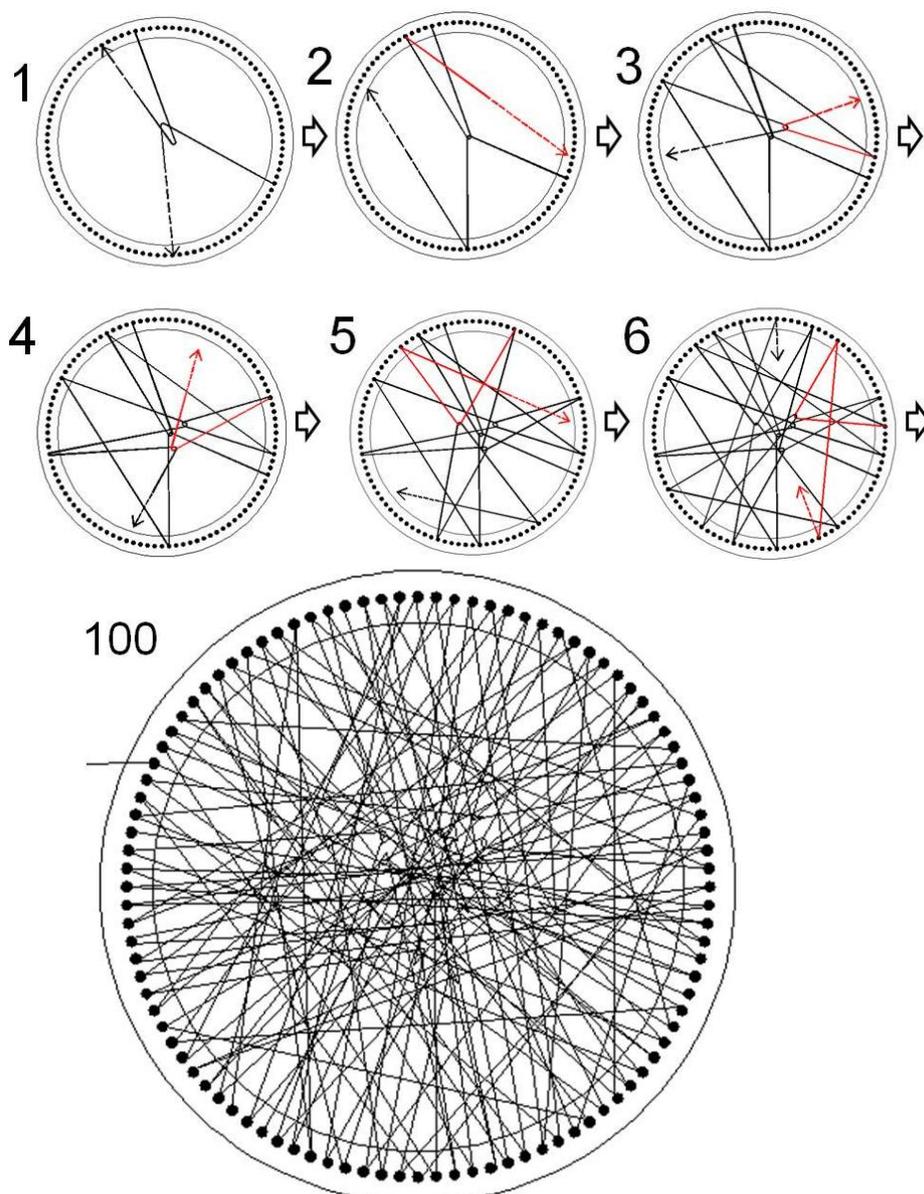
Figura 37 - Processo de confecção réplica tipo 0.0, 2.0 e 4.0



Fonte: autor.

Após passar o fio pelos cem pontos de apoio aleatoriamente, o resultado da réplica do ninho de *Cacicus haemorrhous*, está representado na figura 39.

Figura 38 - Resultado da confecção da réplica tipo 0.0



Fonte: autor.

Critérios e procedimentos da replicação do ninho tipo 2.0

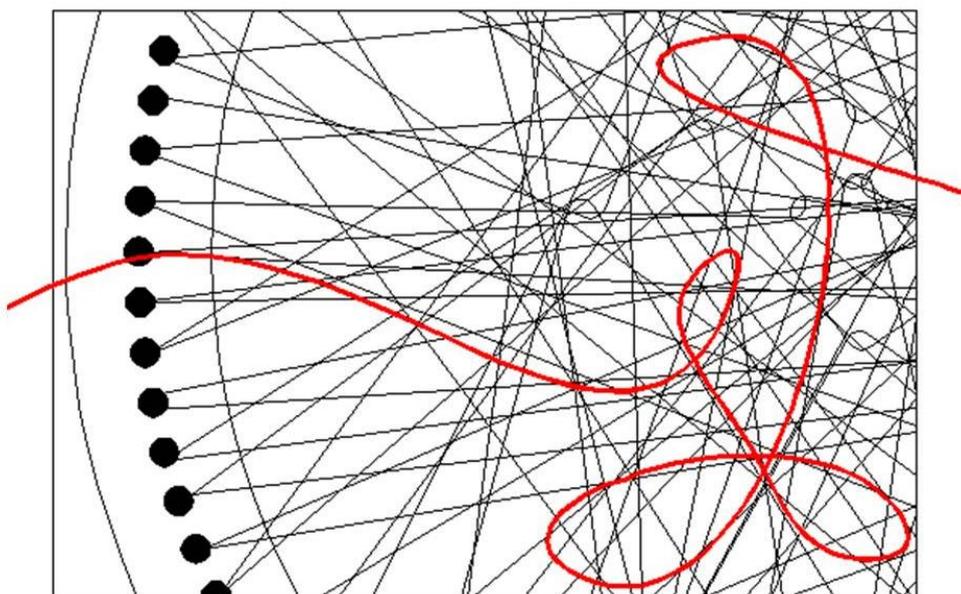
Depois de tecidas as tramas do tipo 0.0, um fio com 2,00 metros de comprimento, do mesmo material, será introduzido na trama, a partir de um ponto de apoio (prego) qualquer, com intuito de reproduzir os laços encontrados nas tramas dos ninhos do *Cacicus haemorrhous*.

Um fio representado em vermelho na figura 40 será inserido na trama, aleatoriamente, dando voltas pelas fibras, formando laços, buscando abranger a

área central da trama. As duas extremidades do fio serão amarradas nos pontos de apoio periféricos do arco.

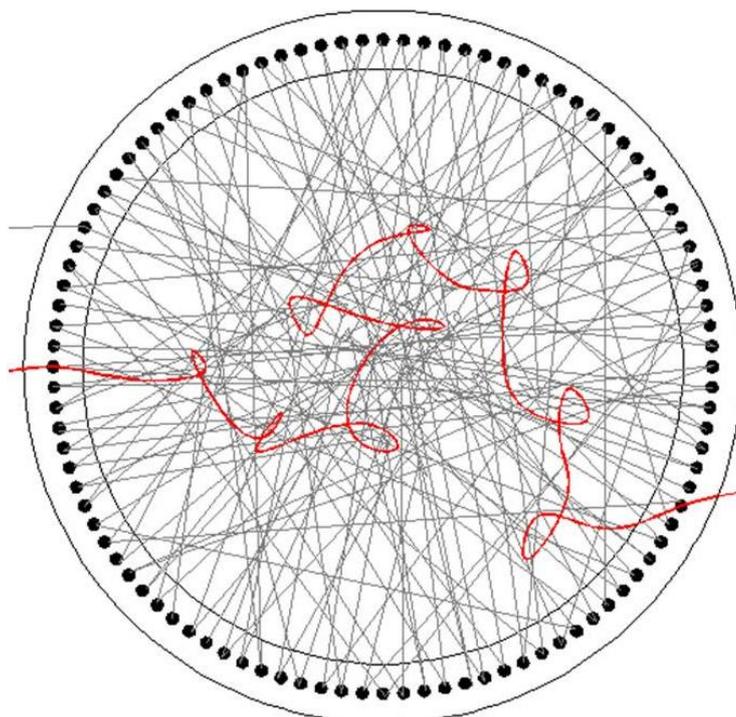
Dez tramas do tipo 2.0 serão confeccionadas, a partir das trinta tramas do tipo 0.0 confeccionadas preliminarmente. A confecção do laço na trama está representada nas figuras 39 e 40.

Figura 39 - Detalhe do processo de confecção do laço na réplica tipo 2.0



Fonte: autor

Figura 40 - Resultado da confecção da réplica tipo 2.0



Fonte: autor.

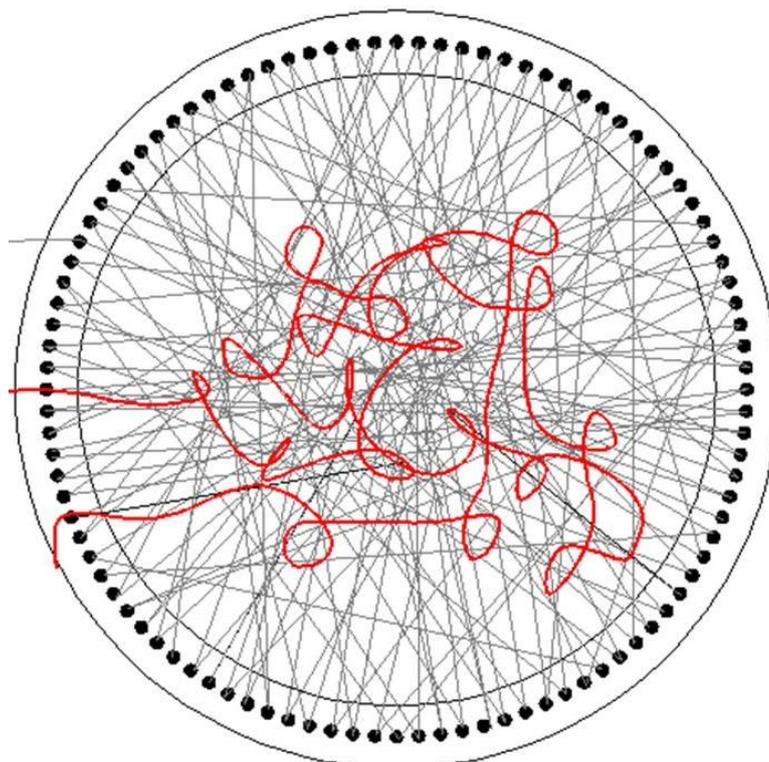
Cerca de 13 laços envolverão a trama, tecidos com 2,00 metros de fio. Eles farão parte do sistema. As duas extremidades do fio serão amarradas aos pontos de ancoragem na periferia do arco.

Critérios e procedimentos da replicação do ninho tipo 4.0

A partir das últimas dez unidades restantes das tramas do tipo 0.0, serão tecidas as tramas tipo 4.0. O procedimento é exatamente igual ao efetuado na trama 2.0. A diferença, é que um fio de 4.00 metros será inserido da trama, resultando num número maior de laços no centro da mesma. Uma linha vermelha representa o fio na figura 41.

Cerca de 26 laços envolverão a trama, tecidos com 4,00 m de fio. Eles farão parte do sistema. As duas extremidades do fio serão amarradas aos pontos de ancoragem na periferia do arco. Dez tramas do tipo 4.0 serão confeccionadas.

Figura 41 - Resultado da confecção da réplica tipo 4.0



Fonte: autor.

A etapa experimental consistirá de ensaios de puncionamento com dois diferentes tipos punção, em quatro tipos diferentes de trama. Para cada tipo de punção, serão confeccionados cinco corpos de prova, num total de 40 ensaios. O objetivo será medir as capacidades de resistência de penetração de cada uma das quatro diferentes tramas.

Os ensaios de puncionamento serão executados no laboratório da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville SC.

3.5 FASE 3: CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados, as amostras serão separadas em grupos e por variações. As variáveis analisadas serão descritas por dois tipos de punção, 01 e 02. A exposição dos resultados dos corpos de prova serão feitos através de tabelas e gráficos, onde serão inseridos os esforços mensurados pelo aparelho de medição em kilogramas. O objetivo será verificar se os laços e o tipo de trama dos ninhos de *Cacicus hemorrhous* influem na resistência ao puncionamento, validando a

biomimetização do princípio estrutural da trama, observada durante a fase 1 desta pesquisa. Depois de analisados os resultados, será possível validar ou não a extração do princípio funcional do sistema estrutural dos ninhos *Cacicus haemorrhous*, proposto na etapa 6 do método.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Neste capítulo, serão apresentadas as aplicações do método de pesquisa, observação e validação. O objetivo é mostrar sistematicamente os procedimentos para a extração do princípio funcional da estrutura dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, bem como sua validação.

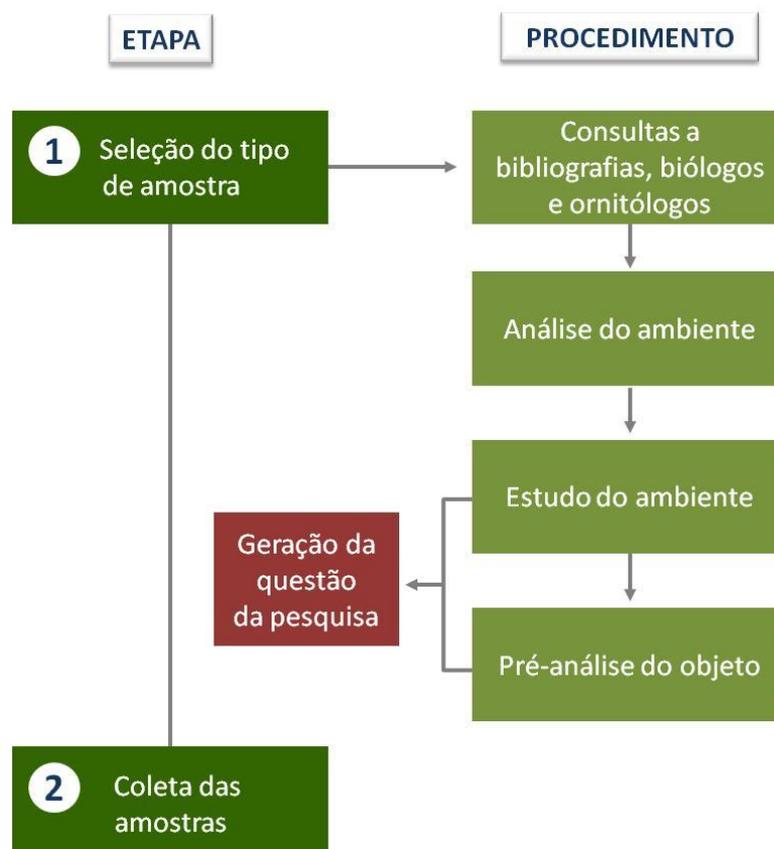
4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE BIOMIMETIZAÇÃO DA ESTRUTURA DA TRAMA DOS NINHOS DE *CACICUS HOMORRHOUS*

Nesta seção será descrita a aplicação do método de observação que tem como objetivo a extração do princípio funcional do sistema estrutural de ninhos de *Cacicus haemorrhous*.

4.1.1 Seleção do Tipo de Amostra

Nesta etapa serão apresentadas informações relativas ao meio ambiente em que se inserem as amostras biológicas. Serão apresentadas as características que chamaram a atenção do pesquisador, sua relação com os elementos circundantes, em forma de resposta, que levaram à sua sobrevivência. A partir desta observação ambiental e do objeto, surgiram as questões da pesquisa. O esquema da etapa 1 está ilustrado na figura 42.

Figura 42 - Esquema da etapa 1



Fonte: autor.

Os procedimentos para executar esta etapa estão descritos nas subseções seguintes.

Consultas a bibliografias, biólogos ornitólogos

Para analisar o ambiente foram efetuadas buscas científicas a partir do nome científico da ave assim como o nome popular “guaxe”. Os nomes foram inseridos em sites de busca. Foram encontrados e selecionados autores de artigos publicados por Duca & Marini e Eliane Furtado. Demais bibliografias citadas no capítulo 2 foram obtidas através de referências de artigos e publicações científicas.

Além destes pesquisadores, foram contatados os biólogos e ornitólogos Patricia de Luca L. Greff (Joinville). A revisão bibliográfica forneceu informações a respeito do ambiente dos *Cacicus haemorrhous* e *Cacicus cela*, ambos da mesma espécie.

Análise e Estudo do ambiente

Tanto os *Cacicus haemorrhous* como os *Cacicus cela*, pertencentes à mesma espécie, nidificam em colônias, nas extremidades dos galhos (FEEKS, 1981). Estas características lhes oferecem mais chances de sobrevivência e procriação, diminuindo a eficácia da ação de seus predadores (MASSONI & REBOREDA, 2001apud DUCA & MARINI, 2008), ora desconcentrando-os na ocasião do ataque, ora oferecendo pouco apoio à aqueles que se dirigem aos ninhos pelas árvores, em função da pouca resistência estrutural que a ponta dos galhos oferecem. Os ninhos em forma de saco, por estarem pendurados, são pouco vistos de cima, diminuindo a visão de aves de rapina (FEEKS, 1981).

Estudo do objeto

Os ninhos pendurados como sacos, apresentam abertura de acesso de acordo com o porte da ave, além de oferecer proteção contra ventos, chuva e radiação solar direta, conferindo-lhes maior proteção contra as condições severas do ambiente, oriundos da elevada umidade e forte incidência de radiação solar, marcantes em regiões tropicais.

Questionamentos: que sistema estrutural os *Cacicus haemorrhous* utilizam para construir seus ninhos pendurados, em forma de saco? Por que o ninho não se desmancha? Em que diferem do sistema estrutural que a maioria das outras aves utiliza para construir seus ninhos apoiados sobre os galhos, superfícies, ou mesmo no solo?

O objeto de estudo desta pesquisa será o ninho de *cacicus haemorrhous*, mais precisamente o sistema estrutural que se mantém em equilíbrio, mesmo quando carregado com os ovos, os filhotes e mesmo ave, quando se movimenta.

4.1.2 Coleta das Amostras

Uma vez selecionado o tipo de amostra natural, foram feitas entrevistas não estruturadas junto a biólogos e ornitólogos, além de buscas em sites específicos sobre ornitologia, para mapear as colônias de *Cacicus haemorrhous*, com o objetivo

de coletar amostras. Um requerimento de autorização junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) foi preenchido e concedido.

Uma vez mapeados, os ninhos foram capturados e identificados. O esquema da etapa 2 está representado na figura 45.

Figura 43 - Esquema etapa 2



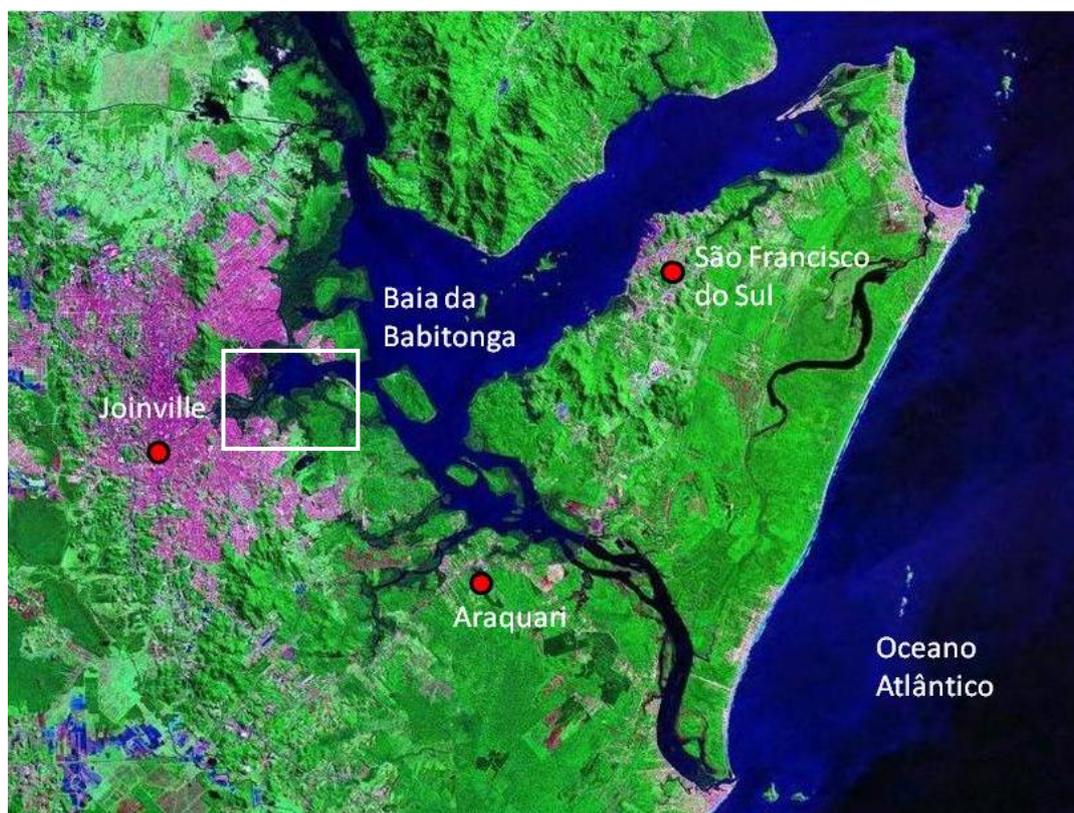
Fonte: autor.

Mapeamento

Ninhos de *Cacicus haemorrhous* são encontrados facilmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, em áreas da Floresta Atlântica (DUCA E MARINI, 2004). Eles podem construir seus ninhos agrupados uns aos outros, formando colônias, em locais próximos a água (FEEKS, 1981). A Baía da Babitonga, situada da região do município de Joinville/SC, abriga várias comunidades de *Cacicus haemorrhous*. A Baía da Babitonga possui alguns patrimônios ambientais, cujos ecossistemas representam uma forte característica tropical, dentre eles a Floresta Atlântica e os manguezais (IPPUJ, 2011). É o maior manguezal do litoral de Santa Catarina, considerado grande berçário da vida marinha (IPPUJ, 2011).

As comunidades presentes nesta região foram localizadas em função do contato firmado com a bióloga e consultora empresarial para assuntos do meio ambiente, Patrícia de Luca L. Greff. A figura 44 identifica a região onde foi indicada uma das várias colônias de *Cacicus Haemorrhous*, a Baía da Babitonga, Joinville SC.

Figura 44 - Mapa geral da Baía da Babitonga – Joinville/SC



Fonte: Google earth.

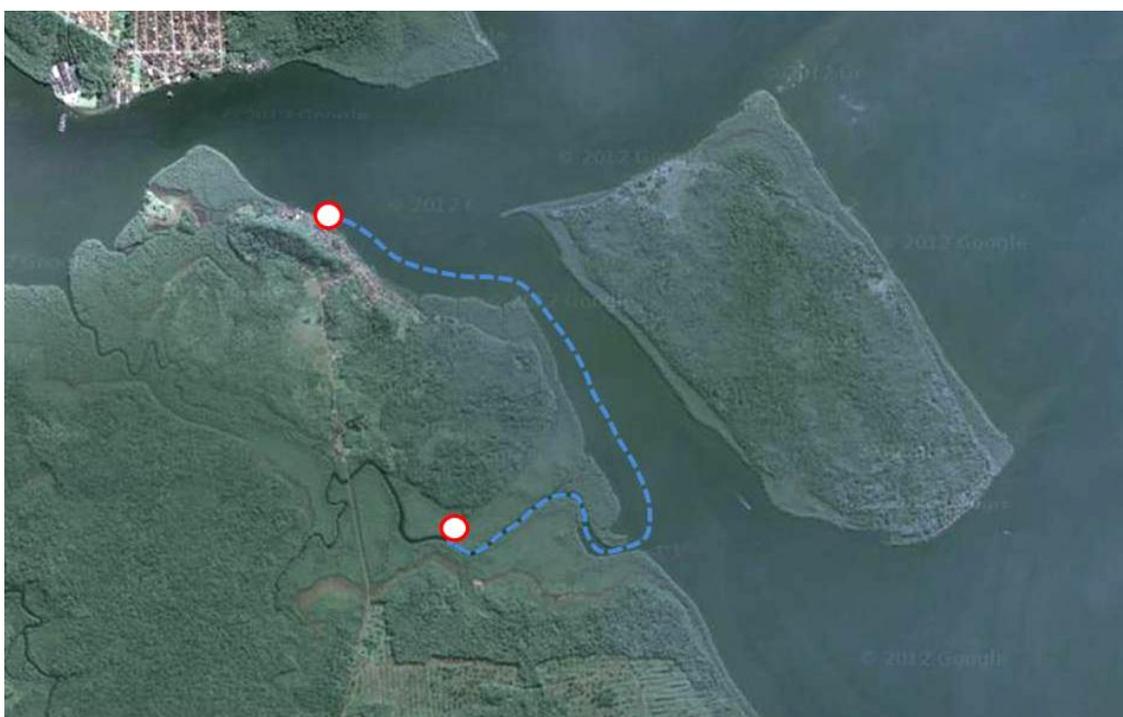
Consulta a órgãos federais

Apesar de abundante na região, a captura dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* se deram sob licença do SisBio (ANEXO 01), sistema de atendimento do IBAMA que emite permissões a pesquisadores que solicitam autorização para coletar material biológico.

Saída a campo

O local foi visitado previamente para conhecer as condicionantes físicas que implicam a captura dos ninhos. O acesso para a captura dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* é possível apenas por pequenas embarcações, por se encontrarem à beira do mangue. Requer auxílio de pessoas que conhecem a região, para conduzir a canoa a remo, através da baía e do mangue, à colônia das aves. O local de saída da embarcação, a vila de pescadores denominada Morro do Alemão e o local de captura dos ninhos estão indicados da figura 45.

Figura 45 – localização da captura dos ninhos de *Cacicus hemorrhous*



Fonte: Google earth.

Para a captura dos ninhos, foi observado se os mesmos não estavam com ovos ou filhotes. Somente foram capturados ninhos aparentemente abandonados, reconhecidos facilmente em função da aparência envelhecida. O acesso aos ninhos foi fácil, bastando estender os braços e quebrar os frágeis galhos com as mãos, sem o emprego de ferramenta. Foram capturadas cinco unidades.

Figura 46 - Captura ninhos de *Cacicus haemorrhous*



Fonte: autor.

Armazenamento das amostras

Os ninhos foram colocados cuidadosamente em sacos plásticos e desinfetados com inseticida a base de água.

Identificação das amostras

Depois de capturados, os ninhos foram levados ao laboratório, pesados, medidos, identificados e fotografados com câmera fotográfica Canon EOS Digital Rebel XS, lente Canon EF-S 18-200 mm f / 3.5-5.6 IS. As medições relativas aos

dimensionamentos e os pesos dos ninhos constam na tabela 2. As imagens dos ninhos seguem respectivamente nas figuras 47, 48, 49, 50 e 51.

Tabela 02 - Medições dos ninhos

Ninho	Medidas cm / (largura, altura, profundidade)	Peso (g)
01	18 x 40 x 8	46
02	14 x 35 x 6	52
03	10 x 28 x 8	32
04	11 x 28 x 9	28
05	14 x 45 x 4	32

Fonte: autor.

Figura 47 - Ninho 01



Fonte: autor.

Figura 48 - Ninho 02



Fonte: autor.

Figura 49 - Ninho 03



Fonte: autor.

Figura 50 - Ninho 04



Fonte: autor.

Figura 51 - Ninho 05

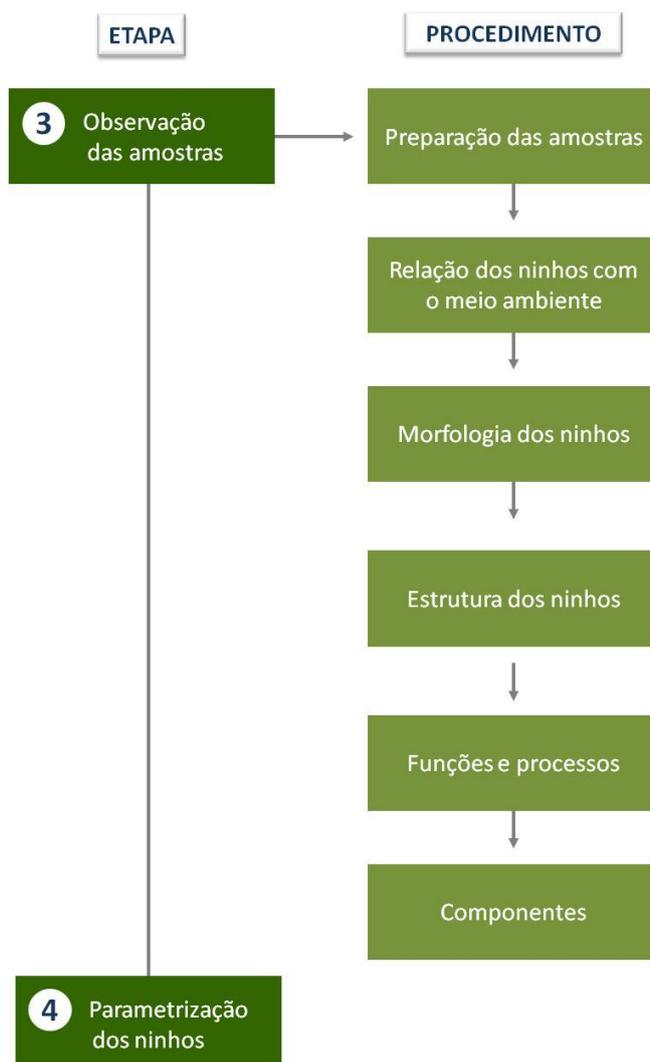


Fonte: autor.

4.1.3 Observação das Amostras

Os ninhos foram manipulados com o máximo cuidado para não comprometer as informações presentes nele. A observação foi feita em várias escalas, do olho nu para uma visão visualização de sua morfologia; com lente macro para visualizar sua estrutura periférica; e lupa estereoscópica, para visualização pormenorizada da disposição dos componentes que os compõe. Os dados mais importantes foram registrados e não foram feitos croquis nesta etapa, em função da possibilidade de editar as imagens, dando ênfase aos dados relevantes (KINDLEIN et al, 2002). Dados importantes sobre os materiais de construção e suas funções no sistema de estrutura dos ninhos foram percebidos durante esta fase, incluindo os fatores que os tornam peculiares, o tipo de trama e a presença de laços de reforços. O esquema da etapa 3 está representado na figura 54.

Figura 52 - Esquema etapa 3



Fonte: autor.

Os procedimentos “preparo das amostras”, “relação com o meio ambiente” e “componentes” foram observados no conjunto das cinco amostras e serão apresentadas a seguir. Os demais procedimentos “morfologia”, “estrutura” e “função” serão explicados na sequência e descritos ninho a ninho.

Preparo das amostras: apesar da noção de fragilidade, os ninhos de *Cacicus haemorrhous* são relativamente firmes, menos flexíveis que o esperado. As fibras que os compõe são firmes, lembrando trabalho de cestaria de palha. Por este motivo, não houve necessidade de preparo específico das amostras, apesar de alguns fragmentos se quebrarem ou se desprenderem com o manuseio. Portanto, esta etapa, apesar de levada em consideração, não necessitou de especificidades no que diz respeito ao processamentos das mesmas.

Relação com o meio ambiente: a influência direta do meio ambiente nos ninhos manifesta-se em função (a) da sobrevivência e (b) do clima, conforme relatados a seguir.

- a) Em função da sobrevivência: num primeiro momento, na defesa de suas crias, a estratégia que o *Cacicus haemorrhous* utiliza, segundo Feeks (1981), é a organização em bandos; formando colônias para distrair o predador na ocasião do ataque; aumentando as possibilidades de ação; diminuindo seu foco nos demais ninhos; e construindo seu ninho na ponta dos galhos, dificultando a aproximação dos predadores terrestres (répteis e mamíferos), colocando-os em situação de risco de queda, quanto mais se aproximam dos ninhos (MASSONI & REBOREDA, 2001 apud DUCA & MARINI, 2008). Por esta razão, o ninho fica pendurado (apoiado por cima, e não apoiado por baixo). A estrutura das paredes dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, item que será analisado a seguir sobre a influência do clima, apresentam função estrutural, dando estabilidade ao esforço provocado pela gravidade e pelos ventos, conferindo-lhes resistência à tração.
- b) Influência do clima: esta análise é resultado da observação do autor da pesquisa, não há embasamento bibliográfico. O clima tropical, presente na região onde são encontradas espécies dos *Cacicus haemorrhous* e *Cacicus cela*, tem como principal característica o calor e umidade em função da proximidade da linha do equador. As características morfológicas dos ninhos dos *Cacicus haemorrhous* e *Cacicus cela*, dão resposta a esta condição climática, proporcionando conforto térmico para as fêmeas e os filhotes, através das barreiras ao sol, chuva e ventos fortes que as paredes formadas pela sua trama estrutural, lhes conferem. As paredes formadas pela trama oferecem, portanto, dupla função: estruturar o ninho e proteção à radiação, permitindo ventilação por ser permeável.

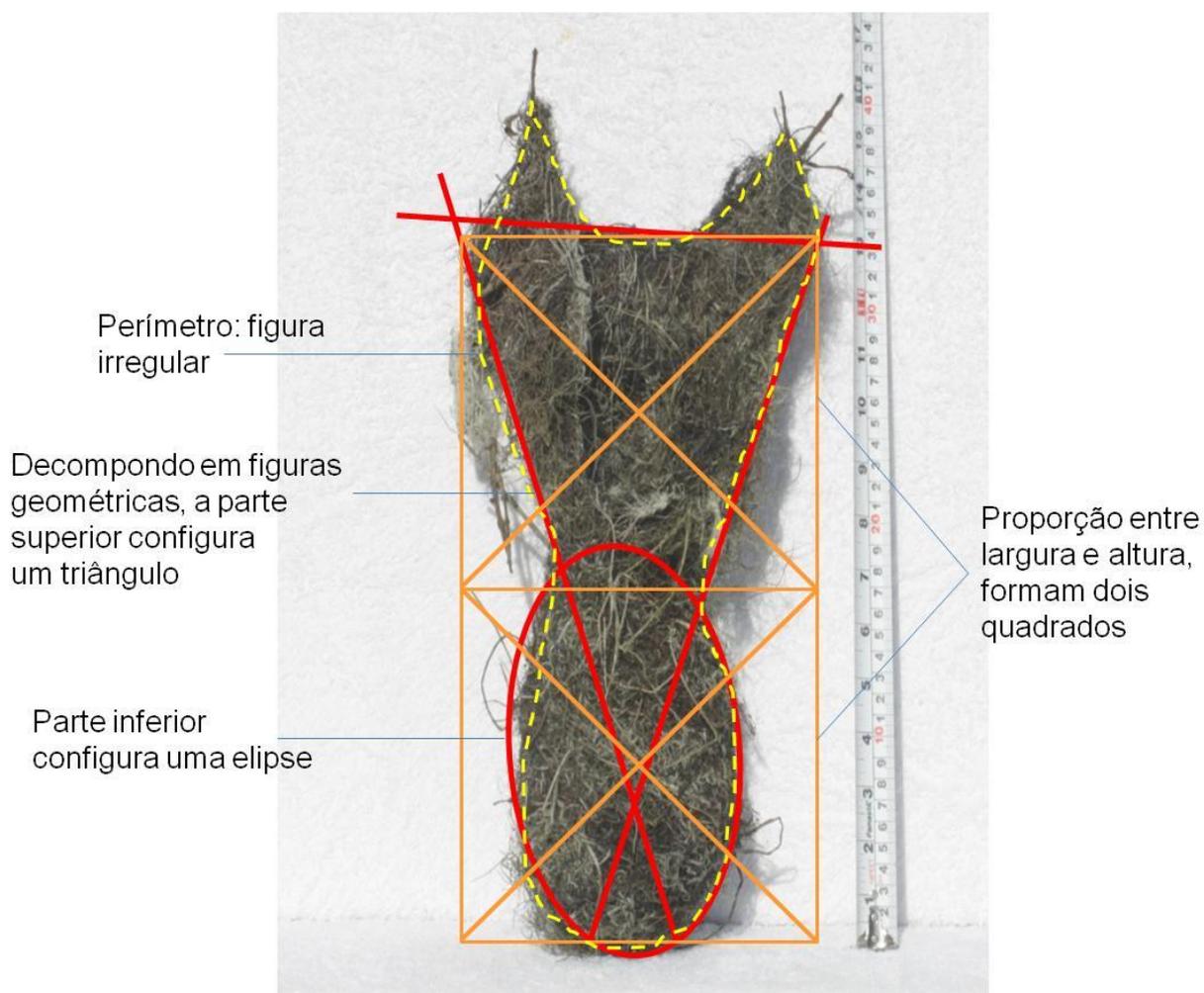
Componentes: de forma geral, vistos em várias escalas de observação, é possível identificar alguns materiais que as fêmeas de *Cacicus haemorrhous* usaram para a confecção e construção das amostras observadas. Apesar de variarem em proporção de uma para outra, as fibras mais presentes foram a barba-de-velho (*Tillandsia usneoides*); restos de cordas de náilon; crina e rabo de cavalo; e outros materiais artificiais usados provavelmente por pescadores, como cordões abandonados no manguezal pelos mesmos. É importante frisar que a barba-de-velho possui propriedades medicinais, usada como antibiótico, antirreumático, anti-hemorroidal. Os índios Guarani utilizavam a planta para evitar gravidez. Na medicina

popular é utilizada contra ingurgitamento do fígado, combate às hérnias, úlceras, varizes, dores e inflamações no reto (MANETTI, DELAPORTE, LAVERDE, 2009). Trata-se de uma espécie que constrói seus ninhos com materiais com propriedades benéficas para sobrevivência, crescimento ou desenvolvimento de seus filhotes (GWINNER H. et al, 2000 apud MENNERAT, PERRRET & LAMBRECHTS, 2009).

Observação da amostra 01

Morfologia: o ninho 01 apresenta forma irregular. Ao decompor sua forma, é possível reconhecer um triângulo escaleno na parte superior e uma elipse na parte inferior da figura. A relação entre as duas figuras está em equilíbrio, não havendo sobreposição de uma sobre a outra. A proporção entre largura e altura é representada pela composição por dois quadrados. A figura 55 ilustra a análise.

Figura 53 - Ninho 01 - análise morfológica



Fonte: autor.

Estrutura: o ninho 01 foi apoiado em uma bifurcação. Ao contrário dos ninhos tradicionais, os *Cacicus haemorrhous* apoiam seus ninhos por cima, construindo estrutura submetida a tração. A trama faz simultaneamente o papel de parede e de estrutura. Na figura 56 é possível observar a presença de fibras mais grossas e mais rígidas, envolvidas na trama, apontadas pelas setas vermelhas. O fundo do ninho é construído com maior esforço, onde as fibras são mais juntas, rígidas e confeccionadas com fibras mais finas, incluindo crina de cavalo.

Figura 54 - Ninho 01: reforços estruturais, com fibras mais rígidas envolvidas pela da trama.



Fonte: autor.

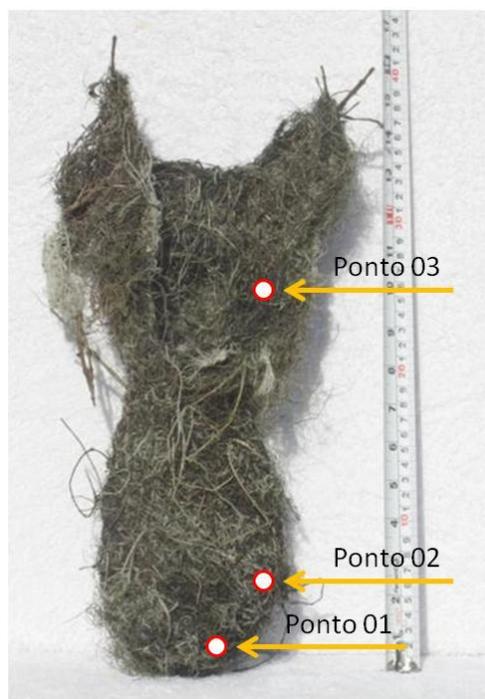
Figura 55 - Ninho 01: o círculo mostra trama mais rígida e espessa; o retângulo,



Fonte: autor.

Funções e processos: os pontos de observação com lupa estereoscópica no ninho 01, foram mapeados na figura 56.

Figura 56 - Ninho 01 - mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.



Fonte: autor.

A figura 57 apresenta o ponto 01 sem realce colorido, apenas com setas, apontando alguns elementos relevantes do sistema. A figura 60 é a repetição da 59, salientando, com uso de cores, a disposição das fibras no sistema, buscando maior facilidade de leitura. O sistema que compõe a trama é formado por duas importantes características. A primeira, ilustrada pelo laço “A”, é o laço envolvendo a uma série de outras fibras.

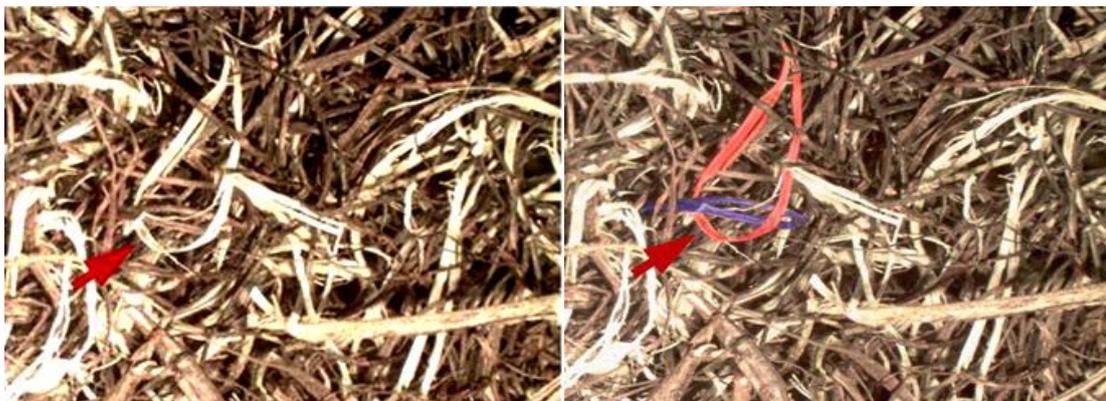
Figura 57 – Ninho 01 ponto 01 laço ‘A’ em repouso



Fonte: autor.

Um fenômeno curioso se revela quando é aplicada uma tensão de dentro para fora da trama. O sistema empregado na construção do ninho, formado por uma série de laços, permite que a trama se expanda, mas encontra um limite, parando a expansão, conferindo-lhe grande resistência, se comparada à resistência de ninhos comuns. As figuras 58 e 59 ilustram o fenômeno.

Figura 58 – Ninho 01 ponto 01, (laço 'A') em repouso



Fonte: autor.

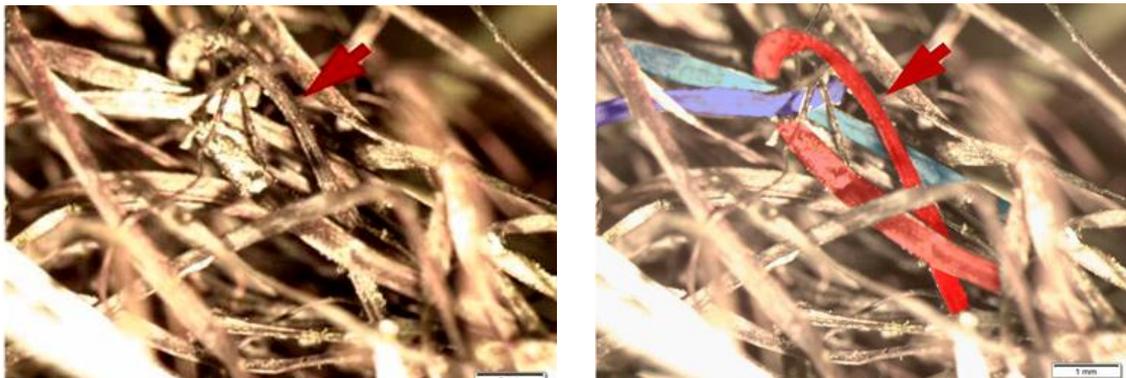
Figura 59 – Ninho 01 ponto 01 laço 'A' sob puncionamento (tração).



Fonte: autor.

Os pontos 02 e 03 mostram com clareza os laços envolvendo uma série de fibras. Estes laços apertam as fibras, conferindo-lhes mais resistência. Os pontos 02 e 03 são representados nas figuras 60 e 61 mostrando em ambos os pontos, uma única fibra laçando uma série de outras.

Figura 60 – ninho 01 ponto 02 laço



Fonte: autor.

Figura 61 – Ninho 01 ponto 03 laço

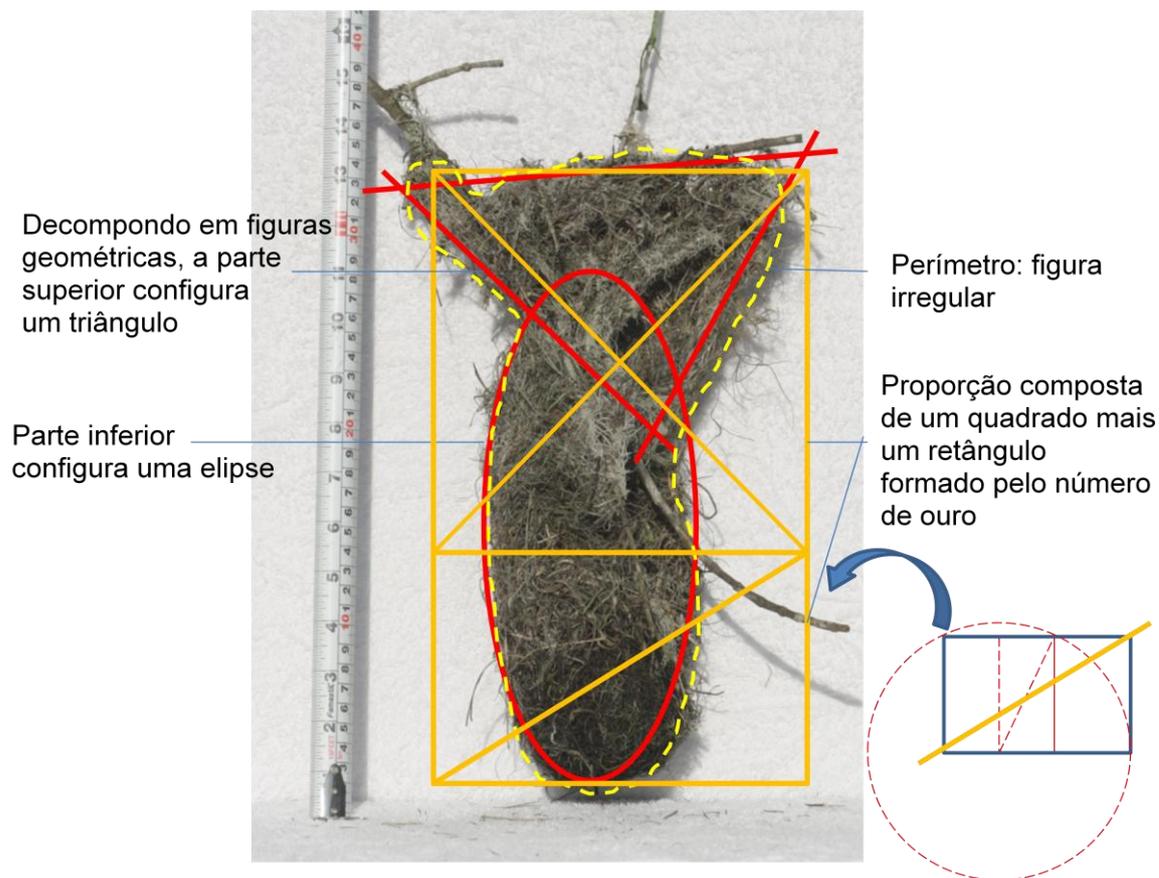


Fonte: autor.

Observação da amostra 02

Morfologia: o ninho 02 apresenta forma irregular. Ao decompor sua forma, pode-se reconhecer um triângulo escaleno na parte superior e uma elipse na parte inferior da figura. A relação entre estas duas figuras, no entanto, são desequilibradas, sendo a elipse praticamente o dobro do tamanho do triângulo. A figura do ninho 02 cabe na composição de um quadrado mais um retângulo formado pelo número de ouro. A figura 62 ilustra a análise.

Figura 62 – Ninho 02: ilustração análise morfológica



Fonte: autor.

Estrutura: o ninho 02 foi apoiado em uma bifurcação, apresentando um maior e mais entrelaçado número de fibras ao elemento. Assim como os demais ninhos, é possível ver o emprego de gravetos mais rígidos na periferia das paredes estruturais, provavelmente com o intuito de reforçar o conjunto. Predominam a barba-de-velho e fibras artificiais, como material de pesca em sua construção (figura 63).

Figura 63 - Ninho 02 – graveto inserido na trama.



Fonte: Autor

A figura 64 mostra o fundo do ninho 02. Nele, além da mistura de elementos que compõe a trama, no caso fibras artificiais e naturais, indicados pelas setas também é marcado pelo círculo, o aumento da densidade dos elementos, formando uma parede mais rígida e espessa. O retângulo mostra o tipo predominante de trama, que se estende por todo o ninho.

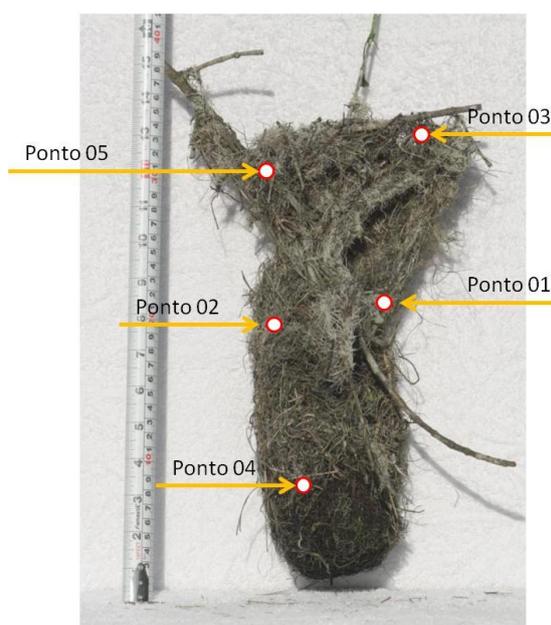
Figura 64 - Ninho 02 - mistura de elementos artificiais e naturais.



Fonte: autor.

Funções e processos: os pontos de observação com lupa ótica no ninho 02, foram mapeados na figura 65.

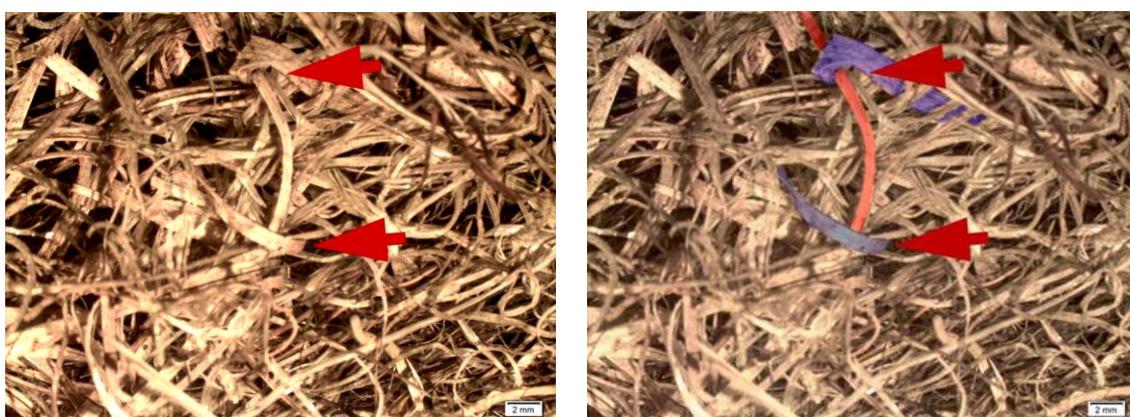
Figura 65 - ninho 02: mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.



Fonte: autor.

A trama do ninho 02 é composta por uma sucessão de laços e nós. A figura 66, mostra o momento em que uma única fibra (em vermelho na figura colorida) é laçada duas vezes (laços indicados pelas setas) em um intervalo menor que 1 centímetro. A fibra azul enlaça a fibra vermelha. Quando a trama é puncionada de dentro para fora, estes dois componentes fazem travamento entre si, limitando a expansão da trama.

Figura 66 – Ninho 02, ponto 01:2 laços sucessivos numa mesma fibra.



Fonte: autor.

Várias fibras envoltas por laço, dando várias voltas. Elas potencializam a capacidade estrutural da trama, aumentando a capacidade de resistência à tração (Figura 67).

Figura 67 - Ninho 02 ponto 02 - 2 laços com várias voltas numa junta de fibras.



Fonte: autor.

Nos engastes junto aos galhos que configuram uma bifurcação – ponto de engaste do ninho na árvore – percebe-se um cuidado maior da fêmea do *Cacicus haemorrhous* quanto ao reforço. Várias voltas são dadas em outras fibras que se

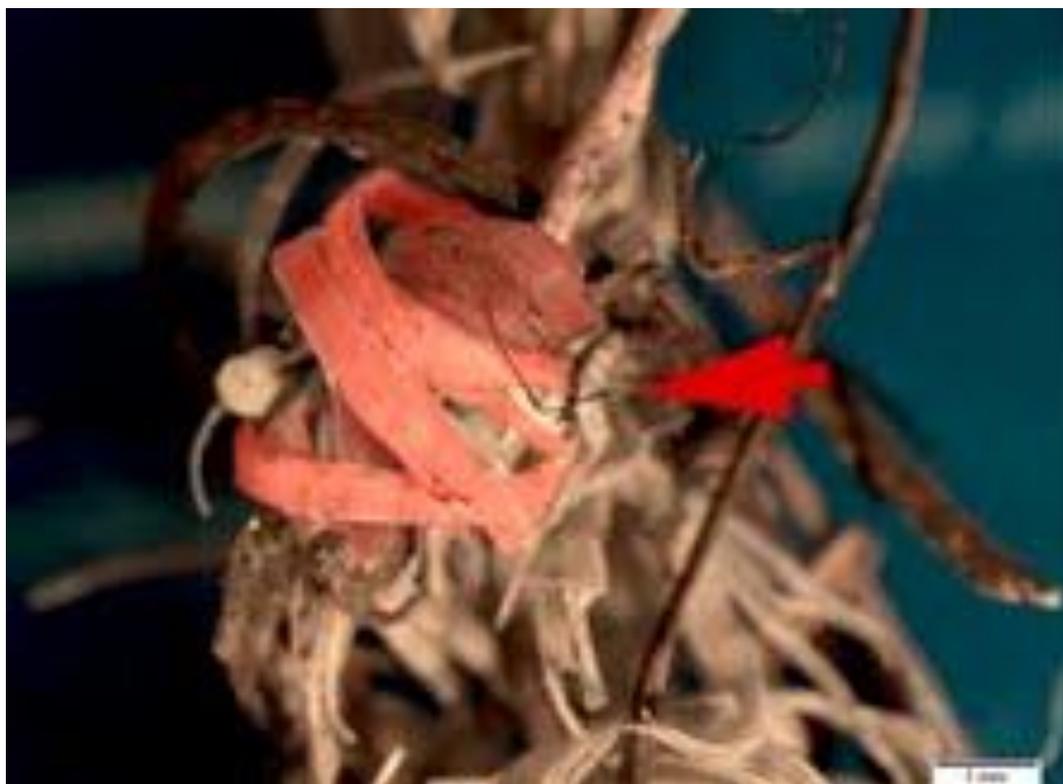
enrolam no próprio galho, dando mais resistência ao engaste. As figuras 68 e 69 mostram o conjunto de fibras próximo ao galho que recebe de reforço.

Figura 68 - Ninho 02, ponto 03 – laços de várias voltas numa junta de fibra, próximo ao galho de apoio.



Fonte: autor.

Figura 69 – Ninho 02 pt 03: detalhe do engaste



Fonte: autor.

A figura 70 mostra o ponto 04. Um pedaço de barbante foi usado para tecer o laço que envolveu as fibras de pinheiro.

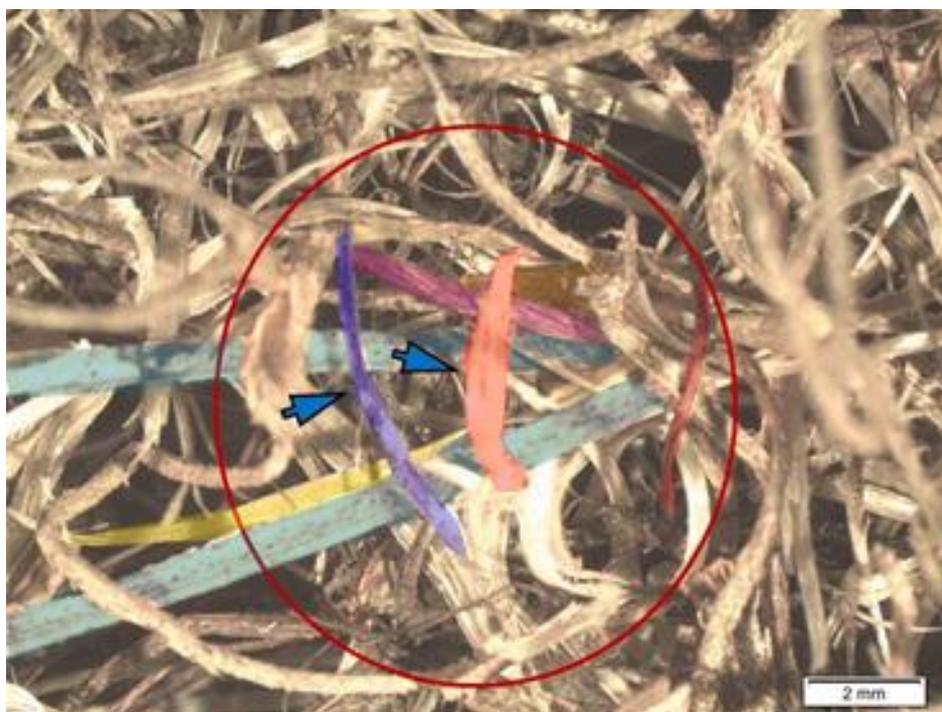
Figura 70 - Ninho 02 pt 04 - laço em artificial em fibra de natural



Fonte: autor.

No ponto 05, uma sequência de esforços de puncionamento foram aplicados contra a trama. Na figura 71, a trama está em estado normal, sem tração. As setas azuis apontam os elementos que irão sofrer deformação, em função da reação ao esforço.

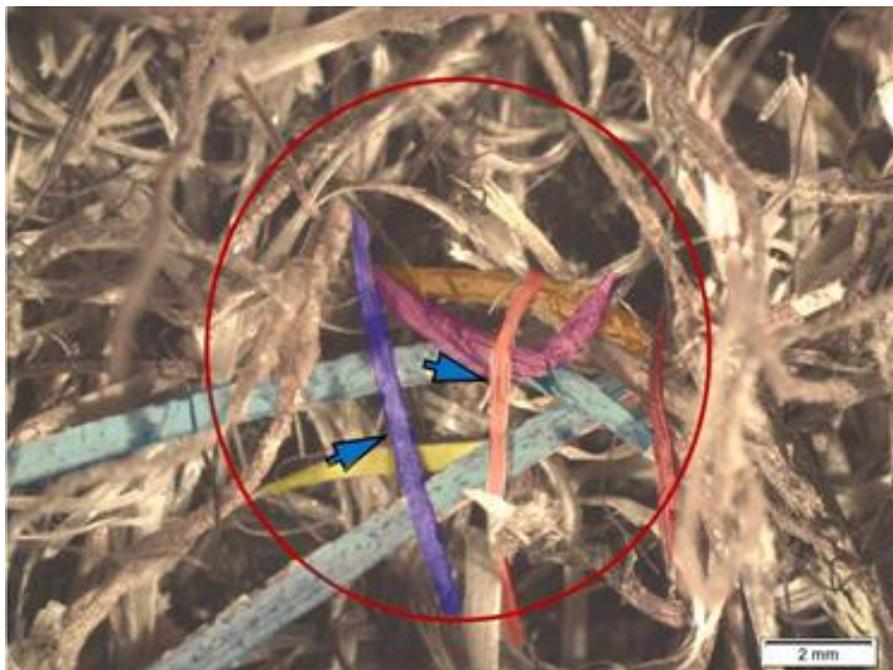
Figura 71 - Ninho 02 pt 05 - laço sem tração



Fonte: autor.

Na figura 72 é possível perceber que as fibras estão não apenas separadas, mas esticadas, impedindo que o sistema se rompa.

Figura 72 - Ninho 02 pt 05 - laços tensionando o conjunto



Fonte: autor.

Na figura 73, em função do esforço proposital, as fibras que compunham o sistema se romperam. Outras fibras, que estavam em repouso, foram acionadas e mantiveram o sistema em equilíbrio, apesar de visivelmente danificado. É possível ver representado um tipo de enlaçamento entre fibras, que quando esticadas, travam a trama.

Figura 73 - Ninho 02 ponto 05 – Apesar de rompido, o sistema

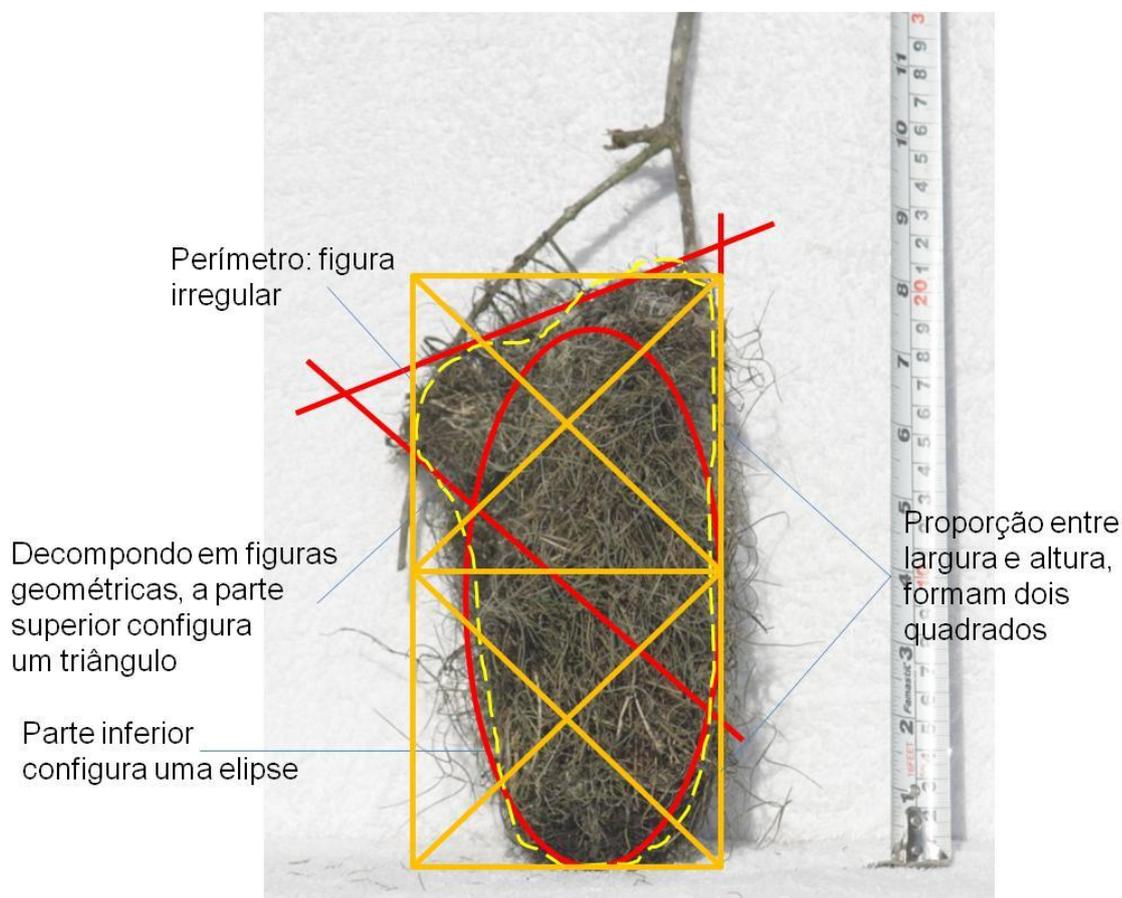


Fonte: autor.

Observação da amostra 03

Morfologia: o ninho 03 apresenta forma irregular. Ao decompor sua forma, é possível reconhecer um triângulo escaleno na parte superior e uma elipse na parte inferior da figura, presentes também nos demais ninhos. A relação entre as duas figuras está em equilíbrio, não havendo sobreposição de uma sobre a outra. As dimensões deste ninho são menores que a dos outros. A proporção entre largura e altura (2x1) é representada pela composição por dois quadrados. A figura 74 ilustra a análise morfológica.

Figura 74 - Ninho 03 - ilustração da análise morfológica.



Fonte: autor.

Estrutura: o ninho 03 foi apoiado em uma bifurcação. É nítida a fragilidade do engaste da trama na forquilha (lado esquerdo da figura), apesar de estar claro que a fibra deu várias voltas ao redor do galho. Nesta amostra natural foi possível perceber que não houve o emprego de gravetos mais rígidos na periferia das paredes estruturais, como nos outros ninhos. Entre os componentes, predominam a barba-de-velho e fibras artificiais, como material de pesca, em sua construção (Figura 75).

Os engastes são mais frágeis na ancoragem junto a forquilha da árvore a qual a ave escolheu para construção do ninho; possui trama mais eterogênea e menos elaborada que os demais, além de dimensões que provavelmente não condizem com uma fêmea adulta, ou que já tenha incubado antes. Não havia vestígios de materiais que evidenciassem que o ninho tenha sido usado anteriormente. A trama desta amostra é mais heterogênea que as demais, apresentado aspecto mais maleável e irregular. A figura 75 mostra a ausência de elementos mais rígidos no exerior da trama.

Figura 75 - Ninho 03: não estão presentes gravetos mais rígidos



Fonte: autor.

O fundo do ninho 03, apresentado na figura 76 não apresenta diferença marcante na densidade de nós, laços ou de materiais presentes no resto do ninho. Nas demais amostras, esta diferença é facilmente percebida.

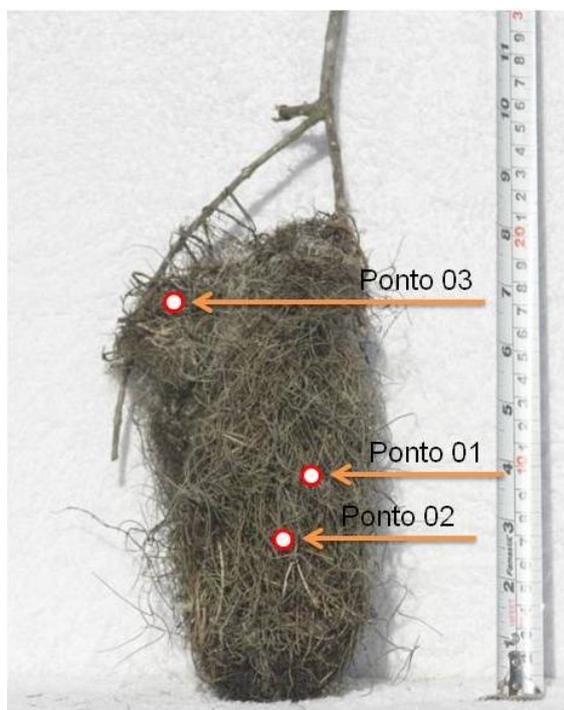
Figura 76 - Ninho 03 - trama do fundo do ninho não representa diferença marcante em relação ao restante da trama.



Fonte: autor.

Funções e processos: os pontos de observação com lupa estereoscópica no ninho 03, foram mapeados na figura 77.

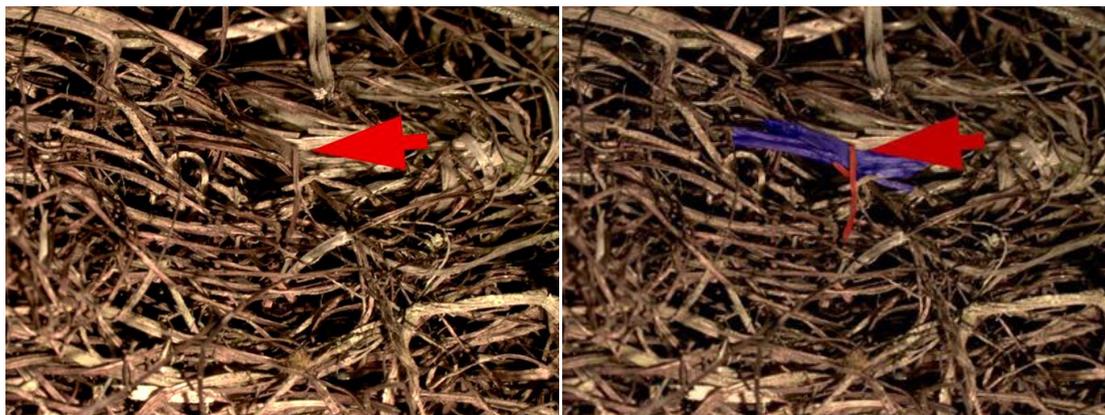
Figura 77 – Ninho 01: mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.



Fonte: autor.

A figura 78 mostra a o laço no ponto 01 do ninho 03.

Figura 78 - Ninho 03 ponto 01: laço



Fonte: autor.

A figura 79 mostra a presença de outro laço, no ponto 02.

Figura 79 - Ninho 03 ponto 02: laço



Fonte: autor.

A figura 80 mostra o ponto 03 antes de sofrer tração. É possível perceber como as fibras são envolvidas pelos laços.

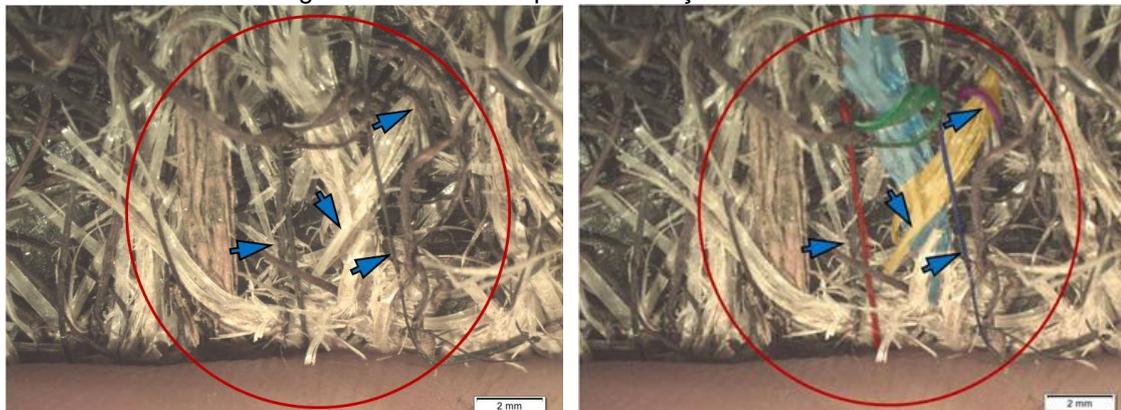
Figura 80 - Ninho 03 ponto 03: sistema em repouso.



Fonte: autor.

Com a aplicação da tração por puncionamento, a figura 81 mostra os laços apertando as fibras que são envolvidas por eles, dando mais rigidez ao conjunto.

Figura 81 – Ninho 03 ponto 03: laço tensionando as fibras

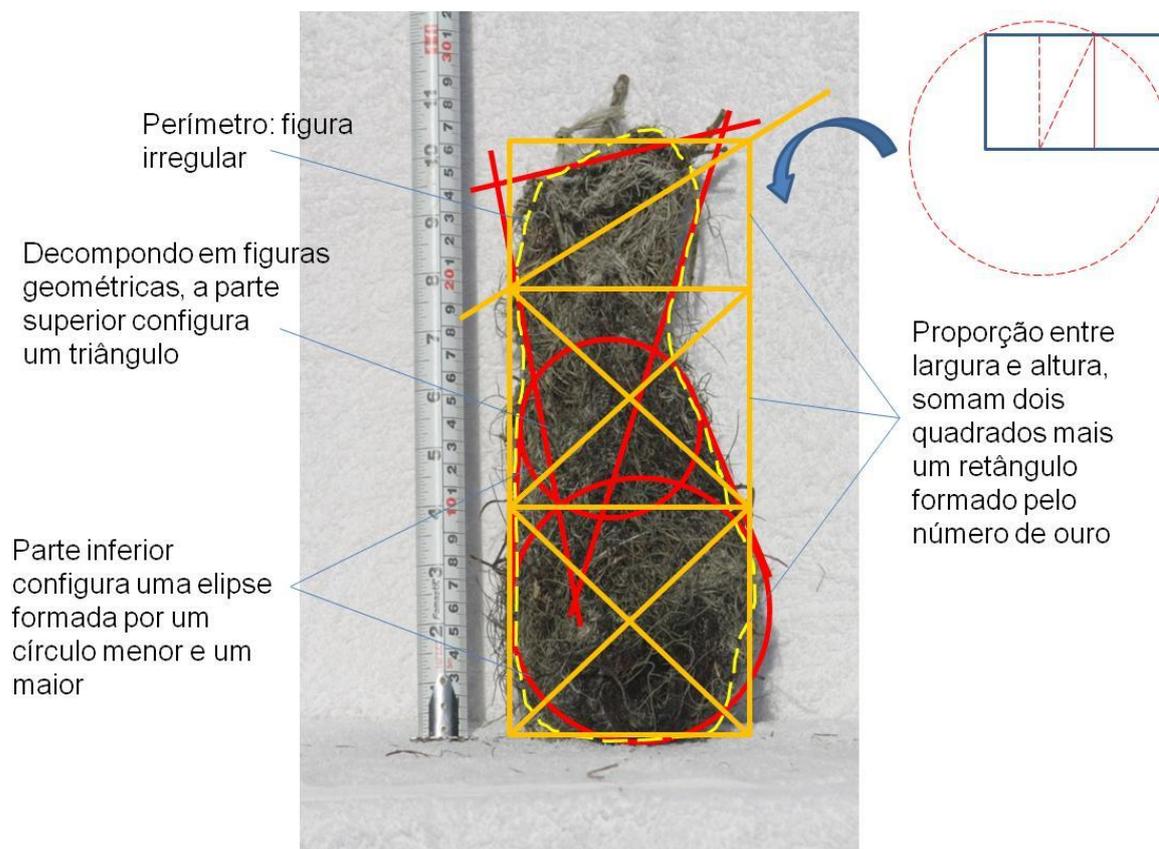


Fonte: autor.

Observação da amostra 04

Morfologia: o ninho 04 apresenta forma irregular. Ao decompor sua forma, pode-se reconhecer um triângulo escaleno na parte superior e uma elipse composta na parte inferior da figura. A relação entre as duas figuras está em desequilíbrio, sendo a parte inferior, maior que superior. A proporção entre largura e altura é representada pela composição por dois quadrados mais um retângulo formado pelo número de ouro. Das cinco amostras, é a única que apresenta figura inferior maior que a superior. A figura 82 ilustra a análise.

Figura 82 Ninho 04 – análise morfológica



Fonte: autor.

Estrutura: o ninho 04 foi apoiado em uma bifurcação, apresentando um maior e mais entrelaçado número de fibras ao elemento. Como nos ninhos 01 e 02, foram empregados gravetos mais rígidos na periferia da trama. Predomina a barba-de-velho, apesar de consistir de fibras artificiais e naturais, sejam vegetais ou animais. Apresenta complexidade na trama, além de diferenças de densidade entre a parte inferior e superior do ninho.

Os laços e nós que compõe sua trama, mostrados na figura 83 são bastante rígidos e apertados, formando um conjunto notadamente consistente, apesar de seu peso ser inferior aos demais.

Figura 83 - Ninho 04 - fundo do ninho formado por trama mais densa, com fibras mais apertadas se comparadas ao restante da estrutura



Fonte: autor.

A figura 84 mostra a presença de gravetos na composição da trama, além de fibras artificiais.

Figura 84 - Ninho 04 - presença de gravetos na parte externa da trama.



Fonte: autor.

A fêmea do *Cacicus hemorrhous* construiu este ninho com muito cuidado. O engaste do ninho na forquilha, apontado pelas setas azuis, foi executado com fibras bem apertadas. O acabamento da abertura de acesso ao ninho, apontada pela seta vermelhas, teve acabamento diferente das demais amostras, apresentando poucas fibras soltas, conforme apresentado na figura 85.

Figura 85 – Ninho 04: ancoragem e acabamento da borda de entrada do ninho



Fonte: autor.

Funções e processos: os pontos de observação com lupa ótica no ninho 04, foram mapeados na figura 86.

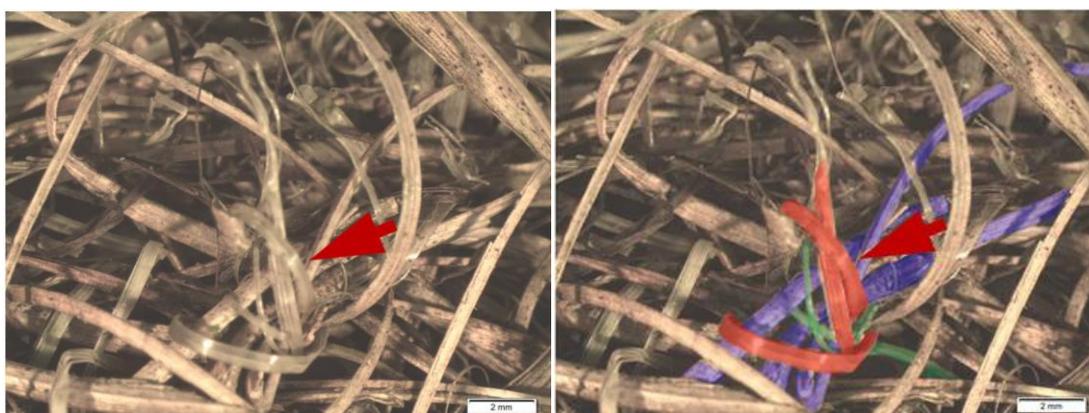
Figura 86 - Ninho 04 - mapeamento dos pontos de observação com lupa ótica.



Fonte: autor.

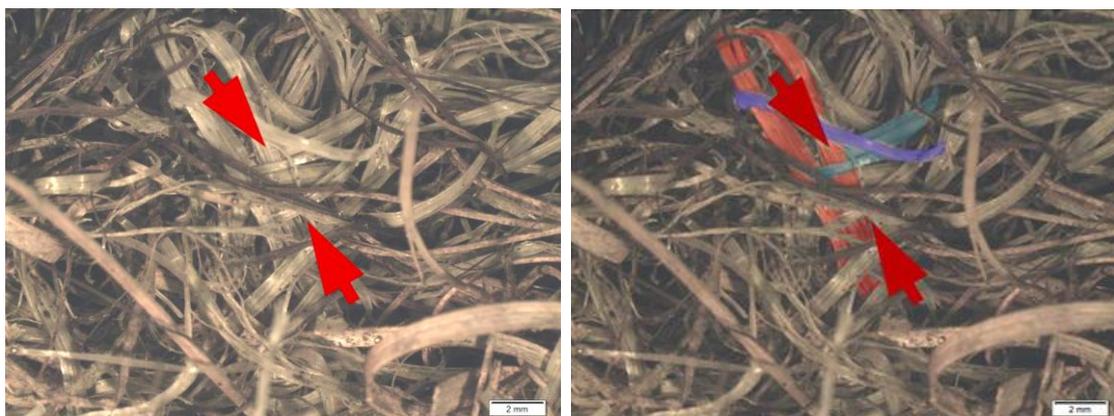
Nas figuras 87, 88 e 89, é possível observar uma peculiaridade na forma com que as fibras foram envolvidas nos pontos 01, 02 e 03 respectivamente. As setas indicam que as fibras foram envolvidas diversas vezes pelos laços. Este procedimento confere maior rigidez ainda à trama.

Figura 87 - Ninho 04 ponto 01: Fibra dá várias voltas ao redor das fibras



Fonte: autor.

Figura 88 - Ninho 04 ponto 03 - Fibra da várias voltas ao redor das fibras



Fonte: autor.

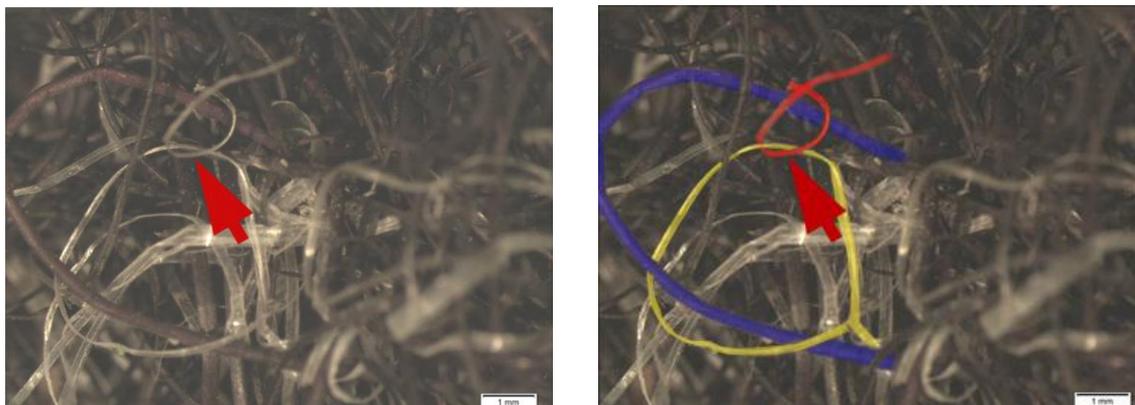
Figura 89 - Ninho 04 pt 04 - vários laços em uma fibra



Fonte: autor.

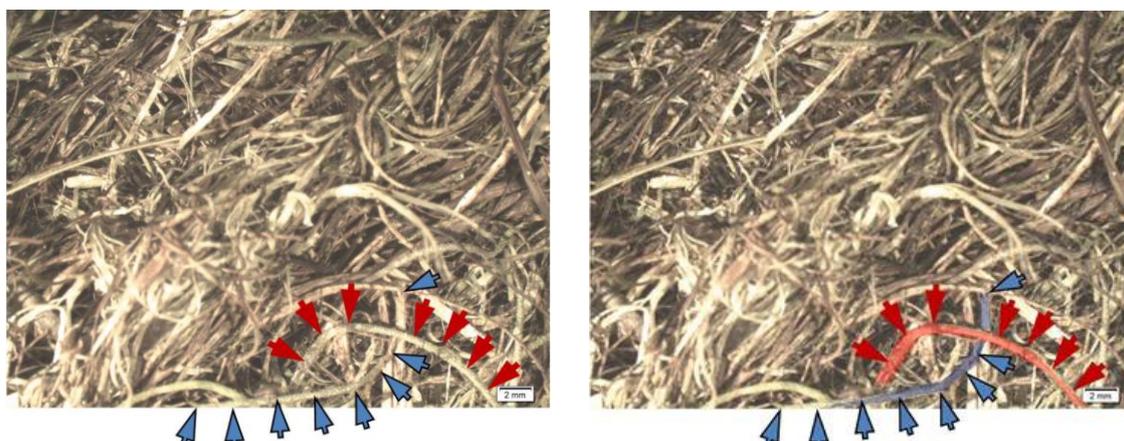
Nos pontos 02 e 05 foi possível verificar o entrelaçamento de duas fibras. Este entrelaçamento tem função de parar uma eventual expansão da trama, dificultando ou evitando sua ruptura, dependendo do esforço que é aplicado na mesma. As figuras 90 e 91 mostram o entrelaçamento.

Figura 90 - Ninho 04 ponto 02 - Entrelaçamento de fibras.



Fonte: autor.

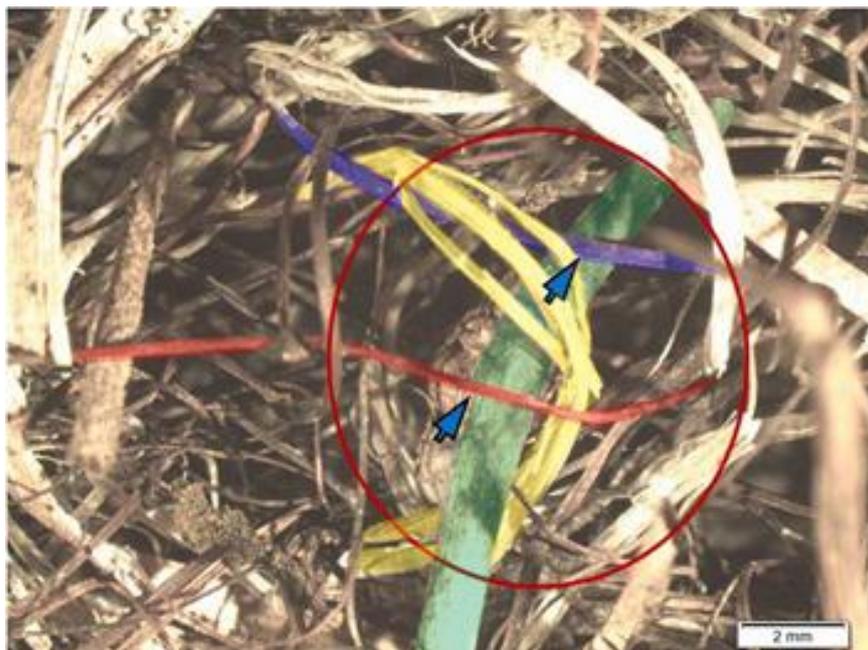
Figura 91 - ninho 04 ponto 05 - Entrelaçamento de fibras.



Fonte: autor.

No ponto 06 foi aplicada tensão por puncionamento de dentro para fora na parede do ninho 04. A figura 93 mostra algumas fibras reagindo ao esforço, provavelmente aquelas que formam laços, dando a volta em outras fibras, não visíveis nesta figura. As fibras que foram envolvidas pelos laços dão ancoragem às que formam os laços, travando o sistema. Nota-se a presença de um graveto. Uma vez que o graveto recebe a tensão das fibras sobre ele, há uma transferência da ação destas, através do graveto, para outros pontos do ninho, que estão sob a força de atuação ou área de influência do graveto, contribuindo para o equilíbrio do sistema. As figuras 92 e 93 mostram, respectivamente, o ponto 06 antes e depois da aplicação do puncionamento.

Figura 92 - Ninho 04 ponto 06 - fibras sem tensão de puncionamento



Fonte: autor.

Figura 93 - Ninho 04 ponto 06 - fibras com tensão de puncionamento

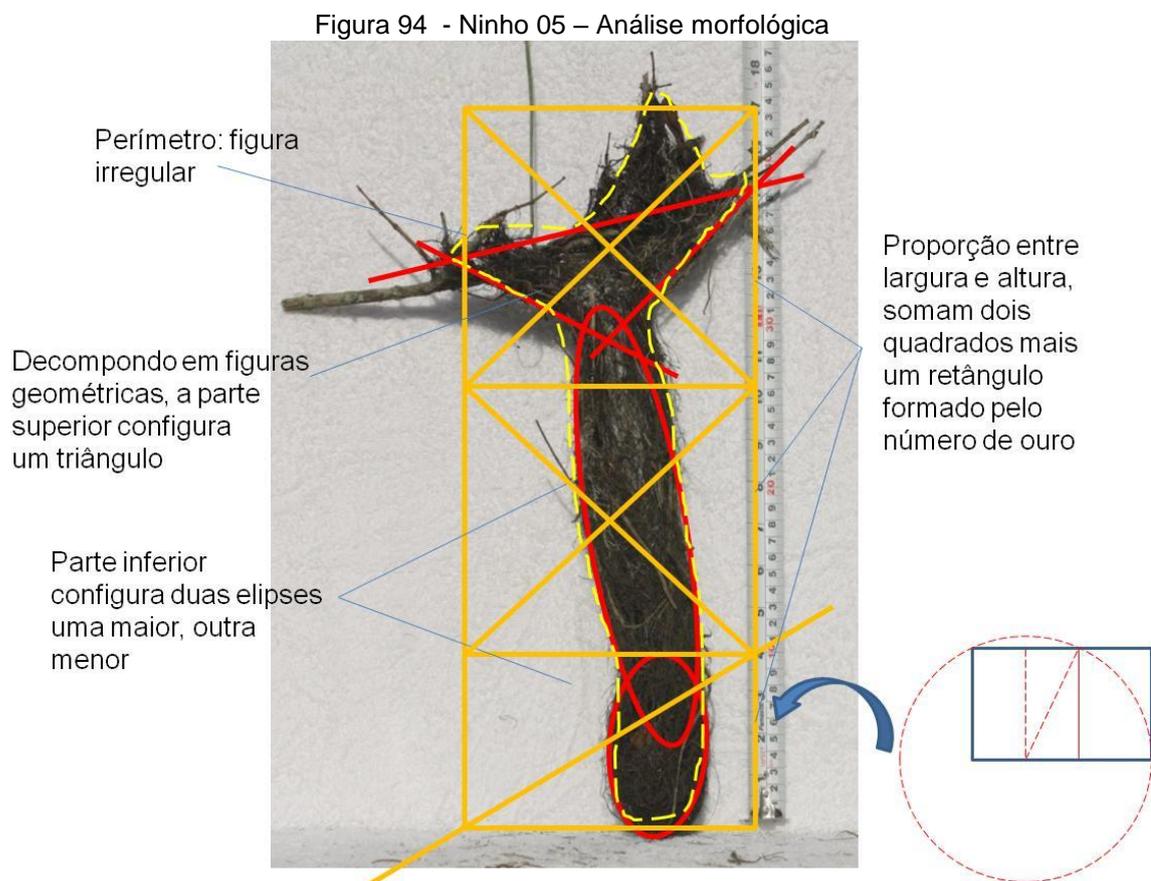


Fonte: autor.

Observação da amostra 05

- Morfologia: o ninho 05 apresenta forma irregular. Ao decompor sua forma, é possível reconhecer um triângulo escaleno na parte superior e duas elipses na parte inferior da figura. A relação entre as duas figuras está em desequilíbrio, sendo a

inferior maior e mais esbelta que a superior. A proporção entre largura e altura é composta pela composição por dois quadrados mais um retângulo formado pelo número de ouro. Das cinco amostras, é a única que apresenta forma mais esbelta. Há dois momentos de estreitamento do ninho. A figura 94 ilustra a análise.



Fonte: Autor

Estrutura: o ninho 05 foi apoiado em uma bifurcação. Assim como os ninhos 01, 02 e 04, foram empregados gravetos mais rígidos na periferia da trama. As fibras, todas naturais, são mais secas e finas que as encontradas nas outras amostras, levando a crer que é o ninho mais antigo. Foram usadas mais fibras animais como crina ou rabo de cavalo em sua construção. Apresenta complexidade na trama, além de diferenças de agrupamento das fibras entre a parte inferior e superior da bolsa. Sua ancoragem foi efetuada em galho bastante rígido, com engastes em vários pontos. Sua trama é bastante complexa e heterogênea, possuindo ramos de várias espessuras. A figura 95 mostra os gravetos mais espessos na periferia, que dão maior rigidez à trama. Percebe-se a uniformidade do estado de conservação dos materiais, nitidamente secos, sem elementos recentes.

Figura 95 – Ninho 05: Fibras secas e finas. Estrutura complementar evidente.



Fonte: autor.

A figura 96 mostra o fundo do ninho 05, onde a trama apresenta maior densidade e rigidez.

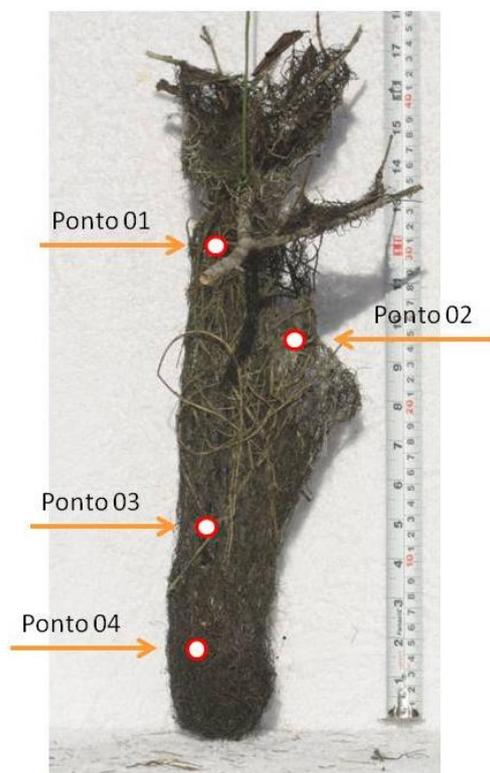
Figura 96 Ninho 05 - Fundo do ninho apresenta maior e mais



Fonte: autor.

Funções e processos: os pontos de observação com lupa ótica no ninho 05, foram mapeados na figura 97.

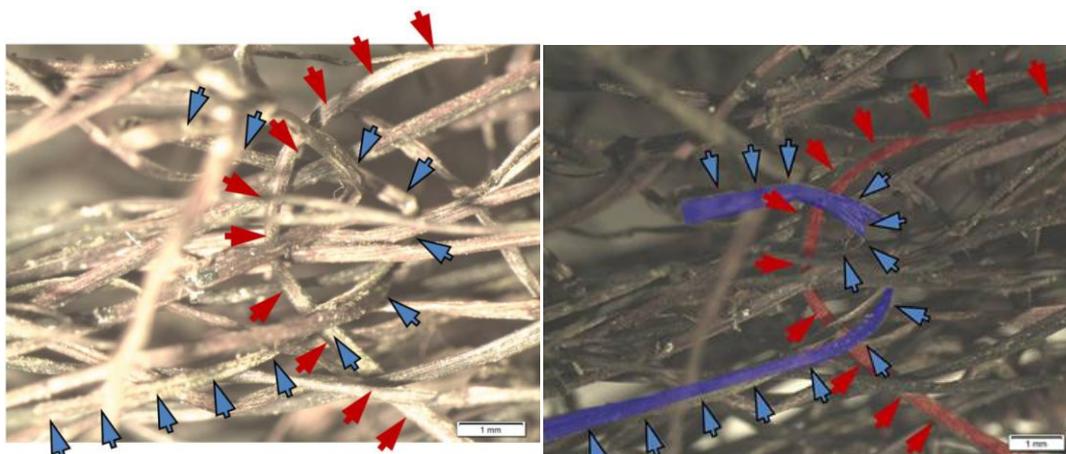
Figura 97 – Ninho 05: mapeamento dos pontos de observação



Fonte: autor.

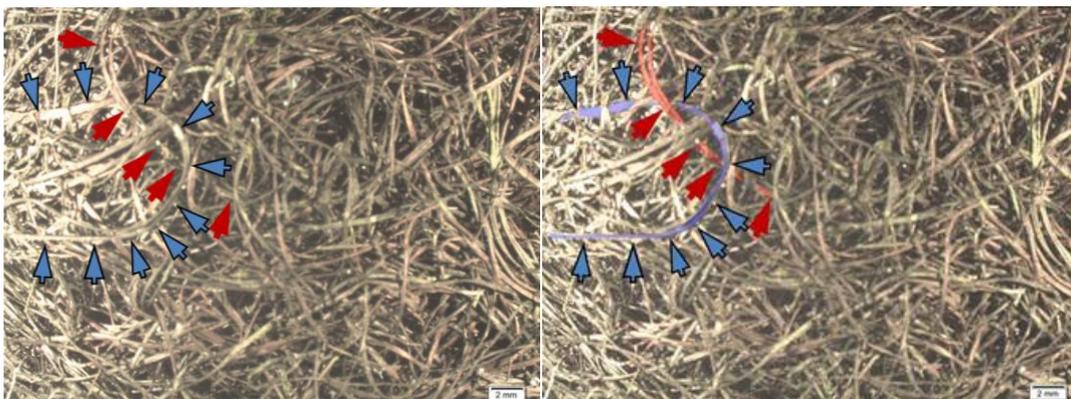
Em função das fibras estarem mais secas e mais finas, foi possível identificar com maior facilidade pontos onde são evidentes o entrelaçamento entre elas. As figuras 98, 99 e 100 mostram pontos onde este tipo de entrelaçamento ocorreu.

Figura 98 - Ninho 05 pt 01 - tramas que se laçam



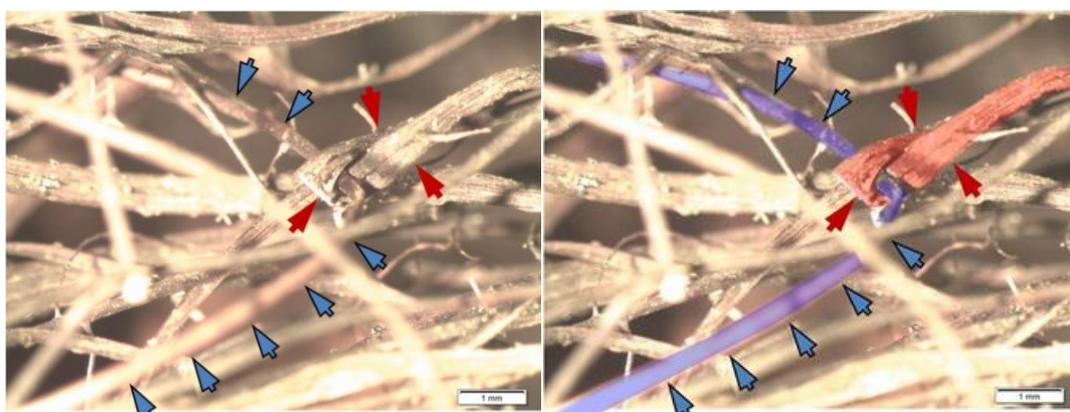
Fonte: autor.

Figura 99 - Ninho 05 ponto 02 - tramas que se laçam



Fonte: autor.

Figura 100 - Ninho 05 ponto 03 - tramas que se laçam



Fonte: autor.

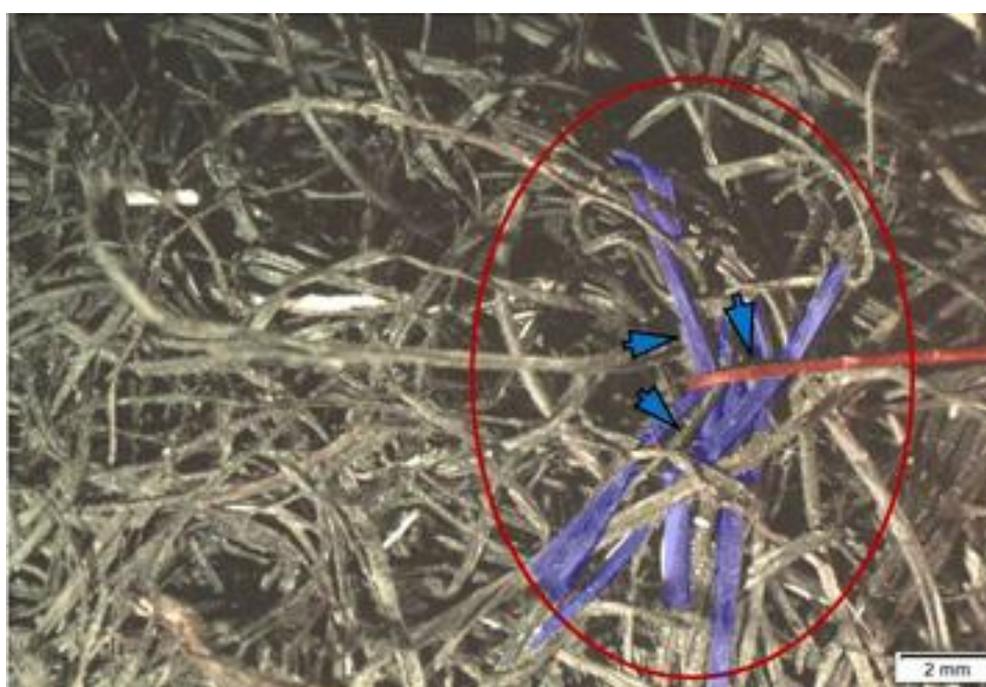
O ponto 05 apresenta claramente a peculiaridade do sistema estrutural dos ninhos de *cacicus haemorrhous*. Uma vez identificado o ponto, uma força foi exercida em um único laço que envolvia um ramo de fibras. A reação ao esforço foi imediata. As figuras 101 e 102 mostram os dois momentos, sem e com tensão no ponto.

Figura 101 - Ninho 05 ponto 05: ramo envolvido pelo laço, sem tensão.



Fonte: autor.

Figura 102 - Ninho 05 ponto 05: ramo envolvido pelo laço, com tensão



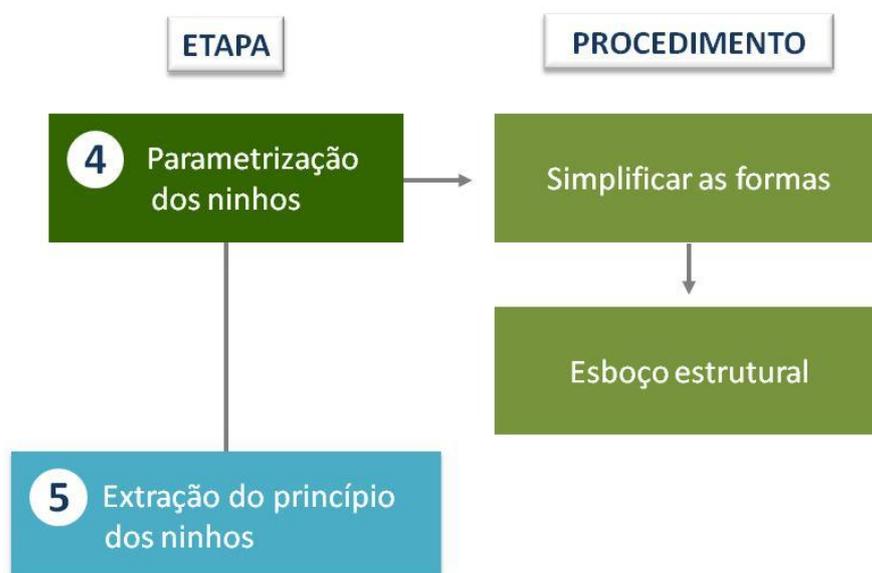
Fonte: autor.

4.1.4 Parametrização

O objetivo desta etapa é reconhecer na pesquisa a solução de um sistema do domínio da biologia, uma solução de um sistema que seja passível de ser aplicada ou transferida para o domínio da engenharia, em trabalhos futuros. Os resultados poderão sofrer variações ou combinados com outros princípios funcionais, por meio de analogias (HILL, 2004), de acordo com as necessidades dos problemas, cujo sistema poderá ser útil. Foram selecionadas as imagens mais relevantes da observação dos ninhos e interpretadas sob o olhar do autor (KINDLEIN et al, 2002) levando em consideração sua experiência (HILL, 2005; EROGLU, ERDEN & ERDEN, 2011) como arquiteto.

Os procedimentos desta etapa consistem em extrair informações peculiares do sistema natural, que poderão ser traduzidas ou transferidas para o sistema artificial. Em seguida, serão delineadas as informações mais relevantes, que serão estudadas e interpretadas. Não se trata de fazer simplesmente uma cópia, o pesquisador pode fazer abstrações durante este processo (HILL, 2005). O uso de croquis pode ser de fundamental importância na comunicação e interpretação dos dados, para que os sistemas sejam melhor visualizados. Esta etapa antecede a etapa de extração do princípio. O esquema conceitual da etapa 4 está representado na figura 105.

Figura 103 - Esquema etapa 4



Fonte: autor.

Os procedimentos da etapa de parametrização foram os seguintes:

- Simplificação das formas: um sistema em forma de rede está bastante evidente nas imagens observadas pela lupa estereoscópica, em virtude da existência do entrelaçamento entre as fibras (figura 104).

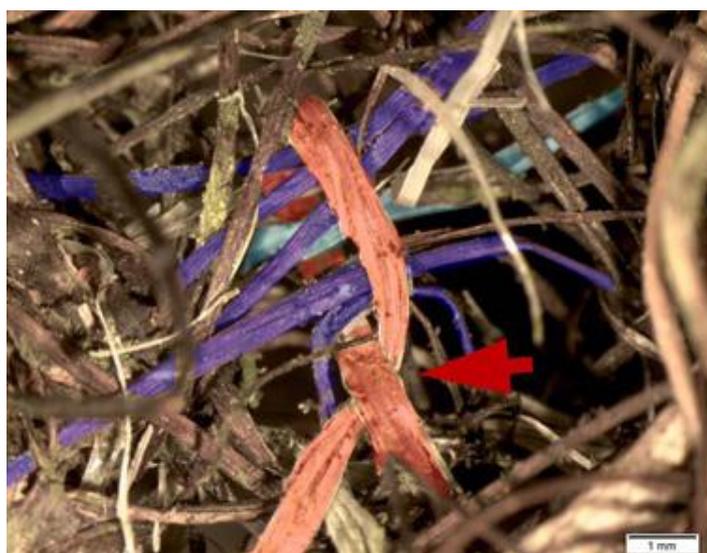
Figura 104 - Trama formada por fibras entrelaçadas



Fonte: autor.

Além de entrelaçadas, aparecem em vários outros pontos, um dispositivo que sugere outro sistema, o laço, envolvendo outras fibras (figura 105).

Figura 105 – Laço envolvendo um conjunto de outras fibras

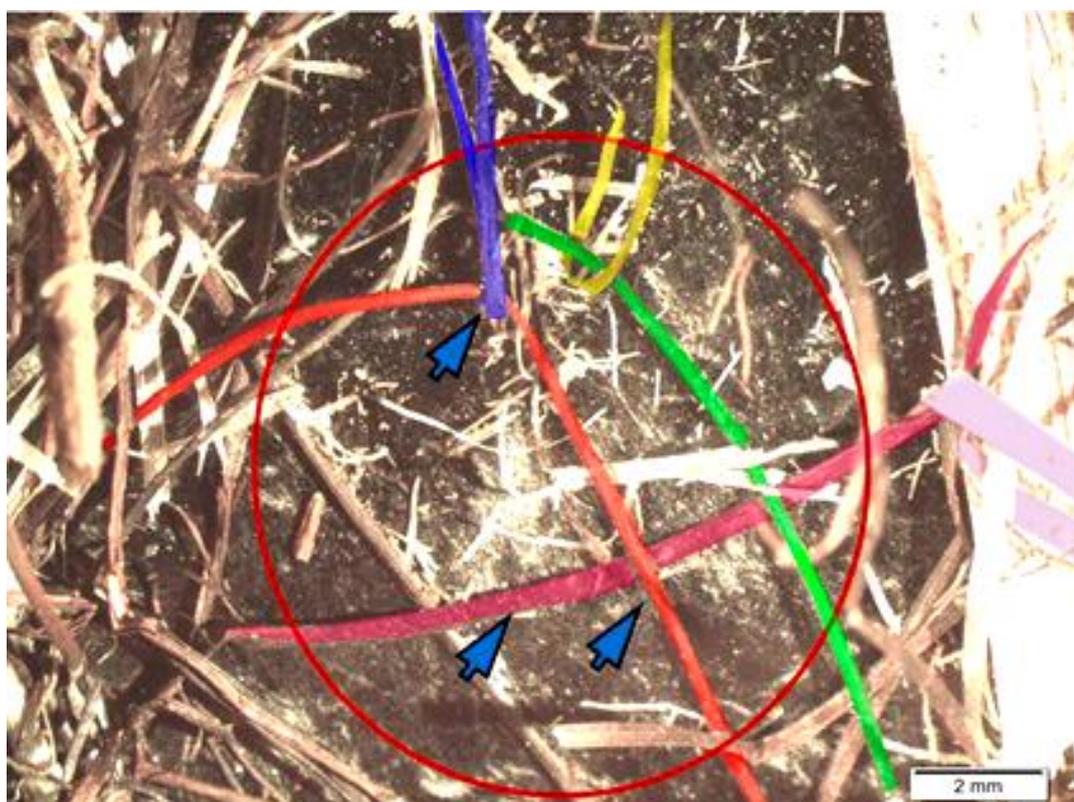


Fonte: autor.

No momento em que a parede do ninho é puncionada pela ave, ovos ou filhotes, o sistema reage, solicitando as demais fibras por transmissão de esforços de tração, que reagem de duas maneiras diferentes:

- a) Distribuindo forças: por serem confeccionadas entrelaçadas, as fibras formam um sistema em forma de rede, distribuindo os esforços para outras fibras, aumentando a capacidade das delicadas fibras resistirem às tensões, conforme ilustra a figura 108.

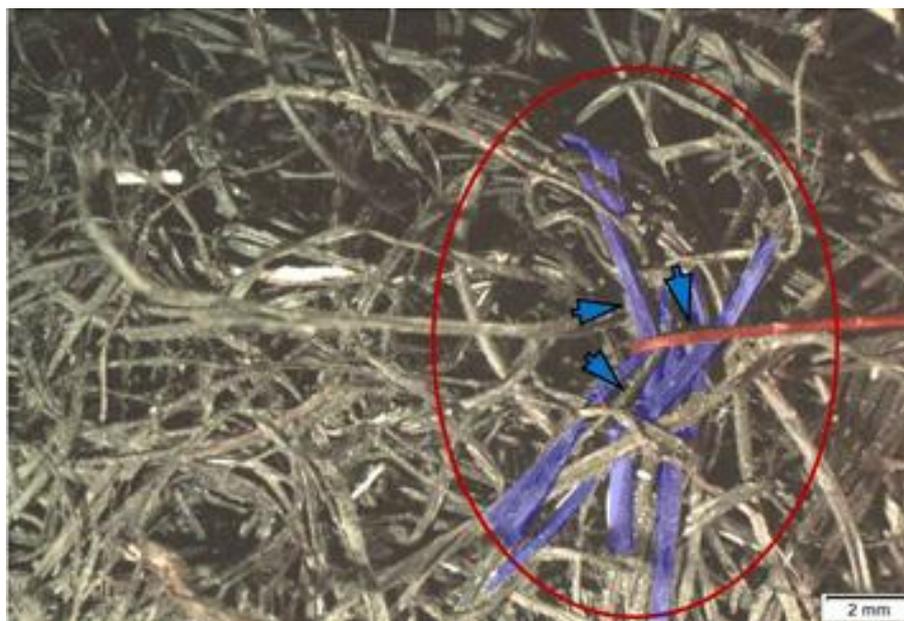
Figura 106 Os esforços são distribuídos entre outras fibras



Fonte: autor.

- b) Unindo forças: as fibras que estão envolvidas pelo laço, oferecem mais resistência à tração, pois aproximam umas das outras, somando-se, aumentando a capacidade de reação do sistema (figuras 109 e 110).

Figura 107 - União de fibras, aumenta capacidade de força.



Fonte: autor.

Figura 108 – reação das fibras que laçam o conjunto, evitando que se abra



Fonte: autor.

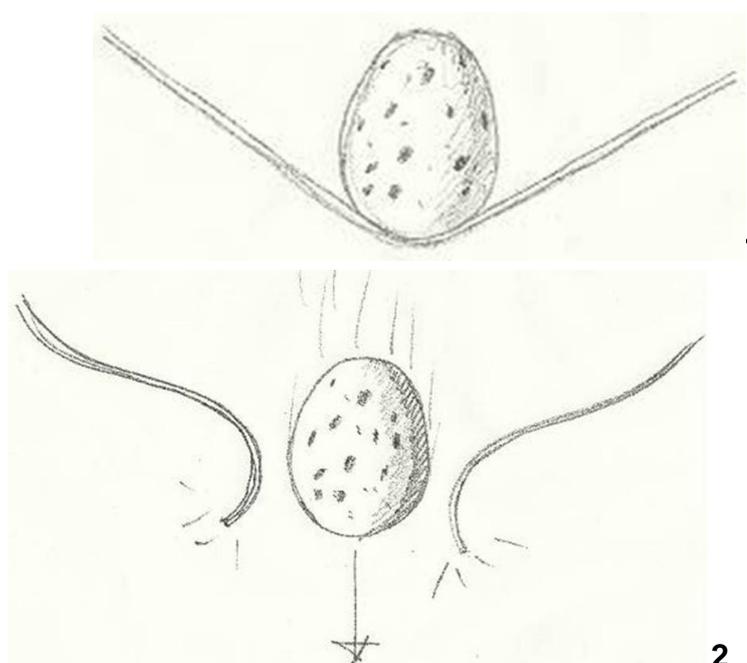
- Esboço estrutural: Para efeito de parametrização, o sistema encontrado nas tramas dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* será comparado ao sistema encontrado nas tramas de pássaros mais comuns presentes na natureza, que consiste apenas no atrito entre as fibras. Estes ninhos são construídos geralmente em lugares onde hajam apoios na parte inferior do mesmo, seja em galhos de árvores, sob forros de

beirais de coberturas, travessas de postes, vigas, entre outros. Apesar de ambos os ninhos serem confeccionados basicamente com o mesmo tipo de material, apresentam resistências supostamente diferentes entre si, ora pela capacidade de resistir ao rompimento das fibras que compõe o sistema (a), ora pelo escorregamento das mesmas (b), caso sejam aplicados nelas, um esforço de punção. O raciocínio é o seguinte:

a) Colapso do sistema, em função do rompimento das fibras

Caso determinada força de tração for aplicada numa fibra vegetal, da qual é feita a maioria dos ninhos dos pássaros, a tendência de romper-se é muito grande, em função do material e do sistema. A figura 109 ilustra a aplicação de determinada força, diretamente em uma fibra vegetal, ou mesmo de material artificial leve, característica fundamental das fibras encontradas nas composições dos ninhos. Dependendo das circunstâncias entre a força e a fibra, ela se romperá. É importante considerar que dependendo do formato cuja força é aplicada à fibra, em vez de romper, ela pode ainda escapar para uma das laterais da forma.

Figura 109 - Vista lateral - a fibra se rompe dependendo da intensidade da tração

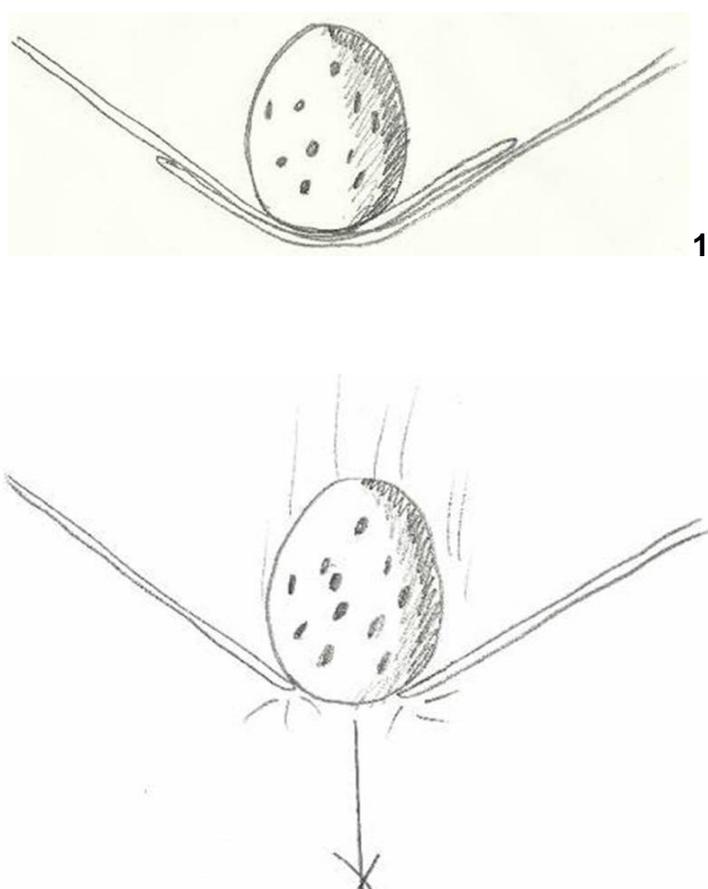


Fonte: autor.

No entanto, o esforço de tração pode ser feito em um sistema, em mais de uma fibra. Nesta circunstância, um sistema resistiria à força (figura 113).

Caso as fibras da composição de um sistema por atrito, não resistirem ao esforço de tração, acabam perdendo a capacidade de resistência, em função do aumento do esforço ou até mesmo pela variação da umidade, que pode comprometer a coeficiente de atrito entre as fibras, rompendo o sistema (Figura 110).

Figura 110 - Vista lateral - Sistema rompe em função da perda de atrito.

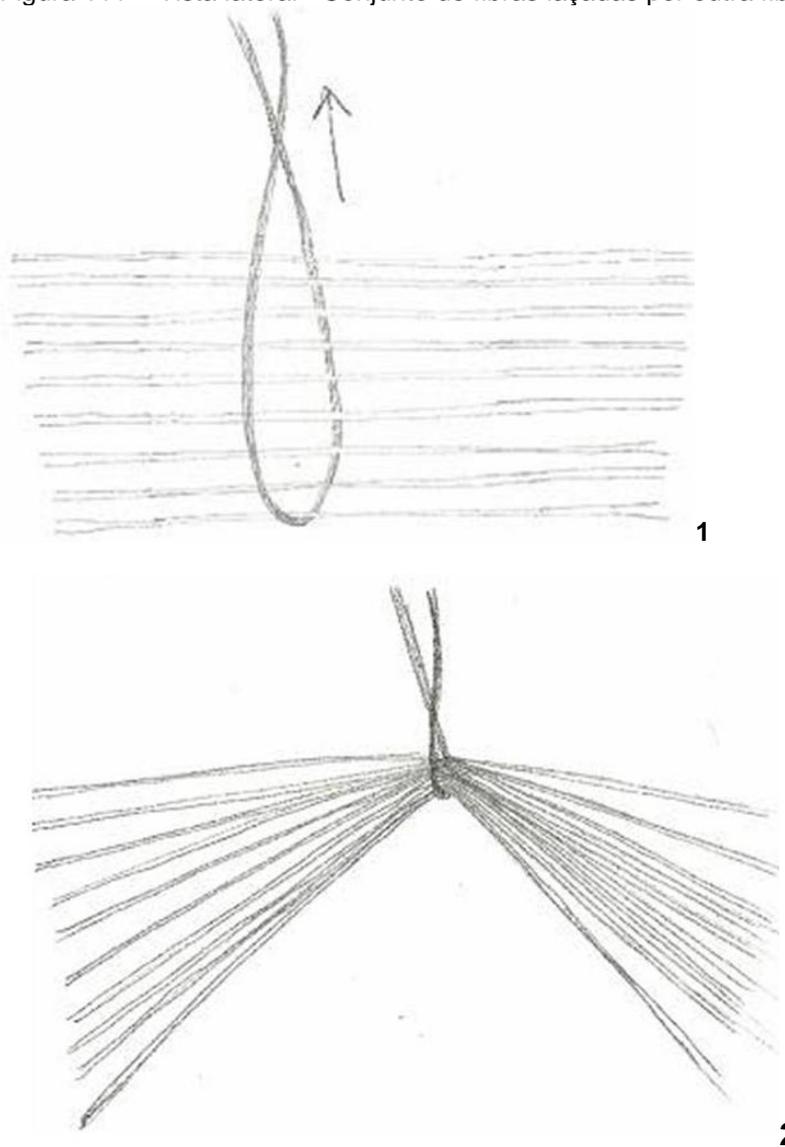


Fonte: autor.

No sistema observado nos ninhos dos *Cacicus haemorrhous* uma série de fibras são envolvidas por outras fibras, em forma de laços (figura 103). Esta forma de tecer a trama confere ao sistema a propriedade de unir as fibras paralelamente, aumentando a capacidade de resistir tanto ao rompimento, visto que somam-se sua capacidade de resistência, como ao escorregamento das fibras pelas laterais, caso o

esforço seja feito com material com formato esférico ou oval, de superfície escorregadia, por exemplo, polida. Quando a fibra que envolve o conjunto é tracionada, o laço entra em ação (figura 111), unindo-as e somando a capacidade individual de reação de cada uma, transformando-as em um sistema. Este procedimento poderia eventualmente ser utilizado na engenharia.

Figura 111 – Vista lateral - Conjunto de fibras laçadas por outra fibra.



Fonte: autor.

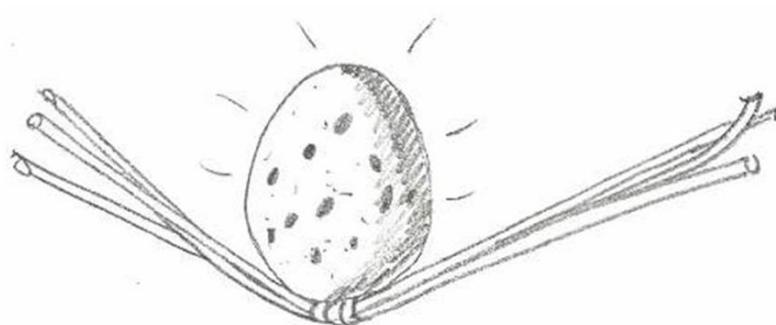
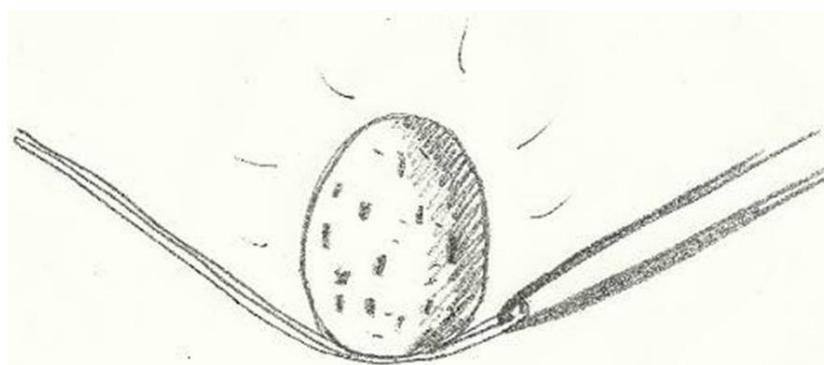
Além das fibras envolvidas por laços, a trama apresenta fibras entrelaçadas entre si próprias, caracterizando um sistema em rede, que tem como propriedade

distribuir os esforços solicitantes em um ponto, para outros que estejam na área de influência da rede da qual faz parte.

A partir destas propriedades encontradas no sistema estrutural das tramas dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, supõe-se que as mesmas forças aplicadas para os ninhos de tramas estruturadas por atrito, (grupo X) poderão apresentar resultados diferentes (grupo Y).

Caso uma força seja exercida sobre um ponto da estrutura, tração por meio de punção, supõe-se que o sistema possa ora distribuir o esforço para outros pontos e fibras (figura 117), ora auto travar-se, unindo as fibras, enrijecendo o sistema e impedindo que rompa ou entre em colapso (figura 112).

Figura 112 - Vista lateral - Força é distribuída na rede



2

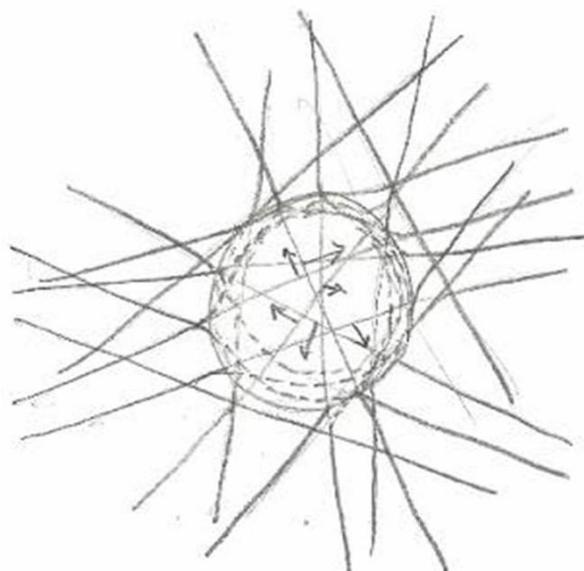
Fonte: autor.

a) Colapso do sistema em função do escorregimento das fibras.

Em uma trama caótica comum (grupo X), as fibras são estruturadas apenas pelo atrito. Caso haja um esforço de punção, o sistema entrará em colapso pois as fibras tendem a ceder por não possuírem nenhum mecanismo de reação e este tipo

de força. Supostamente, caso o puncionamento for exercido por material polido e de forma hemisférica ou oval, as fibras tenderão a deslizar para a periferia do mesmo, enquanto uma força por aplicada (figura 113).

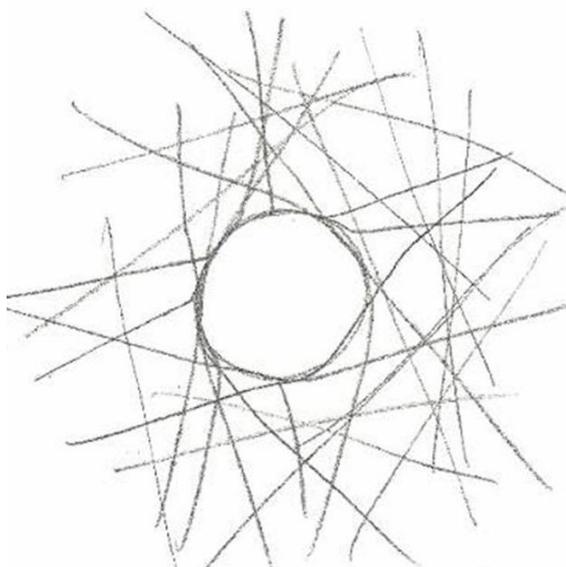
Figura 113 - Vista inferior - sistema não impede que as fibras escorreguem para a fora.



Fonte: autor.

Por serem apoiados sobre galhos ou outras superfícies, este tipo de trama, encontradas na maioria dos ninhos, supostamente não apresenta um sistema que o impeça de entrar em colapso, caso seja solicitado, por puncionamento. Provavelmente a resistência estaria diretamente relacionada apenas à quantidade de fibras ou mais exatamente à soma das áreas de superfícies do conjunto que estariam atuando, no ponto de punção, suportando os esforços solicitantes (Figura 114).

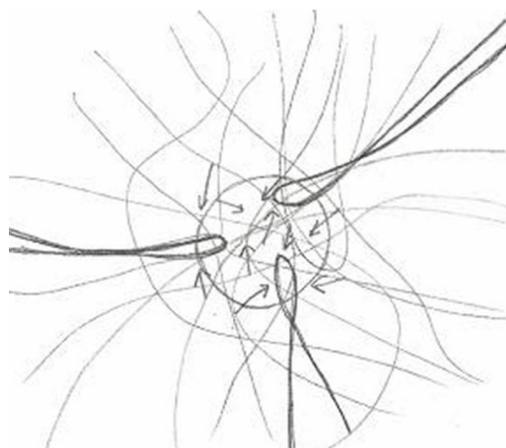
Figura 114 - Vista inferior - punção supostamente



Fonte: autor.

Supõe-se que o sistema observado nos ninhos dos *Cacicus haemorrhous*, seja mais resistente ao puncionamento, em função dos laços, que fariam o sistema reagir, unindo as fibras. A figura 121 ilustra os laços, representados pelas linhas mais escuras, que encontram-se em repouso.

Figura 115 - Punção penetra com mais dificuldade no sistema.

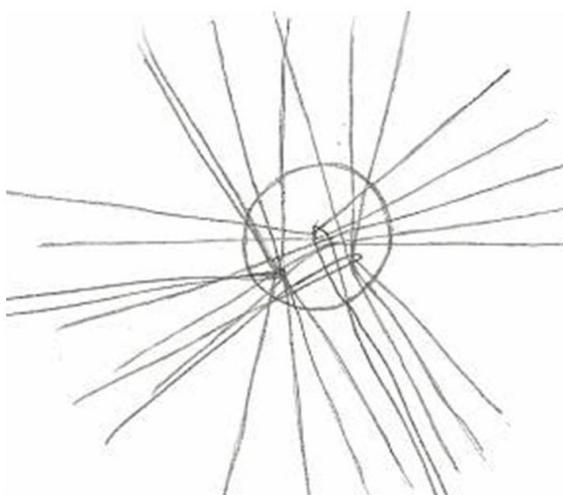


Fonte: autor.

Enquanto as forças perpendiculares à trama, exercidas pelo punção hemisférico, empurrariam as fibras para as laterais do mesmo, supostamente, os laços as uniriam, criando resistência, impedindo que as fibras se deslocassem para fora (figura 116). Este fenômeno foi observado nos ninho do *Cacicus*

hamorrhous em função de estarem pendurado na ponta dos galhos, por questões de defesa, para que não se rompam ou se abram com a movimentação da fêmea durante a construção dos ninhos, incubação dos ovos e alimentação dos filhotes. Não há como prever quais fibras serão solicitadas, no entanto, foi observado que o fundo dos ninhos apresentam maior densidade de fibras e laços que o restante do ninho.

Figura 116 - Sistema reage de forma contrária á força exercida pelo punção.



Fonte: autor.

4.1.5 Extração do Princípio

Nesta etapa, será proposto o princípio funcional do sistema estrutural da trama dos ninhos de *Cacicus haemorrhous*. O objetivo é sintetizar os resultados do método de observação (Figura 117), para que possam ser estudados e comprovados a partir de ensaios laboratoriais, sua pertinência e possível eficácia.

Figura 117 - Esquema etapa 5



Fonte: autor.

As tramas dos ninhos de *cacicus haemorrhous*, supostamente apresentam maior resistência que as tramas dos pássaros mais comuns em função de duas propriedades:

a) Distribuição de forças:

A conexão deslizante de cabos entrelaçados entre si, distribuem os esforços em função da distribuição dos esforços entre eles, aliviando a tração num único ponto, dando mais resistência ao conjunto.

b) União de forças:

Os laços impedem que as fibras se espalhem quando submetidas a esforço exercido por corpo hemisférico, aumentando a capacidade da trama de resistir ao colapso por escape ou escorregamento das fibras, abrindo a trama. Esta propriedade aumenta a capacidade de resistência ao rompimento da trama por abertura.

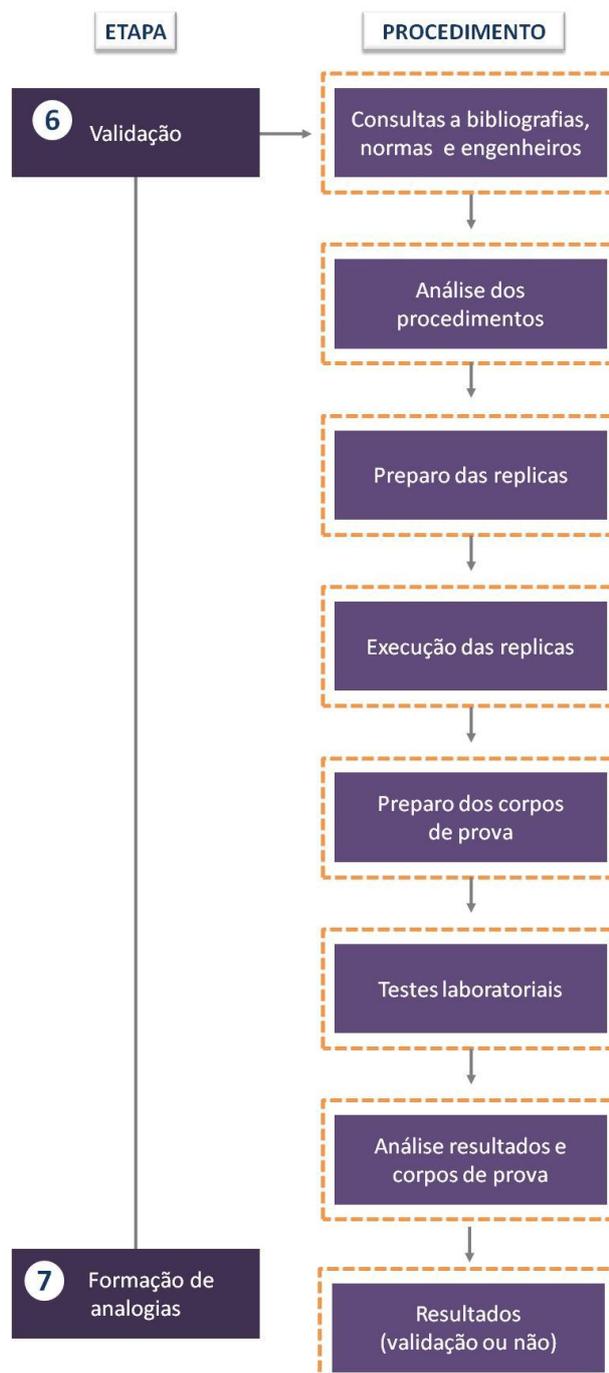
Para que as suposições feitas na parametrização sejam comprovadas, faz-se necessário a execução de ensaios em laboratório, construindo tramas artificialmente, replicando as características dos sistemas naturais, submetendo-as, testando corpos de prova sob tração de puncionamento, ora com punções hemisféricas, para conferir resultados a respeito da capacidade de escorregamento das fibras de ambos os sistemas, ora para conferir resultados a respeito do

rompimento da trama por punção plano. As análises dos resultados poderão dar validade ao sistema percebido na etapa de observação do sistema, ou não.

4.2 VALIDAÇÃO

O objetivo desta etapa é comprovar através de testes de laboratório, a validade dos resultados atingidos na aplicação dos procedimentos metodológicos propostos, para a extração do princípio funcional do sistema estrutural dos ninhos de *Cacicus haemorrous*. O esquema gráfico dos procedimentos da etapa de validação são apresentados na figura 118. Apesar de ter sido baseada nos procedimentos da NBR 13359/95, a construção das réplicas foi empírica. Por este motivo, as figuras que representam os procedimentos, apresentam linha tracejada ao redor, ou seja, por não acompanhar um método ou procedimento testado anteriormente.

Figura 118 - Esquema gráfico dos procedimentos da validação



Fonte: autor.

4.2.1 Consulta a Bibliografias, Normas e Engenheiros

O teste de funcionamento realizado para a validação dos resultados da fase 1, observação, foram baseados na norma NBR 13359/95. Através de consultas realizadas junto a engenheiros da área de mecânica, foi possível delinear as normas

e os equipamentos necessários para a eleição do tipo de teste a ser realizado para validação. Consulta ao fabricante de Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda (EMIC), foi efetuada para confirmação dos procedimentos e normas a serem seguidas.

4.2.2 Análise dos Procedimentos

O teste definido pela NBR 13359/95 prevê que o teste seja feito com pistão com base plana, para ensaios em mantas geotêxteis não tecidos. No entanto, em função de características das tramas dos ninhos de *Cacicus hemorrhous*, outro modelo de pistão, além daquele de acabamento plano, foi proposto.

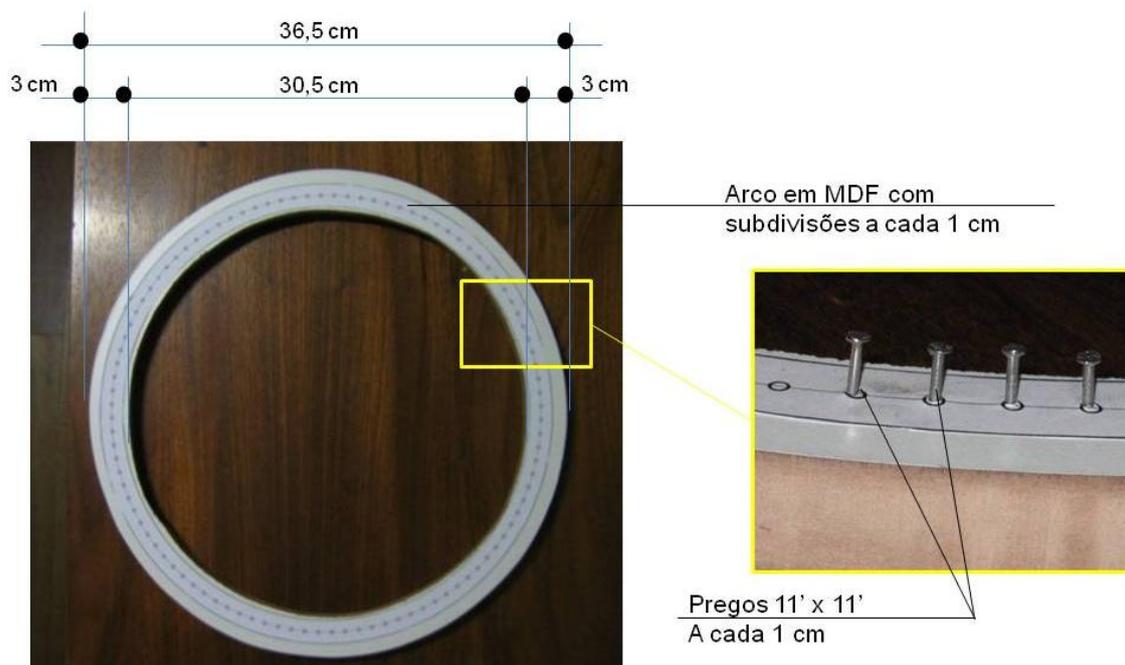
Através de testes de puncionamento com dois diferentes tipos de pistões, foi possível observar o comportamento do sistema em laboratório, além de medir a resistência do sistema artificial, observado na trama do *Cacicus haemorrhous*. Para efeito de parametrização dos resultados dos ensaios, foram executadas réplicas artificiais da trama dos pássaros mais comuns, encontrados na natureza (grupo X), cujas tramas se estruturam apenas pelo atrito e réplicas artificiais (tipo 0.0) dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* (Grupo Y), com duas variações de quantidades de laços (tipos 2.0 e 4.0), para medir as variações de resistências em cada uma delas e compará-las.

O teste de puncionamento foi efetuado no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Do Estado de Santa Catarina (UDESC). O laboratório possui o equipamento e condições necessárias para as atividades. As condições ambientais de umidade e temperatura foram inspecionadas antes de iniciar os testes.

4.2.3 Preparo e Execução das Réplicas

As réplicas foram tecidas em um arco de 36,5 cm de diâmetro externo e 30,5 cm de diâmetro interno. No eixo do perfil retangular do arco, foram instalados 100 pregos 11" x 11". A figura 119 mostra o arco.

Figura 119 Arco para confecção das réplicas dos ninhos



Fonte: autor.

As réplicas foram tecidas com fio de poliamida 0.25 mm de espessura, conforme os procedimentos indicados no capítulo 3, seção 3.4.4, que aborda o tema de procedimentos das tramas dos corpos de prova. Para efeito de ilustração, foi tecida uma réplica tipo XX, em lã cor cinza, para melhor visualização do resultado da confecção, visto que os fios de poliamida são transparentes e difíceis de visualizar em fotografia, inclusive em função de sua espessura. A figura 120 mostra o resultado da trama aleatória.

Figura 120 - Trama aleatória tipo XX, confeccionada em lã

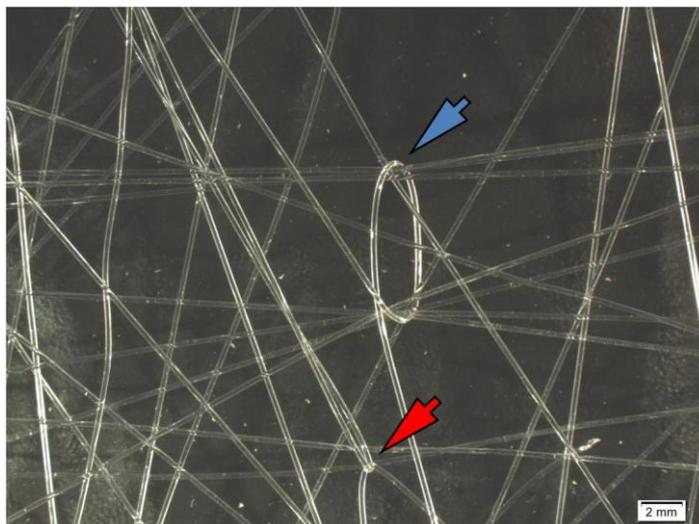


Fonte: autor.

As réplicas do grupo Y somam um total de 30 unidades e foram todas confeccionadas a partir de réplicas tipo 0.0. As tramas tipo 0.0 consistem em tramas feitas com fibras entrelaçadas, sem a inserção de laços, conforme apresentado no capítulo 3, item 3.4.4. Após a confecção das 30 tramas 0.0, em 10 unidades foram inseridos 13 laços com 2,0 m de fio de poliamida, passando a ser denominadas 2.0. Em outras 10 réplicas restantes, 26 laços foram inseridos com 4,00 m de fio, passando a ser denominadas, 4.0. A diferença entre as tramas 0.0 e as demais 2.0 e 4.0 é a presença de laços. A diferença entre as tramas 2.0 e 4.0 é a quantidade de laços.

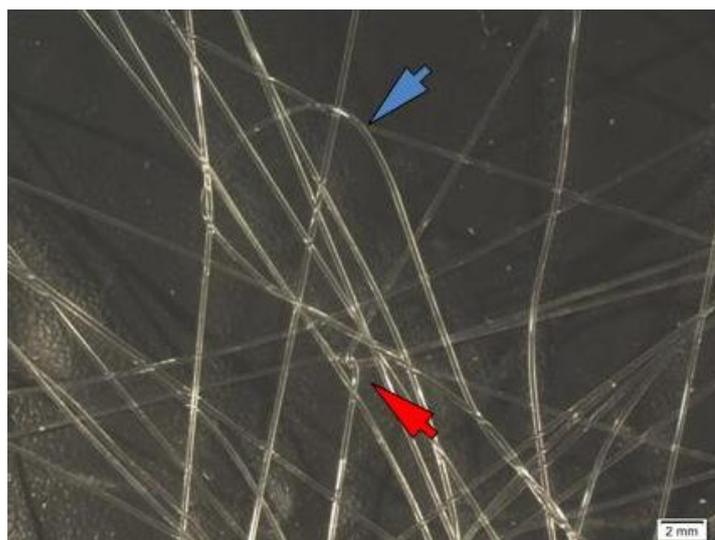
Imagens mostrando detalhes das do tramas 2.0 e 4.0, são apresentados nas figuras 121 e 122. As setas azuis apontam os laços, enquanto as setas vermelhas apontam os entrelaçamentos entre fibras.

Figura 121 - Características das tramas 2.0



Fonte: autor.

Figura 122 - Características das tramas 4.0



Fonte: autor.

4.2.4 Preparo dos Corpos de Prova

Depois de confeccionadas as réplicas, dois aros menores em MDF 10 mm foram fixados nas partes de trás e da frente da mesma. Foi passado cola branca de madeira em ambas as superfícies e pregados entre si, para reforçar e acelerar a união. Um estilete foi passado entre o aro de confecção da réplica e o arco do corpo de prova para liberar o arco para confecção de outra. No total 40 unidades de corpos

de prova foram executados, 10 de capa um dos 4 modelos dos 2 grupos X e Y. A figura 123 mostra a etapa.

Figura 123 - Réplica com suporte para corpo de prova.



Fonte: autor.

4.2.5 Testes Laboratoriais

Os ensaios para determinar a resistência dos corpos de prova que representam dos grupos X e Y de réplicas, foram realizados conforme a norma NBR 13359/95. Foram realizados 5 ensaios para cada um dos dois tipos de pistões. O dinamômetro utilizado foi da marca EMIC, modelo DL 30000 M (figura 124); Célula Trd 25. O método de ensaio utilizado, compressão com velocidade constante de 20 mm/s, com ruptura CDP.

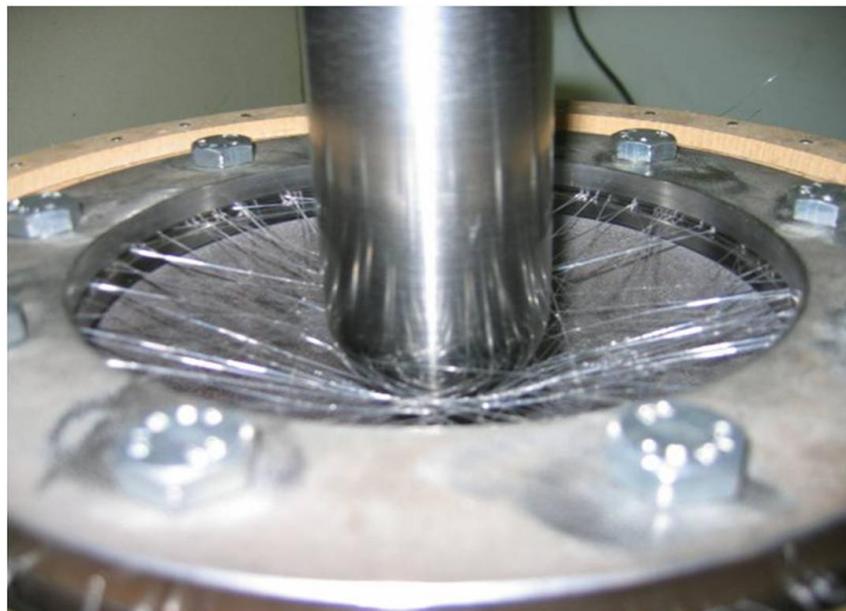
Figura 124 - Dinamômetro utilizado no ensaio



Fonte: autor.

A pré-carga aplicada no corpo de prova foi de aproximadamente 1% da força total aplicada. Iniciada a penetração, o pistão é parado após automaticamente a ruptura da trama (figura 125).

Figura 125 - Teste de puncionamento com pistão hemisférico



Fonte: autor.

Ao término do ensaio, o *software* Tesc 1.13 acoplado ao dinamômetro, fornece valores de tensão de ruptura, tanto resistência individual como a média dos cinco ensaios por pistão; desvio padrão; coeficiente de variação e valores mínimos e máximos. Além dos dados numéricos, é apresentado gráfico constando a carga em Kg e a distância de penetração em mm.

4.2.6 Análise dos Corpos de Prova

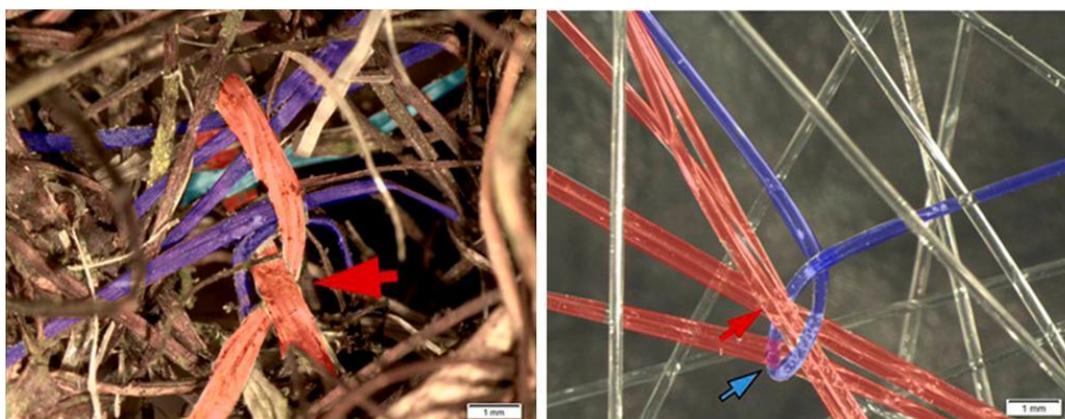
Após a penetração dos pistões nos corpos de prova, foram feitas observações nas tramas na lupa stereoscópica, para avaliar se os laços e os entrelaçamentos tinham reagido aos esforços. O fio de poliamida quando tracionado apresenta elasticidade. Porém, quando as tensões chegam ao limite de ruptura, apresentam escoamento que são representados pela deformação da seção transversal do fio. Nas análises das imagens feitas na lupa stereoscópica, pontos achatados nos fios de poliamida revelarão que houve sollicitação da área observada, em função da presença de pontos de escoamento nas fibras.

Foram observadas as condições em que se encontraram os laços e depois de aplica força. As observações dos corpos de prova foram comparadas às observações feitas nos próprios ninhos. As imagens 126, 127, 128 e 129

apresentam características similares entre as situações observadas nas amostras naturais e as amostras artificiais.

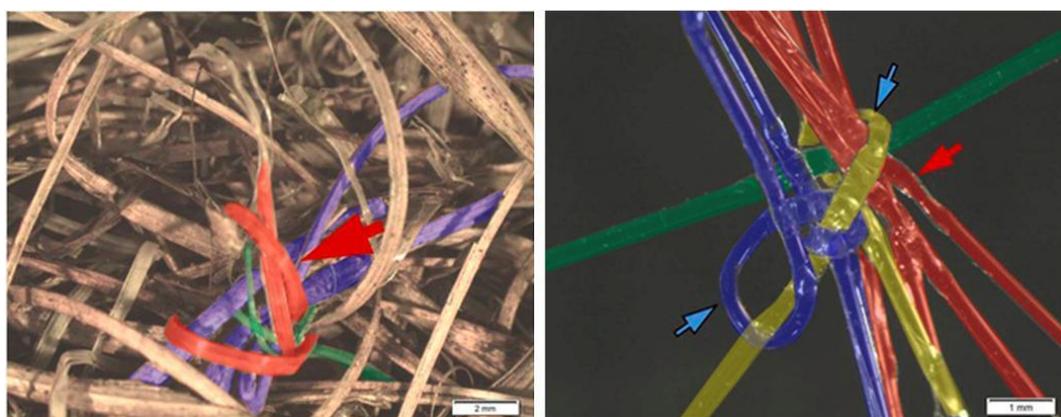
As imagens deixam claro que quando submetidas ao puncionamento, os laços se fecham e unem os fios que estavam 100% das amostras analisadas, mas não em 100% dos laços existentes. Não foi possível estabelecer procedimento preciso a respeito dos laços que foram e que não foram solicitados, em função das propriedades do fio utilizado, que em alguns casos, volta à sua condição anterior de repouso, sem deixar vestígios de aperto das fibras que envolveram. No entanto, os resultados numéricos dos ensaios comprovam que as tramas do grupo Y ofereceram resistência maior ao punção que as tramas XX, na média de todos os testes, com ambos os formatos de pistão. As análises dos resultados numéricos serão apresentadas na próxima seção.

Figura 126 - Laço envolvendo fibras



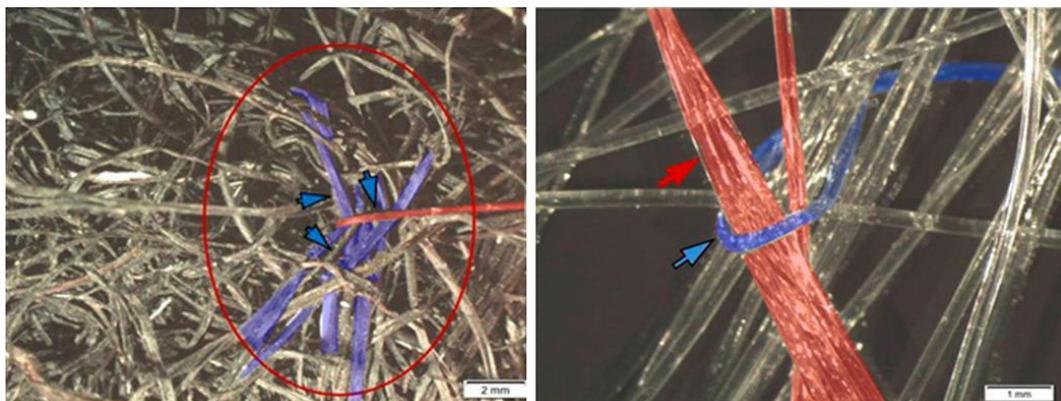
Fonte: autor.

Figura 127 - Laço envolvendo fibras



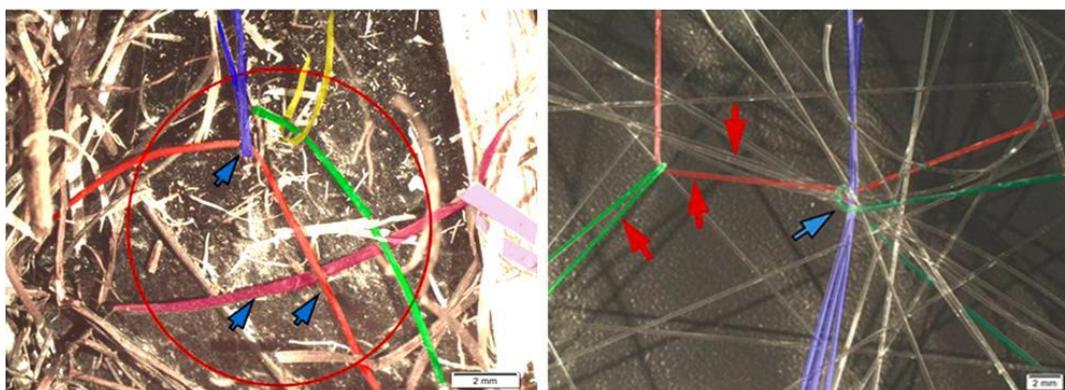
Fonte: autor.

Figura 128 - Laço envolvendo fibras



Fonte: autor.

Figura 129 - Solitação das fibras adjacentes, em função do entrelaçamento



Fonte: autor.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO

Neste capítulo serão apresentados os resultados do ensaio laboratorial. O objetivo é observar o comportamento das amostras artificiais dos ninhos de *Cacicus haemorrhous* e validar a extração do princípio funcional da estrutura dos ninhos, observados na fase 01. Os resultados serão divididos em duas etapas, (1) análise das imagens dos corpos de prova observadas depois dos testes de puncionamento, na lupa estereoscópica e; (2) análise dos dados estatísticos dos testes de puncionamento disponibilizados pelo *software* 1.13 do dinamômetro.

5.1 ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA

Após a penetração dos pistões nos corpos de prova, foram feitas observações através da lupa estereoscópica nas tramas, para avaliar o comportamento do sistema estrutural replicado, frente aos esforços de puncionamento.

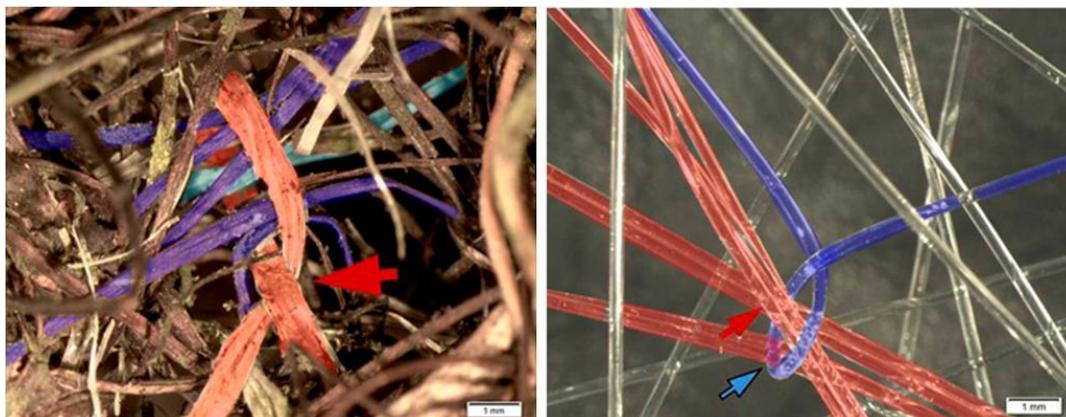
O fio de poliamida quando tracionado apresenta elasticidade. Porém quando as tensões o levam ao limite de ruptura, apresentam escoamento, que são representados pela deformação da seção transversal do fio. Nas análises das imagens feitas na lupa estereoscópica, pontos achatados nos fios de poliamida revelam que houve sollicitação da área observada, em função da presença de pontos de escoamento nas fibras.

Foram observadas as condições em que se encontrou o sistema, a partir dos laços em função da força aplicada. As observações dos corpos de prova foram comparadas às observações feitas nos próprios ninhos. As figuras 130, 131, 132 e 133 apresentam características similares entre as situações observadas nas amostras naturais e as amostras artificiais.

As imagens permitem perceber que quando submetidos ao puncionamento, os laços se fecham e unem os fios que estavam envolvidos por eles. Em 100% das amostras analisadas, foram observados laços fechados, unindo os fios. Apesar disso, foi observado que alguns laços não apresentavam sinais de reação. Não foi possível estabelecer precisão a respeito dos laços que foram e os que não foram sollicitados, em função das propriedades do fio utilizado, que em alguns casos, volta

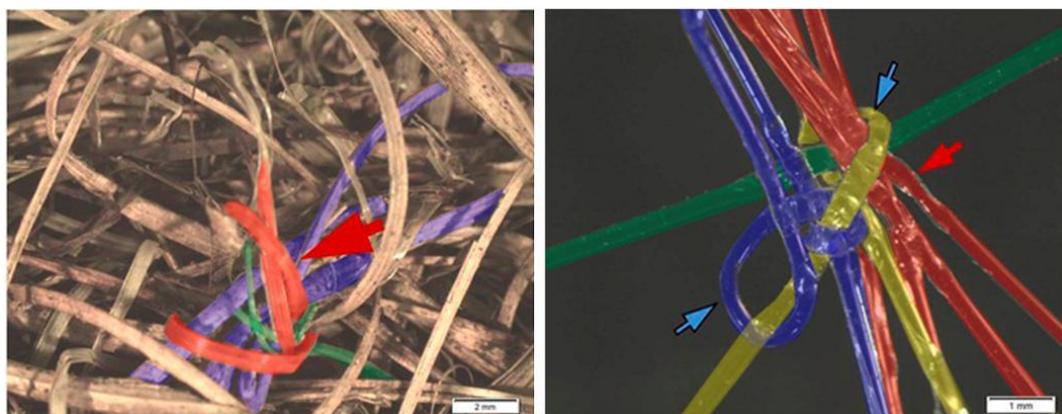
à sua condição anterior de repouso, sem deixar vestígios nas fibras. Setas indicam laços, fibras e entrelaçamentos existentes tanto nas amostras naturais quanto nas artificiais.

Figura 130 - Laço envolvendo fibras



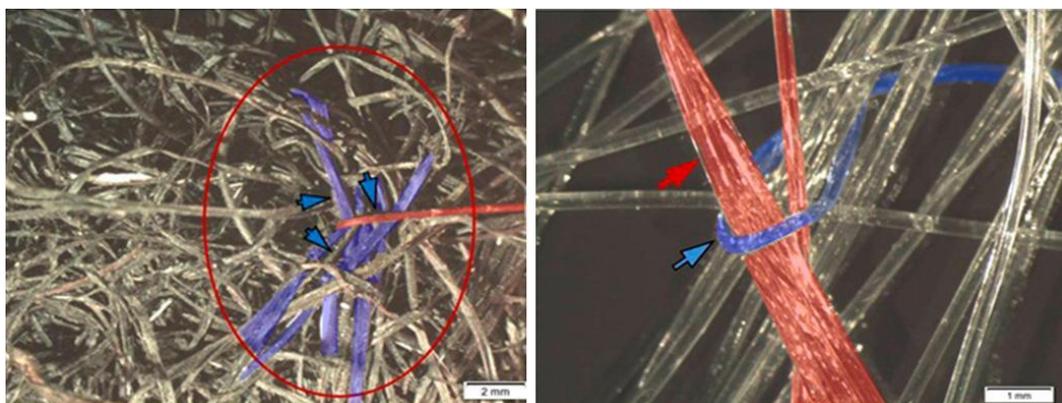
Fonte: autor.

Figura 131 - Laço envolvendo fibras



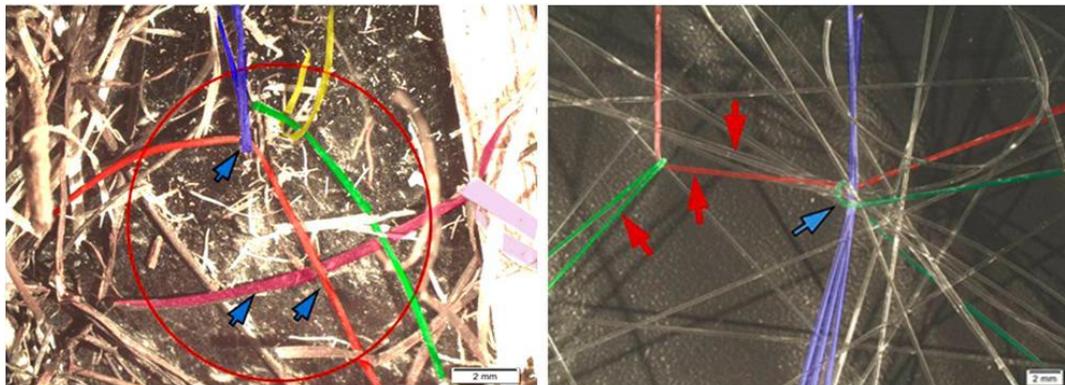
Fonte: autor.

Figura 132 - Laço envolvendo fibras



Fonte: autor.

Figura 133 - Solitização das fibras adjacentes, em função do entrelaçamento



Fonte: autor.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Na etapa de parametrização do método de extração do princípio, apresentada no item 4.1.4, foram apontadas duas propriedades diferentes observadas nos ninhos de *Cacicus haemorrhous*, quando comparadas a ninhos de pássaros comuns. Estas propriedades serviram de parâmetros para a extração do princípio funcional do sistema de estrutura e, por consequência, também para os testes efetuados na etapa de validação, onde as réplicas das características dos dois tipos diferentes de trama foram testadas.

As características destas propriedades dizem respeito à resistência ao colapso do sistema pelo rompimento das fibras quando submetido ao puncionamento, teste efetuado com pistão de base plana, e colapso do sistema pelo escorregamento das fibras quando submetido ao puncionamento, efetuado com pistão de base hemisférica. Serão apresentados resumos das médias dos resultados, que são apresentados completos e individualmente no apêndice A.

5.2.1 Resultados dos Testes com Pistão Hemisférico

Os dados foram obtidos levando em conta as variações de grupos e tipos de amostras, bem como os tipos de pistões. Os dados serão analisados a partir dos resultados gerados pelo *software* Tesc1.13 e apresentados em forma de médias, em gráficos comparativos. A tabela 03 expõe os dados referentes a cada uma das amostras testadas, com respectivas médias dos resultados dos esforços de

puncionamento com pistão hemisférico e desvio padrão em Kg. O coeficiente de variação do desvio padrão é apresentado em porcentagem.

As tramas do grupo X, apresentaram resistência média de 33,36 Kg, enquanto as tramas 0.0 do grupo Y apresentaram resistência de 52,43 Kg, em função do sistema de entrelaçamento das fibras. Além disso, foi constatado que as tramas 2.0 e 4.0, que apresentavam além do entrelaçamento das fibras, a inserção de laços, resistiram ainda mais (79,29 e 104,30 Kg respectivamente). A resistência das tramas ao colapso pelo escorregamento das fibras aumenta conforme aumenta a inserção de laços no sistema. A tabela 3 apresenta os dados das médias dos esforços, desvios padrões e os coeficientes de variação dos ensaios para pistão hemisférico.

Tabela 03 - Resumo dos resultados do puncionamento hemisférico

Ninhos	Punção Hemisférico (Kg)	Desvio Padrão (Kg)	Coeficiente de Variação (%)
XX	33,36	20,01	60%
00	52,43	16,95	32%
22.0	79,29	27,88	35%
44.0	104,30	18,09	17%

Fonte: autor

O aumento da resistência média dos esforços, comparados com a trama do grupo X, é progressivo. As diferenças entre os resultados variam entre 80.50% 74.98%, ou seja, linear. Os dados são apresentados na tabela 4.

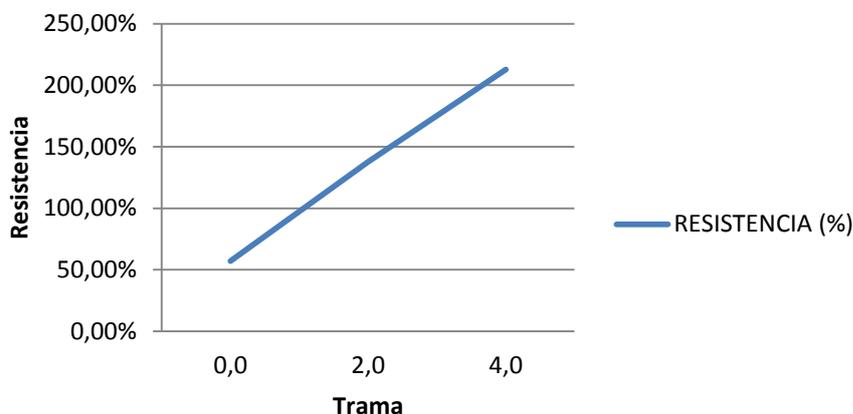
Tabela 04 - resistência das tramas do grupo Y em relação ao grupo X – Pistão hemisférico

Trama	Resistência (%)
0,0	57,16%
2,0	137,67%
4,0	212,65

Fonte: autor.

Os índices percentuais apontam para um aumento proporcional, representados por uma reta de inclinação estável. A figura 134 ilustra a progressão do aumento da resistência ao esforço do punção hemisférico.

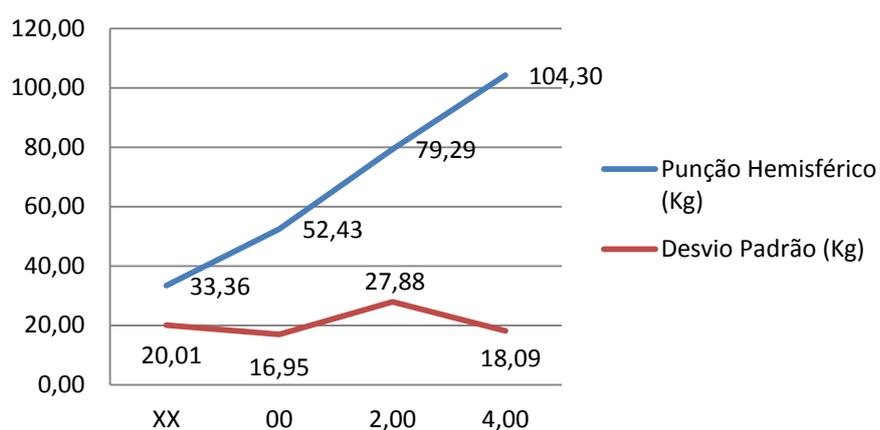
Figura 134 - Progressão da resistência ao esforço do grupo Y comparado ao grupo X – Pistão hemisférico



Fonte: autor.

Conforme aumenta a complexidade das tramas, maiores são os esforços para o rompimento com o pistão. O desvio padrão manteve-se relativamente constante, apresentando valores entre 16,95 Kg e 20,01 Kg. O resultado de um dos testes da trama 2.0 apresentou rompimento prematuro, contribuindo para o aumento do desvio padrão de 27,88 Kg. A figura 135 apresenta o gráfico onde é possível comparar o aumento constante e linear do esforço para o escorregamento das fibras das tramas e o desvio padrão durante os testes.

Figura 135 - Esforço x desvio padrão

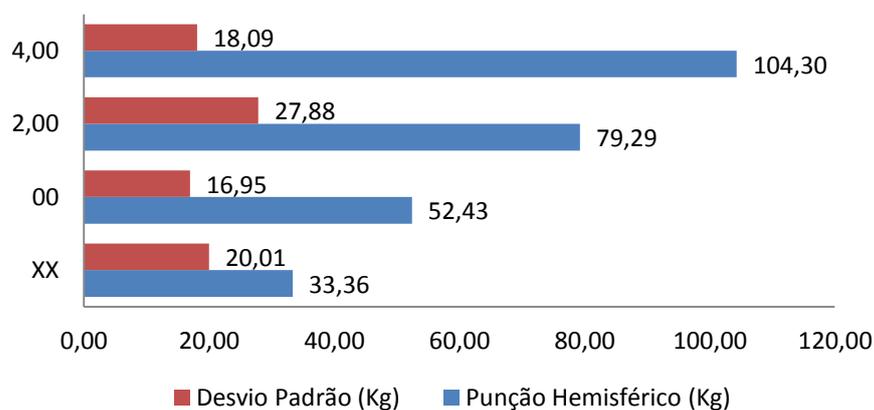


Fonte: autor.

Ao comparar os desvios padrões entre as tramas XX, 0.0, 2.0 e 4.0, veremos que a variação dos resultados foi diminuindo enquanto a complexidade das tramas

foi aumentando proporcionalmente. O desvio padrão é apresentado em Kg e indicam o grau de variação dos resultados entre as tramas (figura 136).

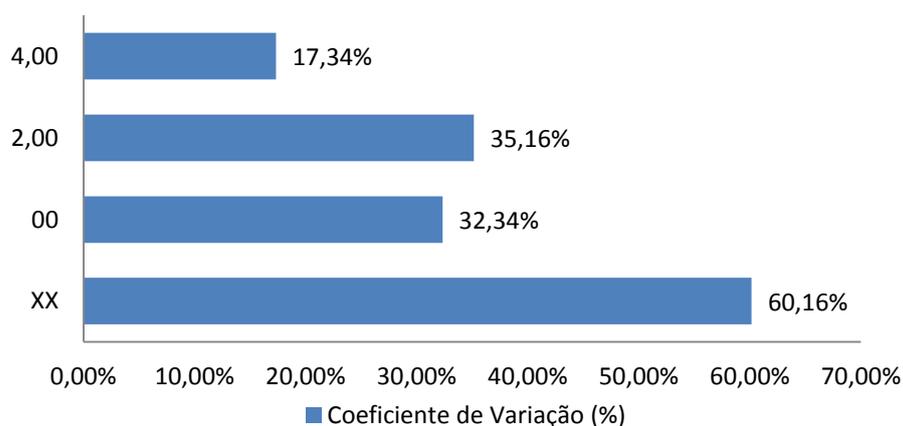
Figura 136 - Comparação dos desvios padrões em relação aos esforços



Fonte: autor.

Os dados dos desvios padrão revelam que as tramas XX apresentaram resultados mais heterogêneos ao pistão hemisférico, apresentando escorregamentos mais oscilantes.

Figura 137 - Coeficiente de variação entre as tramas.



Fonte: autor.

A figura 137 representa o gráfico do coeficiente de variação entre as tramas, mostrando que as tramas entrelaçadas e a presença dos laços, interferem de forma

substancial na estabilidade do sistema no que diz respeito à imprevisibilidade no que diz respeito ao rompimento por escorregamento das fibras. As tramas cujas fibras são entrelaçadas e laçadas, são mais resistentes e menos suscetíveis ao escorregamento das fibras por ação de punção hemisférico que as tramas do tipo XX, apresentando resultados mais significativos nas tramas 4.0.

5.2.2 RESULTADOS DOS TESTES COM PISTÃO PLANO

As tramas do grupo X apresentaram resistência média de 107,20 Kg, enquanto as tramas 0.0 do grupo Y apresentaram resistência de 147,10 Kg, em função do sistema de entrelaçamento das fibras. Além disso, foi constatado que as tramas 2.0 e 4.0, que apresentavam, além do entrelaçamento das fibras, a inserção de laços, resistiram ainda mais, apresentando médias de 150,20 Kg e 186,20 Kg respectivamente, de resistência ao punção plano. A resistência das tramas ao colapso pelo rompimento das fibras aumenta conforme mais laços no sistema são inseridos, no entanto, não apresentaram aumento linear. A tabela 5 apresenta os dados das médias dos esforços, desvios padrões e os coeficientes de variação dos ensaios.

Tabela 05 - Resumo dos resultados do puncionamento plano

Ninhos	Punção Plano(kg)	Desvio Padrão (kg)	Coeficiente de Variação (%)
XX	107,20	13,75	12,95%
00	147,10	13,34	9,07%
2,00	150,20	23,42	15,6%
4,00	186,20	26,12	14,02%

Fonte: autor.

O aumento da resistência média dos esforços, comparados com a trama do grupo X, para o pistão plano é progressivo, porém heterogêneo, não apresentando diferenças proporcionais entre os tipos de trama. As diferenças entre os resultados variam entre 2.89% e 33.58%, ou seja, não linear. Os dados são apresentados na tabela 6.

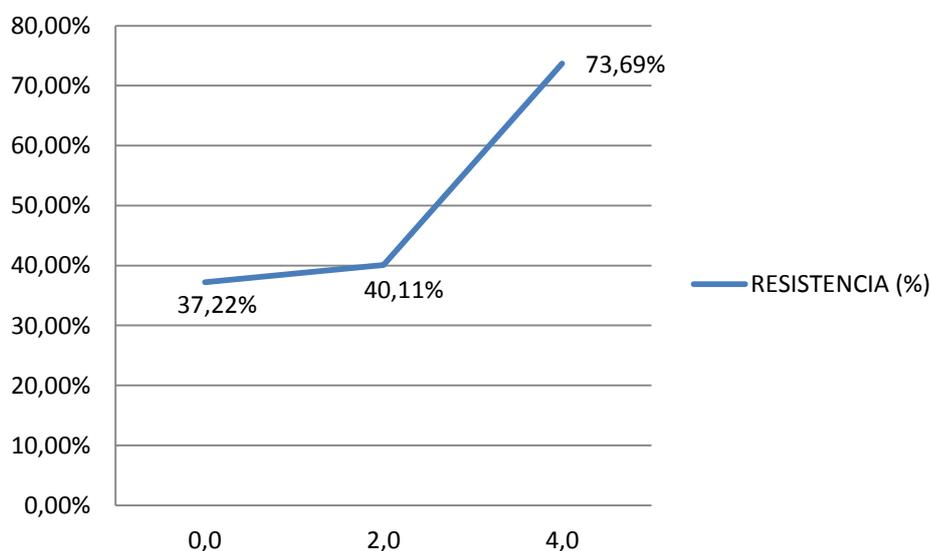
Tabela 06 - Resistência das tramas do grupo Y em relação ao grupo X - Pistão Plano.

Trama	Resistência (%)
0,0	37,22%
2,0	40,11%
4,0	73,69%

Fonte: autor.

Os índices percentuais apontam para um aumento não proporcional, representados por uma duas retas com inclinações diferentes. A figura 138 ilustra a progressão do aumento da resistência ao esforço do punção plano.

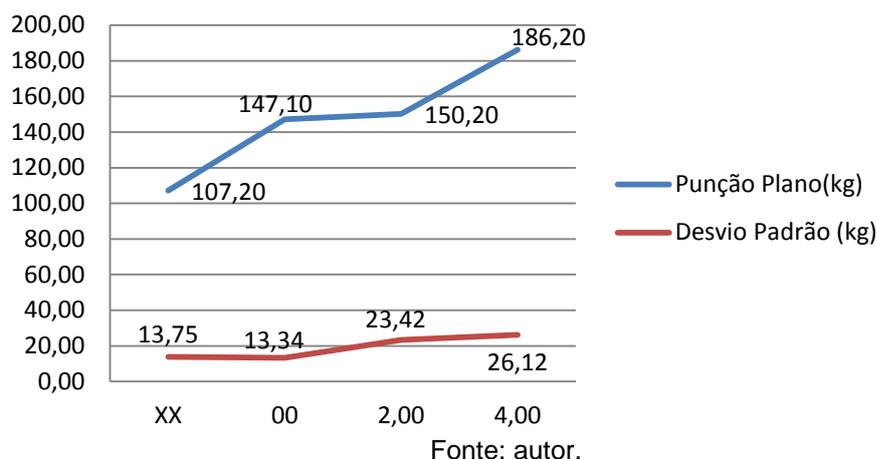
Figura 138 - Progressão da resistência ao esforço do grupo Y comparado ao grupo - Pistão plano



Fonte: autor.

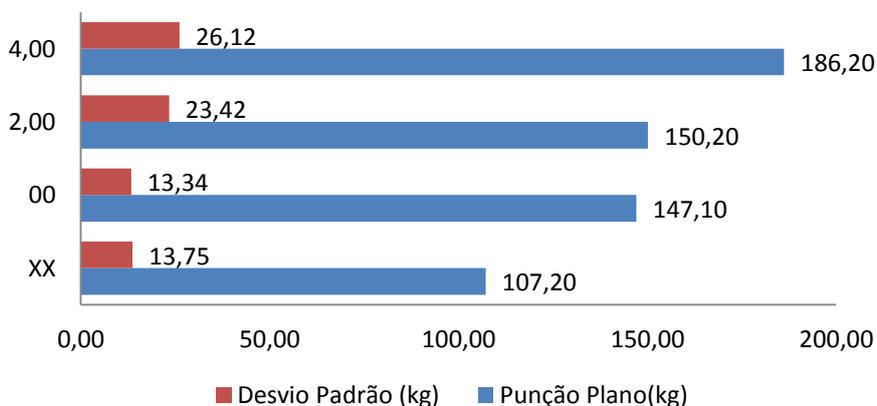
As diferenças de resultados entre as tramas denominadas XX e 0.0 foram substanciais, variando em cerca de 40 kg na média dos resultados. Da mesma forma, entre as tramas 2.0 e 4.0, os resultados foram também substanciais, apresentando uma variação de 36 kg entre as médias. No entanto, as medias dos resultados não apresentaram diferenças na mesma ordem quando comparadas as tramas 00. e 2.0, cuja diferença entre as médias foi de apenas cerca de 3 kg. O desvio padrão aponta maior desvio justamente entre as tramas 00 e 2.0. A figura 139 apresenta os esforços e respectivos desvios padrões.

Figura 139 - O esforço e respectivos desvios padrões.



É possível comparar o aumento constante e linear do esforço para o rompimento das fibras das tramas, apenas entre as tramas XX e 0.0 e 2.0 e 4.0. Entre as tramas 0.0 e 2.0 o aumento médio foi substancialmente diferente. Ao comparar os desvios padrões entre as tramas XX - 0.0 e 2.0 - 4.0, veremos que a variação dos resultados foi menor se comparado ao desvios padrões entre as tramas 0.0 – 2.0. Apesar da inserção dos laços entre as tramas 0.0 e 2.0, não houve um aumento substancial na resistência ao rompimento com a inserção de laços em tramas entrelaçadas. No entanto, entre as tramas 2.0 e 4.0, a diferença é substancial, quando o número de laços foi dobrado. A figura 140 ilustra a comparação.

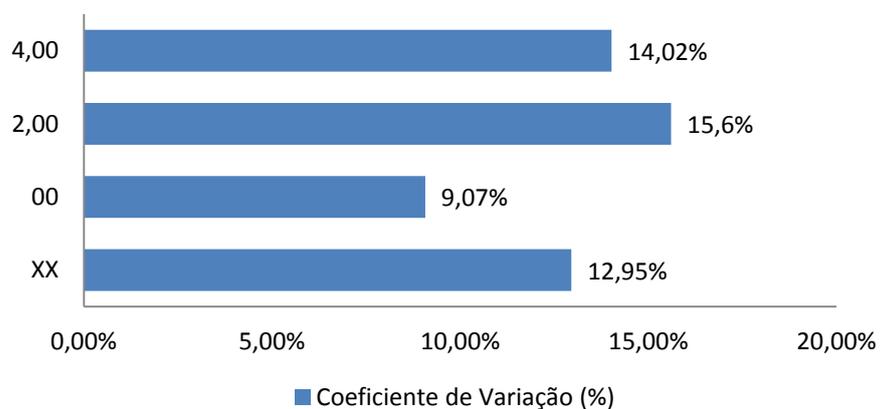
Figura 140 - Comparação dos desvios padrões em relação aos esforços.



Os dados dos desvios padrões revelam que as tramas XX apresentaram resultados mais heterogêneos ao pistão hemisférico, apresentando escorregamentos mais oscilantes. O gráfico 8 representa o coeficiente de variação

entre as tramas, mostrando que as tramas 0.0, apenas entrelaçadas, apresentaram uma variação menor entre os resultados de rompimento, tornando-as mais previsíveis ou eficazes. As tramas tipo XX, do grupo X e 2.0 e 4.0 do grupo Y apresentaram variações dos desvios padrões semelhantes, porém mais imprevisíveis que as tramas tipo 0.0.

Figura 141 - Coeficiente de variação entre as tramas.



Fonte: autor.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões da pesquisa, discussões e sugestões para pesquisas futuras.

Os *Cacicus haemorrhous* desenvolveram a arquitetura de seu ninho de maneira ampla, buscando aliar conforto e segurança na solução. Por ser a fêmea a responsável pela construção, a solução estrutural do ninho pode estar mais ligada à função, enquanto necessidade de segurança e proteção, do que à estética.

6.1 QUANTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA

No que compreende o objetivo geral, **a biomimetização o princípio funcional do sistema estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* para aplicar em design de produto**, consiste em um sistema estrutural submetido a tração, composto por trama confeccionada com o entrelaçamento de fibras, acrescido de fibras que formam laços, espalhados pela trama.

Os procedimentos de biomimetização foram possíveis a partir de estudos sistemáticos de métodos de biônica, através de **análises de métodos de extração de princípio de sistemas naturais**, o primeiro dos objetivos específicos. Foi constatado que existem poucas pesquisas a respeito de métodos de extração do princípio funcional, efetuados por cientistas brasileiros, se comparadas a referências estrangeiras. O tipo de trama do ninho desenvolvido pela ave oferece equilíbrio da estrutura, caso contrário se desmancharia com o peso próprio sob ação dos ventos, com a presença dos ovos, dos filhotes e da própria fêmea. O fundo das 5 amostras observadas apresentaram aumento na densidade de nós e entrelaçamentos.

A morfologia do ninho tem relação a defesa sob a predação e com a incubação. Os ovos e filhotes encontram-se na parte inferior do ninho, podendo haver variações na forma. Não foram feitas análises conclusivas sobre a relação da solução estrutural e a morfologia dos ninhos, ou seja, não há garantia que outras formas poderiam ser construídas com este mesmo tipo de trama.

A composição do método específico para extração do princípio funcional do sistema estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous*, feita a partir dos métodos transcritos de pesquisas bibliográficas, teve como base a proposta de Kindlein et al (2002), enriquecido com raciocínios e procedimentos de

outros autores como Hill (2004; 2005); Hellms, Vattam & Goel (2009) e Eroglu, Erden & Erden (2011). As especificidades como mapeamento das colônias; consultas a órgãos federais, biólogos e bibliografias; coleta e armazenamento das amostras; e todos os procedimentos da etapa de validação, foram acrescentados ao método, empiricamente, tomando como base os procedimentos da NBR 13559/95, para dar especificidade ao método.

A aplicação do método específico para extração do princípio funcional do sistema estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* consistiu numa observação sistemática, onde uma série de informações sobre as soluções desenvolvidas pela espécie foram percebidas. Dentre as informações percebidas mais relevantes, estão a composição das formas e proporções dos ninhos, relacionadas com sua estrutura.

A diferença de densidade de fibras presentes no fundo do ninho; a presença de elementos vegetais mais densos e pesados na periferia da trama; e principalmente a peculiaridade da confecção das fibras que a compõe, formaram os elementos chave para a parametrização e consequente extração do princípio funcional do sistema estrutural do ninho. No entanto, a extração do princípio funcional pode ser comprometida pela visão individual do pesquisador, que tornaria a investigação tendenciosa.

Para dar validade ao princípio funcional proposto, um procedimento específico se fez necessário. **Replicar o princípio estrutural da trama de ninhos de *Cacicus haemorrhous* e analisar sua eficácia, através de testes de resistência mecânicos em laboratório** foi o último objetivo específico atingido. Grupos de réplicas artificiais denominadas X e Y, inspiradas em ninhos, foram desenvolvidas.

As réplicas de tramas do grupo X, compostas por tramas estruturadas simplesmente por atrito, apresentaram resultados inferiores em relação às réplicas do grupo Y, representadas por réplicas entrelaçadas, e acrescentadas de laços.

Os resultados obtidos nos testes de funcionamento são conclusivos no que diz respeito ao colapso por escorregamento das fibras, onde, sob um pistão hemisférico polido, a resistência das tramas artificiais do grupo Y foram mais resistentes que as tramas do grupo X, além de apresentarem aumento proporcional, conforme o aumento do número de laços existentes no corpo de prova, dando validade parcial ao princípio “b”, onde “laços impedem que as fibras se expalhem

quando submetidas ao esforço por corpo hemisférico, aumentando a capacidade da trama de resistir ao colapso por escape ou escorregamento das fibras”.

No entanto, num primeiro momento, colocam em dúvida que a inserção de laços na trama entrelaçada aumentam a capacidade de resistência ao colapso por rompimento da trama no teste com pistão plano entre os corpos de prova do grupo Y, tramas tipo 0.0 e 2.0. Num segundo momento, ao comparar os resultados dos testes das tramas 2.0 e 4.0 do mesmo grupo, ficam evidentes que os laços foram relevantes nos resultados. Neste sentido, estes ensaios não foram conclusivos, por não serem absolutos.

Os resultados dos ensaios efetuados com pistão plano, no entanto, foram conclusivos no que diz respeito ao desvio padrão, mostrando que as tramas são menos instáveis com este tipo de corpo, quando puncionado contra a trama. É conclusivo também no que diz respeito à comparação entre as tramas do tipo XX, do grupo X e do tipo 4.0, do grupo Y, no que diz respeito ao aumento da resistência ao rompimento por esforço de puncionamento com pistão plano, conforme aumenta a complexidade da trama.

As tramas do grupo X foram menos resistentes, na média, que todas as tramas do grupo Y. As tramas tecidas com fibras entrelaçadas são mais resistentes que as tramas tecidas sem serem entrelaçadas, independente da presença ou não de laços. Estes resultados se repetiram em ambos os tipos de pistão, onde foram observados resultados mais expressivos nos testes com pistão hemisférico, com 57% a mais de capacidade de resistir ao esforço, que o pistão plano, cerca de 37% mais resistentes.

As observações dos corpos de prova depois de testados concluem que os laços efetivamente atuam no sistema quando a área da trama é submetida ao puncionamento, em função dos laços aparecerem apertados e os fios de poliamida apresentarem escoamentos. Além da ação deste dispositivo, as tramas do grupo Y apresentam reações nas fibras entrelaçadas, evidenciando a reação em cadeia, uma vez que o sistema é solicitado em um ponto.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Em trabalhos futuros, um número maior de amostras naturais poderiam ser observados, incluindo o desmanche das amostras, buscando mapear a trama e as fibras, com intuito de observar a presença de eventuais frequências de laços e entrelaçamentos das fibras.

Para os testes de validação, um arco maior com mais pontos de apoio poderiam ser construídos, quadruplicando o número de apoios executados neste ensaio, com intuito de construir tramas mais homogêneas, pela presença maior de fios. Um número maior de corpos de prova poderiam dar resultados mais precisos a respeito das características e propriedades de cada uma das tramas replicadas. Além do aumento do número de fibras e apoios, outros tipos de fios poderiam ser testados, buscando analisar o comportamento da trama em relação à sua capacidade de resiliência.

6.3 APLICAÇÕES PARA AREA DO DESIGN

Apesar desta pesquisa ser desenvolvida sob a ótica do Design, os resultados dizem respeito à engenharia, ao desenvolvimento de sistemas de estruturais e abrem um amplo leque de aplicações. Estudos mais aprofundados sobre o próprio design do sistema deverá ser desenvolvido, buscando aprimorar as diferentes possibilidades do sistema, fazendo diferentes arranjos dos componentes (fibras e laços).

Dependendo da escala em que estudado o sistema, o desenvolvimento de equipamentos poderão seguir paralelamente os estudos, buscando produção em escala industrial, abrindo campos de pesquisas para o desenvolvimento de novos materiais, mais afinados com as necessidades de sustentabilidade ambientais, explorando o ciclo de vida do produto e/ou reciclagem do sistema.

Dentre as possibilidades de futuras aplicações do sistema, estão:

- Mantas geotêxteis, usadas em contenção de encostas, em gabiões, tema que preocupa governantes em função das previsões sombrias no que diz respeito a deslizamentos de áreas de risco.

- Sistemas estruturais de superfícies horizontais para construção civil, onde hoje em dia técnicas de construção empregando o concreto armado, tão custosos ao meio ambiente, tanto para sua produção quanto para os processos de a reciclagem, poderiam ser substituídos, por sistemas mais leves, desde que executados por materiais não inflamáveis e resistentes a altas temperaturas.
- Tecidos para o vestuário específico na área da segurança, poderiam empregar na composição de roupas e protetores, um sistema com eficácia ao esforço de puncionamento, como os de projéteis.
- Superfícies assumindo formas orgânicas poderiam ser especuladas, explorando o potencial de elasticidade e maleabilidade da trama, abrindo possibilidades de novas soluções espaciais na arquitetura, a partir da composição e combinação com outros materiais de vedação.
- Painéis de vedação rígidos e leves poderiam ser produzidos a partir de tramas de alta densidade, para emprego em pisos ou paredes passíveis de permitir circulação do ar entre ambientes ou entre o ambiente interno e externo, na arquitetura, aumentando as condições de conforto térmico e higiene em ambientes construídos.

REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENYUS, J. M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza**. 6. ed. São Paulo: Cultrix, 2011.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. **Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status**. Cambridge, UK: BirdLife International. BirdLife Conservation Series No. 12. 2004.

BIOKON. **Bionik kompetenz netz**. 2001. Disponível em:
<<http://www.biokon.net/bionik/historie.html>> Acesso em 12/03/2012.

BONSIEPE, Gui. Teoria e prática do design industrial. Centro Português de Design, 1992.

BUZZETTI, Dante; SILVA, Silvestre. **Berços da Vida - Ninhos de aves brasileiras**. Terceiro Nome, 2005.

CHEONG, Hyunmin; CHIU, Ivey; SHU, L.H. **Extration and transfer of biological analogies for creative concept generation**. International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE). 2010.

COELHO, Denis A.; VERSOS, Carlos A. **An approach to validation of technological industrial design concepts with a bionic character**. Recent Researches in Business

Administration, Finance and Product Management Proceedings. WSEASEUROPMENT-EUROSIA Int. Conference, Vouliagmeni Beach, Athens, 2010.

COLLIAS, N.E; COLLIAS E.C. **The development of nest-building behavior in a Weaverbird**. The Auk. Vol. 81, pp. 42-52. 1964. Disponível em
<<http://elibrary.unm.edu/sora/Auk/v081n01/p0042-p0052.pdf>>

DETANICO, F.B; TEIXEIRA, F.G.; SILVA, T.K. **A biomimética como Método Criativo para projeto de produto**. Design & tecnologia – UFRGS, 2010.

DUCA, Charles; MARINI, Miguel Ângelo. A. **Aspectos da nidificação de *Cacicus haemorrhous* (Passeriformes, Icterinae) no sudeste do Brasil**. Ararajuba, v. 12, n. 1, p. 23-30, 2004.]

DUCA, Charles; MARINI, Miguel ângelo. **Breeding succses of *Cacicus haemorrhous* (Linnaeus, 1756) (Aves:Icteridae) in different environments in Atlantic Forest reserve in Southeast Brazil**. Revista Brasileira de Zoologia. V. 25 n. 2. Curitiba jun-2008.

EROGLU, A.K; ERDEN, ZÜHAL; ERDEN A. **Bioinspired Conceptual Design (BICD) Approach for Hybrid Bioinspired Robot Design Process**. Iternational Conference on Mechatronics. Istambul, Turkey. 2011.

FEEKES, Francisca. **Biology and colonial organization of two sympatric caciques, *Cacicus cela* and *Cacicus haemorrhous* (Icteridae: Aves) in Suriname**. Ardea, v. 69, p. 83-107, 1981.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

HELMS, Michael E., VATTAM, Swaroop, GOEL, Ashok. **Compound Analogical Design, or How to Make a Surfboard Disappear**. In B.C. Love, K. McRae, & V.M. Sloutsky (Eds.) *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 781 – 786), Washington D.C.:Cognitive Science Society . 2008.

HELMS. Michael E.; VATTAM, Swaroop; GOEL, Ashok. **Biologically inspired design: process and products**. Design Studies, vol. 30 n.5 – 2009.

HILL, Bernand. **Fundamentals and modelling of a construction bionics**. First International Industrial Conference Bionik. 2004.

HILL, Bernand. **Goal-setting through contradiction analysis in the bionics-orientated construction process**. Journal Creativity and innovation management. Vol. 14 - p. 59-65. 2005.

KINDLEIN Jr, W; GEYER, G; LUNZLER, L. **Analogia entre a escama da Piava e o pneu Goodyear – Aquatred**. Anais P&D design 2000. FEEVALE, Novo Hamburgo, RS disponível em <http://jandreh.com.br/ecodesign/wp-content/uploads/2010/11/Aquatred.pdf> acessado em 08/05/2011.

KINDLEIN, Wilson Jr.; GUANABARA, Andréa S.; AMARAL, Everton da S.; PLATCHECK, Elizabeth R. **Proposta de uma metodologia para o desenvolvimento de produtos baseados nos estudos de biônica**. P & D Design. Brasília 2002.

KINDLEIN Jr, Winson. ET AL. **Análise biônica em projetos de design: a fruta-do-conde como referência de textura em pisos para áreas externas** Revista Tecnologia e Sociedade - n. 10 - 1º Semestre de 2010 http://www.ppgte.ct.utfpr.edu.br/revistas/tecsoc/revista_10.html. Acesso em 21/05/2011.

KARANA, Elvin; EKKERT, Paul; KANDACHAR, Prabhu. **Materials Considerations in Product Design: A survey on crucial material aspects used by product designers**. (2008) Materials and Design, 29 (6) pp. 1081-1089. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX5-4P2HYTK2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=rslt_list&_origin=rslt_list&_zone=top&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d85728c90982b725a76568f5e940b7b9&searchtype=a>. Acesso em 30 out 2010.

KAZAZIAN, Thierry. **Haverá a idade das coisas leves**. Trd. De Eric Roland Rene Heneault. São Paulo: Editora Senac – São Paulo, 2005.

LONG, A.M.; JENSEN, W.E.; WITH, K.A. **Orientation of Grasshopper Sparrow and Eastern Meadowlark Nests in Relation to Wind Direction**. *The Condor*, Vol. 111, No. 2 pp. 395-399. 2009.

MANZINI, Ezio. **Design, social innovation and sustainable ways of living - Creative communities and diffused social enterprise in the transition towards a sustainable network society**. DIS-Indaco, Politecnico di Milano. 2007. Disponível em <<http://www.producao.ufrj.br/design.isds/docs/Ezio-Manzini-DESIGN.ISDS-v.2.pdf>>. Acesso em 07 nov. 2010.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais de produtos ambientais.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

MACCAFERRI. **Manual técnico de reforço de solos.** São Paulo, Macaferri. 2011

MANETTI, Liliana Maria; DELAPORTE; Rosemeres Horwat; LAVERDE, Antonio Jr. **Metabólicos secundários da família Bromeliaceae.** *Quim. Nova*, vol. 32, nº 7, 1885-1897, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n7/35.pdf>> acesso em 27/12/2012.

MENNERAT, A.; PERRET, P.; LAMBRECHTS, M.M. **Local Individual Preferences for Nest Materials in a Passerine Bird.** *PLoS ONE* 4(4): e5104. doi:10.1371/journal.pone.0005104.2009. Disponível em <<http://www.plosone.org/article/info:doi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0005104>>

MIRALLES, Mónica; GIULIANO, Gustavo. **Biônica: eficácia versus eficiência en la tecnologia natural y artificial.** *scientiæ zudia*, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 359-69. 2008.

NOSSA TERRA. Aves dão espetáculo em parque ambiental de Araçatuba. Disponível em <<http://nossaterra.folhadaregio.com.br/2012/09/aves-dao-espetaculo-em-parque-ambiental.html#more>>. Acesso em 03 jan 2013.

RAMOS, Jaime; SELL, Ingeborg. **A biônica no projeto de produtos.** *Prod.* vol.4 no.2 São Paulo Dec. 1994 <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v4n2/v4n2a01.pdf>>. Acesso em 08/05/2011.

REEVES, T. C. **Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).** *aace.org*, 1998. Disponível em: <<http://www.aace.org/pubs/jilr/scope.html>>. Acesso em: 27 maio 2011.

SILVA, Eliane F.; CAMPOS, Carlos E. C. **Nidificação, predação e nidoparasitismo em colônias de *Cacicus cela* (aves: icteridae) na Amazônia oriental, Amapá, Brasil.** *Biota Amazônia*, v. 1, p. 8-16, 2011.

SILVA, Edna Lúcia da; MUSZKAT, Estera Menezes. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – 3. ed. rev. atual.– Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVEIRA, Flávia Lopes da; KINDLEIN, Wilson Jr; DUARTE, Lauren da Cunha; CIDADE, Mariana Kuhl. **Uma experiência para o beneficiamento de rejeitos minerais a partir de texturas naturais**. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento em Design. São Paulo, 2010.

SIMÕES, Luciana Lopes. **Guia de aves da mata atlântica paulista** - Serra do mar, Serra de Paranapiacaba. WWF Brasil, 132p. 1ª edição. São Paulo: 2010.

SOARES, M. A. R. **Biomimetismo e Ecodesign**. Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2008.

VASCONCELOS, A. C. **Estruturas da natureza: um estudo da interface entre biologia e engenharia**. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

VELCRO®. **Pioneers in Fastening Solutions**. 2011. Disponível em <<http://www.velcro.com/index.php?page=innovation>>. Acesso em 12/03/2012.

VINCENT, Julian F.V.; MANN, Darrell L.. **Systematic technologytransfer from biology to engineering**. Philosophical Transactions. Royal Society London. 360 - 2002.

VINCENT, Julian F.V.; BOGATYREVA, Olga A.; BOGATYREV, Nikolaj R.; BOWYER Adrian; PAHL, Anya-Karina. **Biomimetics: its practice and theory**. Interfaces. Royal Society London, 2006.

WILSON, Jamal Omari. **A Systematic Approach to Bio-Inspirde Conceptual Design**. Dissertation, Geogia Institute of Technology. 2008.

WILSON, Jamal O.; ROSEN, David. **The effects of biological examples in idea generation.** Design studies, vol. 31 n. 2 – 2010.

ANEXO I

Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO.....	191
---	-----



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 36566-1	Data da Emissão: 01/11/2012 11:27	Data para Revalidação*: 01/12/2013
* De acordo com o art. 33 da IN 154/2009, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: João Barba Neto	CPF: 060.665.408-90
Título do Projeto: A natureza como elemento inspirador para novas propostas de sistemas estruturais, no design de produtos	
Nome da Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	CNPJ: 75.095.679/0001-49

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta manual de 5 ninhos de Cacicus haemorrhous	10/2012	10/2012

Observações e ressalvas

1	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
2	Esta autorização NÃO exige o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
3	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa IBAMA nº 154/2007 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
4	A autorização para envio ao exterior de material biológico não consignado deverá ser requerida por meio do endereço eletrônico www.ibama.gov.br (Serviços on-line - Licença para importação ou exportação de flora e fauna - CITES e não CITES). Em caso de material consignado, consulte www.icmbio.gov.br/sisbio - menu Exportação.
5	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
6	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio e o material biológico coletado apreendido nos termos da legislação brasileira em vigor.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
8	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade.

Outras ressalvas

1	Esta licença não permite a coleta de ninhos que não estejam completamente desabitados.
---	--

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Município	UF	Descrição do local	Tipo
1		SC	Baía da babilonga, Joinville	Fora de UC Federal

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxons
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Cacicus haemorrhous

Material e métodos

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº154/2007. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 27343421



Página 1/3



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 36566-1	Data da Emissão: 01/11/2012 11:27	Data para Revalidação*: 01/12/2013
* De acordo com o art. 33 da IN 154/2009, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: João Barba Neto	CPF: 060.665.408-90
Título do Projeto: A natureza como elemento inspirador para novas propostas de sistemas estruturais, no design de produtos	
Nome da Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	CNPJ: 75.095.679/0001-49

1	Amostras biológicas (Aves)	Outras amostras biológicas(Ninho que NÃO esteja sendo usado para incubação pela ave)
2	Método de captura/coleta (Aves)	Outros métodos de captura/coleta(Coleta manual), Captura manual

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo Destino
1	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº154/2007. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 27343421



Página 2/3

