



UFRGS

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

BENTO GUSTAVO DE SOUSA PIMENTEL

APLICAÇÃO PROJETUAL DA SIMULAÇÃO DA COMPOSTAGEM

Porto Alegre
2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

BENTO GUSTAVO DE SOUSA PIMENTEL

APLICAÇÃO PROJETUAL DA SIMULAÇÃO DA COMPOSTAGEM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Regio Pierre da Silva

Porto Alegre
2015

Ficha catalográfica

Pimentel, Bento Gustavo de Sousa
Aplicação projetual da simulação da compostagem /
Bento Gustavo de Sousa Pimentel. -- 2015.
244 f.

Orientador: Regio Pierre Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. design. 2. modelagem. 3. simulação. 4. domínios
naturais. 5. compostagem. I. Silva, Regio Pierre,
orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

A banca examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação intitulada “Aplicação projetual da simulação da compostagem” elaborada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Design.

Porto Alegre, 28 de Abril de 2015.

Professor Doutor Fábio Gonçalves Teixeira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____ - Orientador
Professor Doutor Régio Pierre da Silva
Programa de Pós-Graduação em Design/UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____ - Examinador
Professora Doutora Tânia Luísa Koltermann da Silva
Programa de Pós-Graduação em Design/UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____ - Examinador
Professor Doutor Fábio Gonçalves Teixeira
Programa de Pós-Graduação em Design/UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____ - Examinador
Professor Doutor José Luis Farinatti Aymone
Programa de Pós-Graduação em Design/UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____ - Examinador
Professor Doutor Vinicius Gadis Ribeiro
Programa de Pós-Graduação em Design
Centro Universitário Ritter dos Reis

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a meus pais Profa. Dra. Maria Olinda Pimentel e Bento Pimentel por me educarem instigando-me a perseguir a aquisição de conhecimento, e com muito carinho a todos os irmãos do sul do Brasil.

Agradeço ao orientador Regio Pierre da Silva por aceitar me orientar na pesquisa descrita neste relatório, e também aos seguintes profissionais e colegas que contribuíram para a condução das atividades, em ordem alfabética: i) Ana María Losada Alfaro (UNAM-Programa de Maestría en Diseño Industrial, Cidade do México, México) pela prontidão, humildade e disponibilidade no tratamento de questões do campo editorial; iii) Antonio Silvio Hendges (CENATEC, Soledade-RS) pelas informações cedidas no campo da PNRs; iv) Prof. Dr. Enilson Luiz Saccol de Sá (Faculdade de Agronomia, UFRGS) por me auxiliar durante as primeiras etapas do projeto de pesquisa que conduziram o presente percurso; v) ao grande amigo, arquiteto e companheiro de pesquisa Prof. Msc. Ernesto Bueno (Universidade Positivo, PR) e família por compartilhar comigo suas idéias e cujas contribuições estão presentes revisadas neste relatório; vi) a Profa. Dra. Núbia Suely Santos (UEPA-CCNT, Belém-PA), pelo exemplo, amizade, e por compreender meu interesse pelo objeto de pesquisa descrito neste relatório desde o Bacharelado em Design; vii) a Profa. Dra. Underlea Miotto Bruscato (PGDesign, UFRGS), por oportunizar o aprendizado e convivência dado as contribuições no campo da Arquitetura Digital, tantas vezes consultado na revisão teórica realizada na pesquisa; viii) a designer Andrea Bandoni (IED, São Paulo), cuja a contribuição marcada pela investigação no campo da Bioinspiração serviu de experimento em uma etapa de minha vida profissional distante da área (2011), de maneira a definir com implicações permanentes ao recorte teórico apresentado neste relatório; ix) a Francisco Serón Aberloa (EINA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Espanha), pela paciência e capacidade de fácil comunicação, em que por ocasião da investigação acerca da simulação do processo de compostagem indicou uma possibilidade para a resolução para o problema, refletindo sua capacidade contributiva ao meio acadêmico; x) ao Prof. Msc. Jarryer Andrade de Martino (Pós-ATC LAPAC, UNICAMP, Campinas) pelo coleguismo e disposição para contribuir mediante questões do seu campo de pesquisa; e, xi) a PhD Tatiana Sakurai (FAU-USP) pela prontidão e coleguismo ao tratar de sua área de pesquisa.

Este trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, do Ministério da Educação – CAPES – Brasil; e com apoio parcial da Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS.

RESUMO

A partir deste relatório acadêmico são apresentadas considerações acerca de um estudo da compostagem como objeto de pesquisa na perspectiva do Design de Produto. A visão adquirida da investigação delineada conceitualmente na intersecção entre Sistemas Artificiais e Domínios Naturais, demanda uma compreensão complexa acerca das possibilidades em âmbito prático e teórico imbricados no estudo da compostagem como um processo. Tal visão resulta em um problema de pesquisa que investiga o processo de compostagem como fonte de inspiração para o desenvolvimento de projetos a partir de uma fundamentação teórica voltada ao assunto, abrangendo a relação complementar entre o problema de pesquisa no quadro dos Domínios Naturais, e desenvolvimento de simulações no quadro dos Sistemas Artificiais. Do ponto de vista metodológico, tal recorte possibilita a visita da pesquisa em áreas como: conhecimento aplicado em projeto, tais quais desenho paramétrico, modelagem conceitual e modelagem em Sistemas Artificiais, Simulação, Embriogênese, Bioinformática e Domínios Naturais. A relação entre problema e solução compreendidos no controle da compostagem a partir do comportamento térmico, é proposta como estruturação em coesão com todas as áreas pesquisadas, utilizando um controle com aspectos particulares. Sendo assim, o estudo de uma simulação para a geração de requisitos de projeção no campo da compostagem, delineado e codificado em operações do Design, é proposto de maneira a fomentar a realização de projetos com robustez informacional acerca do assunto. Os resultados obtidos geram um experimento com considerações coniventes com a realização da atividade, bem como para os campos de estudo visitados, em uma avaliação com critérios atrelados a área da Pesquisa em Design. Como resultado da investigação realizada em um escopo de trabalho marcado pela permanente necessidade de avaliar e confirmar as teorias propostas, são gerados modelos conceituais e artificiais para a aquisição de uma compreensão global de simulação do processo de compostagem. Desta forma, são sinalizado indícios de sua viabilidade para aquisição de benefícios coesos com o campo da Sustentabilidade.

ABSTRACT

The acquired vision about the investigation designed conceptually located at the intersection between Artificial Systems and Natural Domains, requires a complex understanding around the possibilities at the pragmatic and theoretic levels of approach embedded on studying the composting as a process. The result of such theoretic frame for a research problem is the necessity of a approach that encapsule the composting process as inspiration for the development of projects supported by a theoretic background around the issue, approaching the complementary relationship between research problem belonging on the Natural Domain, and the simulation development activity in the frame of the Artificial Systems. On the methodological point of view, this approach makes possible to visit research areas of knowledge applied on design, such as parametric design, conceptual modeling and modeling on Artificial Systems, Simulation, Embryogenesis, Bioinformatics and Natural Domains. The relationship between problem and solution embedded from the thermal behavior point of view for the composting controller, is proposed as structure in cohesion with all visited areas by using a peculiar conceptual characteristics. Thus, the studying of a simulation to generate Design requirements in the composting field, marked and coded by Design tasks, is presented as a proposal in order to foster this specific project area with informational strength. Descriptions are generated by an experimentation with the results, showing conniving considerations about the activity accomplishment, such as well for the studying fields visited by the research, based on an assessment with related criteria on Design Research area. As an result of this research, carried out in a scope of work marked by the continuing need for reviewing and confirmation of the theories proposed, are generated artificial models to compose a comprehensive understanding of simulation of the composting process. Thus, by verifying the theories, evidences of its viability are presented for the acquisition of aligned benefits on the Sustainability field.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina de revirar leiras de compostagem de Gerhard Heufler, e Envi, composteira doméstica de Julien Bergignat	16
Figura 2 - Três grandes tipos de modelos e cenários de análise na pesquisa em mudanças climáticas.....	20
Figura 3 - Móveis desenvolvidos em Lousiana (USA) para atender demandas de populares utilizando baixo custo produtivo, após ocorrência do furacão Katrina em 2005.....	23
Figura 4 - Registro de hortas alternativas no Japão.....	32
Figura 5 - Correlação entre as áreas de conhecimento a serem descritas para a compreensão do presente objeto de pesquisa em um contexto de tecnologia e sociedade	34
Figura 6 - Informações principais e dependência entre as atividades de Projeto Informacional.....	41
Figura 7 - Detalhamento acerca das Informações principais e dependência entre as atividades de Projeto Informacional.....	46
Figura 8 - Leira de compostagem	53
Figura 9 - Fórmula estrutural condensada da degradação biológica	57
Figura 10 - Produtos de conversões bioquímicas e utilização.....	59
Figura 11 - Transporte ligado de massa e energia	62
Figura 12 - Planta de Compostagem de Resíduos Orgânicos	63
Figura 13 - Diagrama do fluxo do processo de compostagem	64
Figura 14 - Categorias de impacto para o processo de compostagem de resíduos orgânicos para uma tonelada de resíduos orgânicos	65
Figura 15 - Fases do processo de compostagem em função da temperatura da pilha, adaptado de Epstein (1997) apud Mendes (2012).....	70
Figura 16 - Grupos funcionais de organismos da rede alimentar na compostagem, e abaixo, interações alimentares entre organismos na compostagem	71
Figura 17 - Classificação de organismos da compostagem em acordo com o comprimento do corpo.....	72
Figura 18 - Fórmula estrutural simplificada de Glicina e Cisteína.....	75
Figura 19 - Decomposição química durante compostagem termofílica	76
Figura 20 - Perfis de temperaturas típicas na primeira metade de um	

lote de compostagem. A prescrição da ECOMAS aponta uma temperatura mais alta de maneira a assegurar desinfecção. Na segunda semana ambas curvas coincidem e mantém uma temperatura alta o suficiente para sustentar a desinfecção e atividade termofílica.....	81
Figura 21 - Os efeitos de revolvimento na temperatura do composto	83
Figura 22 - Três mecanismos de perda de calor em uma pilha de compostagem termofílica	89
Figura 23 - Possibilidades preferenciais para fluxo de fluido (como por exemplo a água) junto a moléculas dispersas, em meio poroso insaturado (com modificações apontadas por Agostini Sundberg e Navia, 2012, p. 7)	90
Figura 24 - Passos básico no desenrolar de um estudo de simulação	99
Figura 25 - Tipos de metodologias cônicas	104
Figura 26 - Teoria do Domínio aplicada ao projeto de objetos.....	106
Figura 27 - Estrutura típica de um algoritmo evolutivo considerando uma iteração.....	118
Figura 28 - O Esquema conceitual para descrever o processo de transferência de conhecimento dos Domínios Naturais à projeção em Design por Bioinspiração.....	125
Figura 29 - Constituição de um princípio de solução apresentado em Gomes Ferreira (1997) apud Amaral et al. (2006)	127
Figura 30 - Análise da construção da seção áurea sob a anatomia da cabeça da formiga <i>Atta sp.</i> com base no conceito de Dinergia apresentado em Dorczy (2012).....	130
Figura 31 - Mecanismo de analogia	135
Figura 32 - Mecanismo de articulação entre as analogias a partir de Vattam, Helms e Goel (2010)	136
Figura 33 - A representação do líquen na caixa preta	139
Figura 34 - Esquema sintético da contribuição de Dimas (2009), Vattam, Helms e Goel (2010) e Nagel e Stone (2012)	142
Figura 35 - Comportamento térmico segundo revisão feita na fundamentação teórica...	151
Figura 36-Desenvolvimento de um estudo de simulação do processo de compostagem a partir de Perros (2003).....	153
Figura 37 - Modelo do retorno do sinal e matéria na forma de nutrientes.....	156
Figura 38 - Compreensão do controle do processo – Controle das variáveis em função do tempo.....	158

Figura 39 - Tópicos de importância multidimensional da pesquisa.....	161
Figura 40 - Quadro com os eixos temáticos de pesquisa apresentada na fundamentação teórica	161
Figura 41 – Modelo do percurso realizado pela presente pesquisa.....	164
Figura 42 - Elaboração da forma.....	172
Figura 43 - Frame da modelação das proporções de Carbono e Nitrogênio e simulação inicial da degradação.....	173
Figura 44 - Representação da degradação utilizando Random reduce	175
Figura 45 - Proximity 3D e move.....	178
Figura 46 - Esquematização da degradação da biomassa e assentamento e gráfico	179
Figura 47 – Ferramenta Média Aritmética	181
Figura 48 - Representação do calor no meio poroso.....	184
Figura 49 - Solucionador por simulação do recozimento	186
Figura 50 - Importando ao Geomagic Studio Magic10®.....	187
Figura 51 - Envolvimento dos pontos.....	188
Figura 52 - Comparação do resultado entre experimentos.....	189
Figura 53- Fórmula estrutural condensada da degradação biológica	190
Figura 54 - Visualização da interação entre Cisteína, Água e Amônia	191
Figura 55 - Simulação da relação do tipo cor-forma.....	192
Figura 56 - Superfície suavizada com dados da ferramenta <i>Vector2Pt</i>	193
Figura 57 - Reduce noise.....	193
Figura 58 - Superfície na viewport	194
Figura 59 - <i>Vertex paint, Assign vertex color, Turbo Smooth, Render</i>	195
Figura 60 - Controle da renderização.....	196
Figura 61 - Comparação visual de renderizações em etapas diferentes da simulação utilizando Lattice e alteração da visibilidade, vista superior	197
Figura 62 - Comparação visual de renderizações em etapas diferentes da simulação utilizando Lattice e alteração da visibilidade, perspectiva	197
Figura 63 - Importando arquivo ‘.fbx’ em Blender®	198
Figura 64 - Mesh analysis em ambiente de Blender®.....	198

Figura 65 – Pintura de diferenciação com o Soft Selection	199
Figura 66 – Visualização de <i>wireframe</i> após utilização de <i>Soft selection</i> e aplicação de <i>Turbo Smooth</i>	200
Figura 67 – Visualização do resultado em ambiente de Blender®	201
Figura 68 – Comparação entre evento observado e frames das simulações desenvolvidas.....	203
Figura 69 – Alteração da ‘Taxa da função da degradação’	210
Figura 70 – Aplicação projetual da simulação da compostagem	213
Figura 71 - Detalhes da viewport do Rhinoceros 4®	215
Figura 72 – Diagrama do fluxo de operação da metodologia escolhida por Garrido-Baserba et al. (2012)	237
Figura 73 - O modelo de Ciclo de Vida de um Estudo de Simulação	238
Figura 74 – Variação dos dados apresentados para o perfil térmico	239
Figura 75 - Mapa mental para a realização de um projeto de composteira	240
Figura 76 – Workflow em Maio 2013.....	241
Figura 77 - Workflow Agosto 2013	242
Figura 78 – Workflow Abril 2014	243
Figura 79 – Esquema para a descrição sintética do Workflow 3	244

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de impacto para o processo de compostagem de resíduos orgânicos para a quantidade de uma tonelada	66
Quadro 2 - Microorganismos patogênicos isolados de resíduos sólidos urbanos e lodo	78
Quadro 3 - Comunidades de bactérias na fase termofílica.....	79
Quadro 4 - Termos funcionais de base.....	138
Quadro 5 - Relação entre frequência e tipo de controle	149
Quadro 6 - Declaração dos termos funcionais de base para o processo de compostagem	157
Quadro 7 - Composição química geral de diversos materiais orgânicos	209
Quadro 8 - Dados do fluxo de compostagem	232
Quadro 9 - Mecanismo de articulação entre as analogias a partir de Vattam, Helms Goel (2010)	233
Quadro 10 - Aplicação do esquema sintético a partir da fundamentação teórica para a geração de conceito em design	234
Quadro 11 - Dados coletados sobre compostagem presentes na Fundamentação teórica	235

SUMÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 Problematização	25
1. 3 Delimitação do tema	27
1. 4 Problema de pesquisa	29
1.5 Hipótese	29
1.6 OBJETIVOS	29
1. 6. 1 Objetivo geral	29
1. 6. 2 Objetivos específicos	29
1. 7 JUSTIFICATIVA	29
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	36
2.1 Conhecimento aplicado em ambiente de projeto	37
2.2 Compostagem	53
2. 2. 1 Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica.....	67
2.2.1.1 Primeira fase: Pré-tratamento mecânico e considerações para o início do processo.....	69
2.2.1.2 Segunda fase: Contenção da compostagem e consecutivo aumento de temperatura	74
2.2.1.3 Terceira fase: maturação e pico da atividade metabólica	80
2.2.1.4 Quarta fase: avaliação e aplicação do húmus	85
2.3 Biodegradabilidade no processo de compostagem	87
2.4 Dados complementares para a modelagem de simulação do processo de compostagem	92
2.5 Simulação	95
2.6 Modelagem de simulação (M&S)	100

2.7 Design Morfogenético, Algoritmos Genéticos e Embriogênese	110
2.8 Domínios naturais	119
2.8.1 Casos de conhecimento aplicado dos Domínios Naturais no Design.....	131
2.9 Considerações iniciais para compreender a simulação	144
2.9.1 Tipologia da simulação	146
2.9.2 Estruturação da relação entre dados e problema	147
2.9.3 Desenvolvimento metodológico do estudo	153
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	159
3.1 Ferramentas computacionais utilizadas na simulação	168
4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO ALGORÍTMICA, QUALIFICAÇÃO DE RESULTADOS E RENDERIZAÇÃO	169
4.1 Geração de modelo de compactação superficial.....	171
4.2 Fim da caracterização da Compactação Superficial.....	181
4.3 Turno para assentamento total.....	182
4.4 Último turno	183
4.5 Qualificação de resultados.....	186
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	202
5.1 EXPERIMENTAÇÃO	209
5.2 TRABALHOS FUTUROS	215
REFERÊNCIAS	217
APÊNDICE	231

1.1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, foi desenvolvida uma investigação na área do Design voltada a apontar a compostagem como atividade no cenário do desenvolvimento de produtos, em uma simulação com contribuições para a gestão de resíduos sólidos orgânicos.

O interesse pelo tema em questão surge como decorrência de trabalhos realizados anteriormente, tais quais o término do Bacharelado em Design com a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso sob título de 'O desenvolvimento de uma composteira doméstica segundo o desdobramento da função da qualidade: um método sintético' em 2011.

A continuidade desta pesquisa investiga a compostagem mediante considerações mapeadas, anteriormente, sob três focos diferentes: i) desenvolvimento de produto inovador em 2009 voltado a colaborar na gestão da reciclagem em ambientes urbanos e premiado com uma Menção Honrosa por Alcoa e parceiros no Prêmio de Inovação em Alumínio América Latina e Caribe; ii) outros dois enfoques como projeto de design: ii.i) novos mercados em 2010; e ii.ii) produtos intrinsecamente sustentáveis em 2011, gerando publicações em anais de eventos.

Como publicação, também é objeto de estudo no artigo 'Utilizando o QFD para o planejamento de configuração em design: projetos, rápidos, racionais e mirados na sustentabilidade' (publicado no Vigésimo Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, em Joinville, 2012); 'A compostagem como objeto de estudo do design: experiências de um cenário no Pará e Pernambuco' (publicado no 10º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Luís do Maranhão, também em 2012), e por último e diretamente relacionado ao desenvolvimento desta pesquisa, 'Simulação do processo de compostagem utilizando desenho paramétrico' (publicado como capítulo de livro pelo IV Simpósio de Pós-Graduação e Pesquisa em Design, em Bauru, 2013).

Sendo assim, considera-se a realização deste estudo uma continuidade com o aprofundamento em nível de mestrado nos tópicos e realizações anteriores, com questionamentos ainda mais profundos sobre a compostagem em um quadro de desenvolvimento do Design.

Dentro da aplicabilidade em um quadro informacional de controle de processos, a compostagem é vislumbrada como objeto de estudo estratégico a partir das seguintes características:

- i) Do ponto de vista produtivo, pois como processo, faz jus em objetivos no contínuo desenvolvimento de novas soluções para ciclos produtivos e gestão de resíduos sólidos orgânicos de forma mais sustentável (BÜRDEK, 2005);
- ii) No desenvolvimento de artefatos que incluam a atividade como principal problema funcional em suas diretrizes, voltadas às soluções domésticas (BERGIGNAT, 2009);

Ao longo desta pesquisa, é apresentada a pertinência que esse cenário global possui, ao influenciar e demandar modificações reais no contexto produtivo local e regional de Porto Alegre, no sentido político, a partir de diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos e sua influência nas Unidades de Transferência, Triagem e Compostagem, dispositivos que lidam com assunto em regiões da metrópole, tais quais as verificadas por Bridi (2008) na Lomba do Pinheiro.

O presente trabalho apresenta sua contribuição em um sentido investigativo para este cenário de inovação apontado acima, ao escolher um objeto de estudo de grande importância, porém pouco visitado, que é a compostagem. O conhecimento gerado com esta pesquisa está diretamente ligado ao fomento das atividades voltadas ao desenvolvimento de artefatos, por contribuir ao descrever contextos informacionais onde as metodologias de Design podem ser aplicadas, possibilitando novas configurações em produtos a partir da geração de conhecimento, em recortes contextuais estratégicos mais precisos.

A aquisição de conhecimento gerado pela pesquisa e necessidade de construção de arcabouço teórico para o campo de projeto, se dá em favor das contribuições para o campo da: i) modelagem e controle de simulações; ii) elaboração de modelos virtuais no campo do design, arquitetura e engenharia; e, iii) modelos planejados por meio paramétrico.

Em Tong (1987), é apontada a importância fundamental do conhecimento na plataforma de desenvolvimento de produtos, apta a definir bases informacionais de Design (*knowledge-based design*) em três instâncias sob melhor descrição no tópico 'Conhecimento aplicado em ambiente de projeto':

- i) Conhecimento incorporado;
- ii) Funcionalidade no processo de design;
- iii) Implementação do design em diretrizes de planejamento atualizado.

Abaixo, alguns exemplos de produtos que cumprem funções junto ao processo de compostagem no setor agrícola, ou são conceitos destinados ao ambiente doméstico. São apresentados na Figura 1:

Figura 1 - Máquina de revirar leiras de compostagem de Gerhard Heufler, e Envi, composteira doméstica de Julien Bergignat.



Fonte: Bürdek (2005) e imagem publicada no portfólio de Bergignat (2009)

De forma a realizar correlações com base em uma fundamentação teórica, a compostagem é pesquisada também como atividade de destinação final no cenário da gestão de resíduos orgânicos, apresentando detalhamento maior durante o decorrer do texto.

Segundo Bridi (2008), as atividades de acondicionamento e destinação final do resíduo sólido nas Unidades de Triagem, Transferência e Compostagem (UTTC) estão diretamente correlacionadas com a tipificação e disposição correta do resíduo.

Compreende-se que para a melhoria dos resultados de tais processos, o benefício direto é dado por uma separação realizada inicialmente dentro das dependências do domicílio usuário gerador de resíduo, ao selecionar e acondicionar tal subproduto em seus respectivos lugares. A autora apresenta a caracterização dos resíduos quanto a natureza ou origem, no trecho:

- a) Residencial ou doméstico: Resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais;
- b) Comercial: Resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem das atividades ali desenvolvidas;
- c) Público: Resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia e aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, tais como: entulhos, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos;
- d) Domiciliar especial: Grupo que compreende entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus;
- e) Fontes especiais: São resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final. Exemplos: rejeitos industriais, radioativos, de pontos aeroportos e terminais, rodoferroviários, agrícolas e resíduos de serviço de saúde (RSS) (BRIDI, 2008, p.2 3).

A compostagem, segundo Beffa (2002), é o processo de aquecimento do lixo orgânico, em condições aeróbicas durante sua fase sólida, e de biodegradação natural acelerado quando em estado de matéria orgânica, até sua mineralização, com possibilidade de controle: *'Industrial composting is a controlled process. The main objectives of this process is to maximize the hygienization and biodegradation/mineralisation'* (BEFFA, 2002, p. 2)¹.

Bertalot e Mendoza (2002) apresentam a compostagem como:

...processo de transformação de materiais grosseiros, como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações de natureza bioquímica, promovidas por milhões de microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono. O composto é o resultado da degradação biológica da matéria orgânica, em presença de oxigênio do ar, sob condições controladas pelo homem. Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica 'compostada'. O composto possui nutrientes minerais tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre (macronutrientes) que são assimilados em maior quantidade pelas raízes além de Ferro, Zinco, Cobre, Manganês, Boro e outros que são absorvidos em quantidades menores (micronutrientes). Quanto mais diversificados os materiais com os quais o composto é feito, maior será a variedade de nutrientes que poderá suprir (BERTALOT; MENDOZA, 2002, p. 7).

Segundo Bridi (2008) em Porto Alegre, na UTTC localizada na Lomba do Pinheiro, há uma demanda de resíduos sólidos orgânicos dispostos de forma irregular que pode ser utilizada também na composição das porções a serem submetidas no processo de compostagem. Em tais porções encontram-se caliça, madeiras, sucata, móveis e eletrodomésticos, pneus, animais mortos, podas de árvores e restos de vegetação, dado uma média diária de 60 toneladas de resíduo triado.

Segundo Kiehl (1995), é possível diferenciar o processo de compostagem mediante quatro critérios:

- i) Quanto ao aspecto biológico do processo (Aeróbio, Anaeróbio ou Misto);
- ii) Quanto a temperatura do processo (Criofílico, Mesofílico ou Termofílico);
- iii) Quanto ao ambiente no qual está sendo realizado o processo (Aberto ou Fechado);
- iv) Quanto ao tipo de processamento realizado (Estático/Natural ou Dinâmico/Acelerado);

¹ Traduzido para o português: *Compostagem industrial é um processo controlado. Os principais objetivos deste processo é maximizar a higienização e biodegradação/mineralização.*

Em Nespolo (2004), é constatado que a indução de temperaturas a 55 graus Celsius no processo de compostagem na escala industrial (durante a fase inicial), possibilita uma aceleração geral de todas as fases seguintes, reduzindo de 45 a 150 dias (5 meses) o tempo total, até a formação do húmus (ácido húmico, *humic-like substances*). A autora também frisa que o processo de compostagem possibilita a redução dos níveis patogênicos presentes no resíduo sólido orgânico, em coesão com Gómes Méndez (2009), que aponta a necessidade de uma melhor gestão de resíduos sólidos com base sustentável, com base em uma meta principal: minimização da contaminação.

Porém, como verificado em Gomes et al. (2008), em respeito de práticas de destinação final dada a resíduos sólidos, a partir da utilização de uma análise multicritério para avaliação do tipo de prática realizada no Brasil, percebe-se que ao invés da compostagem, são reuso e reciclagem mecânica as alternativas mais utilizadas, enquanto que a opção por aterros sanitários² modernos se encontra em último lugar, na avaliação custo/benefício.

Para a pesquisa apresentada por Gomes et al. (2008), é usado o software THOR® comparando as variáveis utilizadas, que são:

- i) Custo operacional (compreendido nas atividades de transporte, de remuneração dos profissionais, contabilização a eletricidade consumida no processo, etc.);
- ii) Custo de disposição e tratamento do resíduo;
- iii) Controle da emissão de CO₂ mediante parâmetros de valores;
- iv) Retorno em valor calculado em euro por quilo de resíduo beneficiado;
- v) Avaliação da imagem corporativa.

Foram entrevistados também agentes responsáveis por várias atividades em organizações de primeiro e segundo setor nos níveis estratégico, tático e operacional, acerca de sua escolha para a prática de destinação final, tais como: reciclagem

² A partir de uma compreensão de Gómes Méndez (2009), compreende-se que a terminação aplicada para descrever aterros sanitários modernos, implica nas características: i) armazenamento temporário dos resíduos coletados em recipiente adequado - do tipo plástico ou metálico, transferido às estações de tratamento do resíduo, os aterros. Tais unidades são controladas ambientalmente, a partir do reaproveitamento do gás emitido para fins energéticos, e tratamento do chorume, de forma a evitar a contaminação em lençol freático. Em análises comparativas entre o formato dos aterros modernos e as adaptações necessárias para transformar tais recintos em unidades de tratamento modernizadas, verificam-se em Gómes Méndez (2009), benefícios da ordem ambiental a caracterizar contundentemente uma distância entre ambos os modelos.

mecânica, reciclagem térmica, incineração e disposição em aterros modernos (GOMES et al., 2008).

Gomes e colegas (2008) também apresentam uma pesquisa doutoral que verifica, dentre outros temas, o estágio do sistema de destinação final de resíduos sólidos na cidade de Chihuahua, México, com caracterização detalhada do processo de compostagem.

O critério utilizado pela pesquisadora é baseado na Análise do Ciclo de Vida, resumida em fases de inventário, avaliação e interpretação. Conta também com dados obtidos utilizando análise de multicritérios e avaliação laboratorial do produto oriundo da destinação final. Durante a triagem, verifica-se que apenas 22% do resíduo mensurado são submetidos ao processo de compostagem, quando o potencial verificado para aproveitamento é de 46% (GOMES et al., 2008).

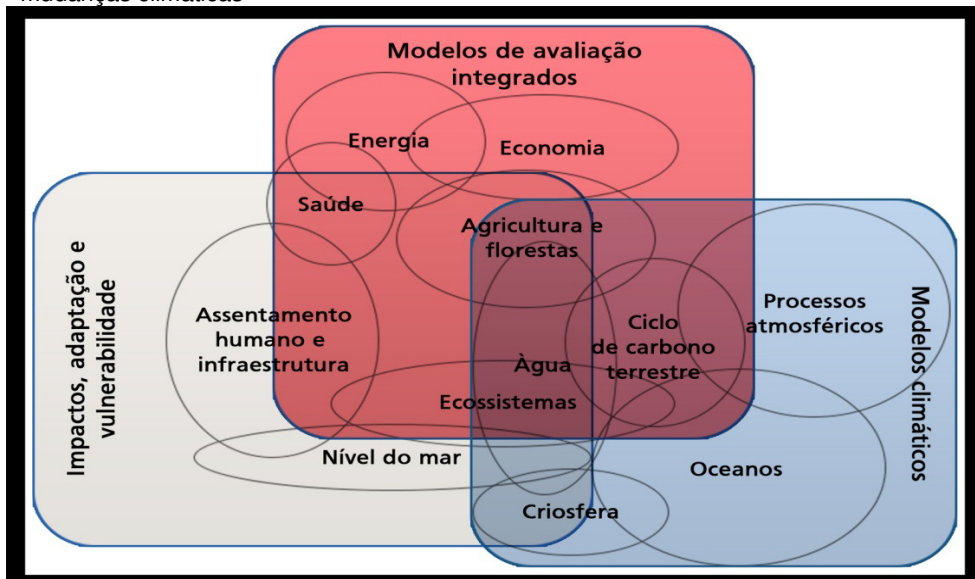
Sendo assim, mediante compreensão dos dados apresentados na gestão de resíduos sólidos em Chihuahua em Gómez Méndez (2009), nos processos utilizados nas UTTC por Bridi (2008), e acerca da possibilidade da compostagem receber prioridade e relevância como processo de destinação sustentável, estratégico, e de grande potencial, é possível concluir que há uma comprovada desvantagem da prática da compostagem, se comparada às outras diretrizes de destinação em resíduos sólidos.

Esta pesquisa assume esta problemática situação em sua complexidade e reconhece a necessidade de fomentar o setor. Acredita-se na prioridade desse tipo de pesquisa ao contribuir para o fortalecimento da previsão e robustez informacional, em setores de desenvolvimento de produtos destinados ao consumo de bens de primeira necessidade, em um quadro de sustentabilidade produtiva (WAHL; BAXTER, 2008), e mudanças climáticas (MOSS et al., 2010).

Em Moss et al (2010) é apresentada uma investigação no eixo das mudanças climáticas, com considerações acerca de como funcionam os métodos de previsão utilizados pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas - *International Panel on Climate Changes* (IPCC), em um espaço de previsão científica com alcance de duas ou três décadas. Tais previsões focam-se na prospecção de eventos extremos, para possibilitar a implementação de melhores condições de adaptação às futuras gerações.

Abaixo, na Figura 2, é indicada uma representação de como tais modelos se relacionam entre si em uma modelagem conceitual utilizando esquemas para aquisição da compreensão:

Figura 2 - Três grandes tipos de modelos e cenários de análise na pesquisa em mudanças climáticas



Fonte: Adaptado de Moss et al.. (2010) pelo autor

Moss et al. (2010) descreve que tais modelos representados acima estão relacionados em três graus, dados os níveis de complexidade e necessidade de simplificação, que contribuem antecipadamente para o entendimento da relevância desta pesquisa, e são baseados na necessidade em correlacionar: i) Modelos de avaliação integrados; ii) Modelos climáticos, e iii) Avaliação de Impactos.

Os campos maiores e coloridos ilustram grandes modelos e cenários de análise das mudanças climáticas, enquanto as áreas internas menores representam a integração de modelos de avaliação, representações simplificadas que necessitam lidar com os cenários complexos dos modelos climáticos, no qual pesquisas como esta se inserem.

Torna-se verificável então, mediante a apresentação de tais modelos, a necessidade de desenvolvimento teórico e preditivo de novos cenários socioeconômicos (SAREWITZ; PIELKE, 1999), apropriados a fornecer sustentação científica ao conteúdo apresentado na forma de relatórios desenvolvidos pelo IPCC, e gerar resultados sólidos a serem utilizados nas pesquisas em um quadro de sustentabilidade versus vulnerabilidade (MOSS et al., 2010).

A necessidade em aumentar a qualidade das informações geradas para o desenvolvimento de novas tecnologias está diretamente correlacionada ao conteúdo de previsão (SAREWITZ; PIELKE, 1999) de necessidades do usuário, e possui vínculo com práticas de melhoria no desenvolvimento de processos. Isto se dá devido a uma necessidade em aprimorar o nível das informações para melhoria no desempenho na realização de tarefas.

Moss et al. (2010) descreve a correlação entre tais modelos complexos e simplificados:

Integrated assessment models are used to develop emissions scenarios, estimate the potential economic impacts of the climate change and the costs and benefits of mitigation, simulate feedbacks, and evaluate uncertainties. Because they are increasingly comprehensive and include more detail about air pollutant emissions and land use, these models are increasingly important for research on the interaction of climate change with other policy objectives (such as air-pollution control and biodiversity protection) (...) The models and frameworks span the range from biophysical to economic, and explore the consequences of changes in climate for climate-sensitive resources and activities, such as agriculture, water resources, human health, ecosystems and coastal infrastructure (...) When impacts models include representations of changes in fluxes of greenhouse gases to the atmosphere from natural and managed systems, they are useful for studying climate system 'feedbacks'; for example, from forest dieback or permafrost melting (MOSS et al., 2010, p. 4).³

A previsão de eventos climáticos como apontado em Moss et al.(2010) e as devidas medidas tomadas na necessidade de precaução podem ser correlacionadas com Sarewitz e Pielke (1999), uma vez que procedimentos para melhoria na elaboração de previsões científicas em pesquisa contribuem no setor produtivo ao colaborar para futuras elaborações de projetos, dado um fundamento com a realização das práticas científicas.

Ainda segundo Sarewitz e Pielke (1999), a preditibilidade científica busca aperfeiçoar previsões em futuro, não a partir da dedução de eventos percebidos na natureza diretamente, mas de métodos numéricos sofisticados, de forma a antever o comportamento ou evolução de fenômenos complexos.

Dessa forma, aumenta-se a robustez das ferramentas de governança, e compreensão acerca da necessidade de aprimoramento da capacidade organizacional, através de critérios em tomada de decisão⁴ e previsão em sistemas complexos. Neste recorte compreende-se a relevância da criação de políticas, tal

³ Tradução realizada pelo autor: *Modelos de avaliação integrada são usados para desenvolver cenários de emissões, estimar potenciais impactos econômicos de mudanças climáticas e custos e benefícios de mitigação, simular feedbacks e avaliar incertezas. Dado que estão cada vez mais abrangentes e incluem mais detalhes sobre emissões de poluentes atmosféricos e uso da terra, tais modelos são cada vez mais importantes para a pesquisa acerca da interação de mudanças climáticas com outros objetivos políticos (como o controle da poluição do ar e proteção da biodiversidade) (...) os modelos e estruturas abrangem a faixa biofísica a econômica, e exploram as conseqüências das mudanças climáticas sobre os recursos e as atividades sensíveis ao clima, como a agricultura, recursos hídricos, saúde humana, ecossistemas e infra-estrutura costeira (...) Quando os modelos de impactos incluem representações de mudanças nos fluxos de gases de efeito estufa, para a atmosfera, dos sistemas naturais e de possível gestão, são úteis para o estudo do 'feedbacks' de sistema climático, como por exemplo, de morte de florestas ao derretimento do permafrost.*

⁴ De forma a contribuir para a tomada de decisão no ambiente de projetos de Design, Amaral et al. (2006) apresenta ferramentas em fase de Projeto Conceitual (PC), tais como o Método de Pugh, ou Método da Matriz (cf.p. 282).

como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por possuir correlação em nível executivo com a necessidade de controle, declarada por normas e regulações.

Mediante consulta em disciplinas que se propõem a estudar a história do desenvolvimento de artefatos, revela-se que a necessidade de previsão no intento de possibilitar práticas de precaução é avaliada como um dos grandes indícios de evolução do homem (FRIEDMAN, 2000), considerando o avanço no estágio de desenvolvimento dos métodos científicos e ferramentas de amparo legal, judicial e executivo.

Como já apresentado anteriormente, verifica-se que o desenvolvimento dos paradigmas da Sustentabilidade - bem como sua adesão e processual evolução -, provocaram o retorno da validade social do Design como prioridade nas relações de consumo (POLAK, 2007; MORELLI, 2007; PIMENTEL; MOURA; OLIVEIRA, 2012).

O conteúdo das diretrizes da sustentabilidade no nível social se relacionam com a temática dos Resíduos Sólidos, frente à verificação da problemática no cenário trabalhista, e mediante o tipo de atividade realizada pela categoria da classe trabalhadora em partes da tarefa de coleta, separação e destinação. Tal verificação demanda a melhoria no setor de gestão de resíduos, dado o mau desempenho da atividade em aterros sanitários (NESPOLO, 2004).

Portanto, a partir da descrição das atividades acima, é possível afirmar que o projeto de todo o Ciclo de Vida dos produtos (incluindo etapas de uso e descarte) necessita de planejamento racional e multidimensional, se consolidando frente a variáveis de planejamento em Design, Ciência, e no âmbito legal, tendo como fundamento princípios de precaução e necessidade de previsão.

Como constatação básica para reconhecer os benefícios da previsão no desenvolvimento de práticas científicas, é necessária a utilização de materiais que possibilitem resultados objetivos, métodos racionais, e práticas de avaliação constante, de forma a oferecer benefícios diretos, constatados como por exemplo em áreas da saúde e trocas comerciais (SAREWITZ; PIELKE, 1999).

Mediante a necessidade de realizar previsões em setores como o de desenvolvimento tecnológico, e apontar princípios de precaução amparados por lei (DEON SETTE, 2010) - tal como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), percebe-se que, a boa previsão resulta positivamente a partir de critérios de decisão conduzidos.

Tais benefícios podem ser verificados também no caso de práticas de Design voltadas à resolução de situações emergenciais, tal como eventos climáticos

extremos, ou situações responsáveis por ocasionar, por exemplo, novos fluxos demográficos e decorrentes agravamentos da precarização da qualidade de vida de populações (geralmente as que já se encontram em condições de risco social).

A correlação entre a pesquisa para o desenvolvimento de melhores cenários adaptativos, e geração de novos artefatos por meio de metodologias em Design, é direta. A fundamentação teórica apontará a contribuição de vários autores em tal cenário [Benyus (1997); Ursprung (2007); Polak (2007); Morelli (2007); Moss et al. (2010), Vasileiadou; Heimeriks; Petersen, (2011)].

Em coesão com a necessidade de produzir artefatos que atendam tais demandas, a atividade de projeção necessita atender também situações de calamidade social, que usualmente são resultados diretos de eventos extremos decorrentes de mudanças climáticas (PALLERONI, 2007), apresentando também melhoras contínuas na investigação de novas práticas de prevenção no setor ambiental [IPCC (2007); Moss et al.(2010); Vasileiadou, Heimeriks, Petersen(2011)]. A figura 3 contribui para ilustrar tal demanda no setor de Design:

Figura 3 - Móveis desenvolvidos em Louisiana (USA) para atender demandas de populares utilizando baixo custo produtivo, após ocorrência do furacão Katrina em 2005:



Fonte: Palleroni (2005)

Sendo assim, são identificados por esta pesquisa, objetivos no campo da modelagem de simulação e controle, de forma subsidiar a mesma com dados de

importância para etapas de projeção em design, objetivando-a sob retratos específicos de realização projetual.

Para isso, são buscadas metodologias através do desenvolvimento de novas formas de conceber soluções de projeto, a partir de uma interação maior com o campo da experimentação e uso da criatividade, que, por sua vez são responsáveis por expandir os limites das ferramentas de projeção, tal qual um constante processo na agenda de pesquisa.

Verifica-se, no campo da Arquitetura e fabricação digital, tal benefício e evolução no estado da técnica, a partir da utilização de simulações físicas, engenharias de Algoritmos Evolucionários, e código de linguagem [Grefenstette (1986); Gero (1996); Cagan, Degentesh e Yin (1998); Bentley (2000); Bentley et al. (2001); Roudavski (2009); Varela (2009); Oxman e Oxman (2010); Stankovic (2011); Martino e Celani (2012)]. Assim tornam-se executáveis as idéias geradas pelas abstrações no desenvolvimento de projetos na arquitetura digital (NARDELLI, 2007).

O resultado das novas interações com as ferramentas utilizadas em projeto é um aumento direto na quantidade de modificações possíveis, tanto no escopo de projeto, como nas operações técnicas baseadas em parâmetros. Estas são consideradas modificações estruturais na forma de realizar projetos (VARELA, 2009), possibilitando um desempenho melhor na geração de respostas a problemas projetuais, e, portanto, melhores soluções.

Adjacente ao eixo de contribuições de transferência de conhecimento dos Domínios Naturais à realização de projetos, torna-se necessário também apresentar considerações importantes no quadro de políticas, tal como a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil (BRASIL, 2010a), bem como suas possibilidades em potencial acerca do processo de compostagem no setor de desenvolvimento de produtos inspirados nos Domínios Naturais [Benyus (1997); Sachs (2007); Ursprung (2007); Manzini e Vezzoli (2008); Dimas (2009); Nagel et al. (2010)].

Desta forma, os resultados desta pesquisa apresentam material apto a ser utilizado como referência e contribuição para o desenvolvimento de Design Sustentável, com foco na investigação de resíduos sólidos orgânicos, e sob a possibilidade de atuação da compostagem como contribuinte para melhorias na atividade.

1.2 Problematização

É necessário reiterar que esta pesquisa é voltada a contribuir no setor de desenvolvimento de produtos ao investigar o objeto de estudo da compostagem.

A importância da compostagem na prática, é considerada mediante a atividade de indução de material orgânico ao estado de húmus (ácido húmico, '*humic-like substances*'), através de processos metabólicos que podem ser controlados para possibilitar benefícios com impactos diretos no Ciclo de Vida dos produtos.

O húmus caracteriza-se por ser um composto curado através da maturação e bioestabilização, capaz de catalisar a microagregação do solo para melhoria de atividades no plantio, habilitando-o por procedimentos de recuperação em terrenos erodidos ou empobrecidos, dado certas circunstâncias ambientais (PIMENTEL, 2011).

Compreende-se, para esse presente trabalho, que o objeto investigado consta em um quadro temático complexo com os eixos: (i) destinação final em resíduos sólidos; (ii) mudanças climáticas; e, (iii) formas de condução de projeto voltados a resolução de problemas no campo da importância ambiental. Porém, o recorte teórico pretendido para realizar uma pesquisa com o tema compostagem, prescinde do entendimento acerca da necessidade em controlar o processo de maneira oferecer contribuições para alcançar um nível elevado em atividades de Design baseadas em novas metodologias, com afinidade no eixo da sustentabilidade.

Portanto, o foco da pesquisa é voltado a investigar a compostagem com problema no campo projetual com apresentação de uma simulação. Para tal, compreende-se que o universo investigatório conhecido, será visitado posteriormente em uma intersecção entre Sistemas Artificiais e Domínios Naturais, com aprofundamento específico no campo da compostagem e sua simulação.

Mediante a apresentação de uma fundamentação teórica, a abordagem proposta para a formação de um percurso de investigação com etapas de pesquisa é avaliada a partir de um alinhamento para conduzir futuras etapas voltadas a atividade de projeto.

Sendo assim, constata-se que a compostagem é conhecida como processo que pode ser induzido a partir do manuseio de pilhas chamadas leiras⁵ (NESPOLO, 2004), podendo ter seus atributos estudados em situações de decomposição e mineralização (redução de material em partes menores e inorgânicas).

⁵Nome da organização espacial dispensada aos resíduos orgânicos no processo de compostagem: é um procedimento que têm por objetivo certificar a evolução térmica do montante, ao compor um envoltório sólido com centro de calor. Manter tal centro com temperatura maior que a superfície é o critério mais importante de toda a operação.

Porém, o resultado do processamento verificado ao final da bioestabilização, e mesmo durante várias etapas durante o processo, é tido como adverso tal como apresenta Gómes Méndez (2009), dado a verificação do teor nutritivo do composto gerado. Sobre este assunto a autora apresenta as seguintes considerações:

Os resultados globais do processo de compostagem sem controle de emissões indicam um impacto ambiental adverso em todas as categorias consideradas, já que os benefícios do composto não compensam os impactos negativos do consumo de eletricidade e diesel e as emissões do processo (GÓMES MÉNDEZ, 2009, p. 9).

Nesta citação verifica-se a necessidade de aprimorar o controle da compostagem, dado uma comparação do benefício de seu rendimento com os impactos ambientais compreendidos para propor a execução do processo, ou mesmo acerca do controle e simulação de biomassa, como verificado em Puig Arnavat (2011).

O devido aprofundamento a partir de uma contribuição de Gómes Méndez (2009) apresentar-se-á em etapas posteriores. Porém, assuntos envolvendo problemas no campo da simulação, planejamento e avaliação de processos envolvendo aproveitamento energético utilizando biomassa, podem ser verificados com detalhamento em Puig Arnavat (2011).

A contribuição científica de estudo de tais problemas em torno de processos naturais apresenta considerações para a área do Design, encontrando no universo de campos que compõem Domínios Naturais a possibilidade de verificar contribuições nos ramos de: i) inspirações (DIMAS, 2009); ii) analogias (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010; NAGEL; STONE, 2012); iii) organizações para parâmetros funcionais (NAGEL et al., 2010); iv) soluções desenvolvidas por Design (NAGEL et al., 2010), e, v) parâmetros para a avaliação de produtos e materiais (CALEGARI; OLIVEIRA, 2013, 2014).

Ao alcançar tal delimitação, obtendo material utilizável ao Design e, dessa forma, cumprir etapas a serem declaradas pela metodologia a ser apresentada, são investigadas contribuições no campo da Simulação. A implicação em tal campo se dá mediante a possibilidade de adquirir resultados para o desenvolvimento de novas metodologias, como apontado anteriormente nesse trabalho por Morelli (2007) e Oxman e Oxman (2010), úteis para o desenvolvimento de novos produtos.

Sendo assim, o benefício direto desta pesquisa para o desenvolvimento de novas metodologias é buscado mediante o aumento da flexibilidade na execução de projetos em novas áreas, onde a atividade do Designer pode ser realizada. O objeto de estudo investigado pela simulação apresenta subsídio para contribuição, debate, discussão

de resultados, e contribuição para a resolução de futuras necessidades, perpassando pela imediata necessidade de investigar melhores soluções para a gestão de resíduos sólidos orgânicos em cidades.

Ainda acerca da importância do assunto para a região metropolitana, verifica-se que no Brasil, das 27 unidades federativas, somente 14 possuem unidades de compostagem. Dentre os Estados que possuem maior número em relação ao total de municípios, o Rio Grande do Sul destaca-se com 66 municípios (13,3%), sendo seguido pelos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais⁶.

A capital gaúcha se destaca no cenário nacional como um dos centros urbanos que possui programa de compostagem, sendo uma das poucas no Brasil inclinada a esse perfil de conduta com coleta e tratamento de lixo orgânico, tornando-a um exemplar viável no universo da pesquisa.

1.3 Delimitação do tema

Esta delimitação torna o objeto de estudo compostagem investigável no campo do desenvolvimento de produtos, baseado na geração de conhecimento (*knowledge-based design*) para a realização de uma simulação.

Não será abordado o elemento de interação humana com o resíduo orgânico, fator que intervém diretamente no andamento do processo de compostagem junto aos fatores mencionados acima, apresentado como verificação de um comportamento emergente em um quadro de consumo sustentável (KAWASAKI, 2010). No quadro urbano, é possível verificar esta variável, de forma a tornar o quadro das práticas em disposição final de resíduos sólidos orgânico ainda mais diversificado, dependente de melhorias em outros setores interligados.

De forma a ilustrar a complexidade apresentada por esta questão teórica, Lin, Fujii e Wasg (2011), mediante a necessidade de comparar a compreensão das práticas sustentáveis entre japoneses e chineses, verificaram que a população japonesa entrevistada compreende uma diversidade de boas práticas sustentáveis e a necessidade de sua realização. Em etapas de avaliação de pontuação de resultados, acredita-se que tal resposta se dá em função de que os entrevistados no Japão elaboraram respostas mais objetivas, contribuindo para a redução da possibilidade de desvio nos resultados.

⁶Dados atualizados acerca do porte dos municípios, IDH e renda da população podem ser verificados no link: www.scp.rs.gov.br

Com resguardo a ambas as situações políticas e civis de cada país, e dada a constatação de possibilidade de viés no resultado da pesquisa, os autores (LIN; FUJII; WASG, 2011) acreditam que tal resultado está ligado ao maior contato de japoneses com pesquisas no formato de entrevistas, ou ainda, à maior exposição destes a informações abertamente disseminadas e voltadas ao campo ambiental.

Com base na necessidade de descrever as variáveis de interação comportamental envolvendo a interação do lixo, e frente à contribuição dos autores no campo da grande área das boas práticas ambientais (LIN; FUJII; WASG, 2011), do quadro de consumo e produtos 'verdes' (KIM; CHOI, 2005), e acerca da compreensão da sustentabilidade, tais variáveis são:

- i) A compra de artefatos voltados à redução do problema ambiental pode ser justificada por uma motivação alinhada com a coletividade, de crença na possibilidade de melhoria do estado do meio ambiente ao comprar tais produtos;
- ii) O julgamento positivo de uma boa conduta ambiental está ligado a um cenário favorável e recorrente no setor público, voltado à mitigação do lixo;
- iii) Mesmo diante das duas caracterizações acima, há a possibilidade de aversão estética a produtos por consumidores que possuem alguma compreensão acerca da sustentabilidade, dado o julgamento negativo de artefatos de luxo onde itens reciclados estão presentes.

Ou seja, mesmo que a tecnologia e a pesquisa auxiliem e ofereçam recursos avançados para a realização de investigações no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, e que contribuam para boas práticas ambientais em escala industrial na destinação final de resíduos sólidos (NESPOLO, 2004; BRIDI, 2008; GÓMES MÉNDEZ, 2009), é verificado que a interação humana com o lixo é um campo vasto de resultados.

Portanto, o delineamento proposto reitera a importância de pesquisar o aspecto projetual deste campo de pesquisa, de forma a distanciar-se dos aspectos comportamentais ligados a recepção de eventos sob ponto de vista mercadológico.

A delimitação é baseada em uma análise global, a receber afinamento de forma a constituir necessidades funcionais aplicáveis no desenvolvimento de produto, de maneira qualitativa e, portanto, avaliada em cada etapa. Tais necessidades podem ser então utilizadas como especificações técnicas (úteis na criação de novos artefatos) a partir de uma simulação, ou mesmo em diretrizes a serem aplicadas em atividades

fora do desenvolvimento de produto, como no setor de engenharia de materiais e como contribuinte na formulação de ferramentas digitais no campo do Design.

1.4 Problema de pesquisa

Que aspectos da compostagem podem ser adquiridos a partir de sua simulação, de forma a gerar conhecimentos que possam ser aplicados no desenvolvimento de produtos industriais para esse fim?

1.5 Hipótese

A simulação paramétrica do processo de compostagem pode contribuir para o desenvolvimento de produtos ecoeficientes a partir das informações obtidas nesta operação.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo geral

Simular o processo da compostagem utilizando desenho paramétrico, de forma a gerar informações em nível de projeção.

1.6.2 Objetivos específicos

- i) Compreender a compostagem como um sistema natural, cujo conhecimento pode ser estudado e aplicado no processo de Design;
- ii) Modelar o comportamento entre as variáveis do processo de compostagem;
- iii) Determinar a relação conceitual entre variáveis endógenas e exógenas;
- iv) Comparar os resultados encontrados na simulação do processo de compostagem com aqueles disponíveis na literatura científica.

1.7 Justificativa

Desde o evento Eco 92, que deu ao Brasil um lugar bem posicionado como agente em assuntos ecológicos, a compostagem é reiteradamente apresentada como prioridade no tratamento em resíduos sólidos orgânicos (JACOBI; BESEN, 2011).

Em sua pesquisa, Nespolo (2004) compara a qualidade sanitária de compostos processados por compostagem industrial com compostos resultantes do revolvimento manual das leiras, em um estudo conduzido pela necessidade de apontar saídas estratégicas para o problema de logística na gestão de resíduos sólidos na cidade de Porto Alegre.

São apresentadas propostas diferenciadas para a utilização da compostagem em práticas urbanas como a Biorremediação (*landfarming*⁷), através de uma pesquisa descritiva e exploratória (NESPOLO, 2004). Constata-se, porém, que não há no recorte da área uma investigação objetiva utilizando a expertise que a cultura de projetos em Design pode realizar.

Complementarmente segundo BRASIL et al (2010), verifica-se uma lacuna no setor de desenvolvimento de produtos voltados a suprir necessidades de compostagem de resíduos sólidos orgânicos no ambiente doméstico, demandando a realização de protótipos na área e indicando lacunas que serão perseguidas por esta pesquisa.

Com uma contribuição no mesmo direcionamento, para uma importância do processo de compostagem para a região metropolitana de Porto Alegre, verifica-se em Bridi (2004) a necessidade de criar outras soluções para o aprimoramento do desempenho do sistema de gestão de resíduos.

Tais soluções visam investigar problemas que envolvem fundamentalmente a necessidade de mudança para um estilo de vida diferenciado, e ao mesmo tempo, foca-se em propor modificações nas instalações onde se dão as diretrizes de gestão de resíduos sólidos, após a fase de acondicionamento residencial e coleta do lixo metropolitano (BRIDI, 2004).

Pontualmente, o estudo favorece o desenvolvimento científico do ponto de vista do: i) transporte dos resíduos; ii) avaliação das vantagens que a própria compactação angaria nas ações de transporte; iii) possíveis modificações nas ações de triagem e compostagem do Resíduo Sólido Urbano (RSU). Ou seja, tratam-se de problemas sobre as características do acondicionamento, transporte, uso e escoamento (BRIDI, 2004).

⁷ A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normatiza o *landfarming* ou tratamento de solo, através da NBR 13894 de Junho de 1997, norma que tem como objetivo realizar estudos a partir da denominada camada reativa, apresentada nos termos dispostos no texto como: '*Parte da zona de tratamento que possui as condições necessárias à degradação, transformação e imobilização dos constituintes dos resíduos* (NBR 13894/1997 p. 1)'. Agostini; Sundberg e Navia (2012), acerca dos processos que utilizam a biodegradação em aterros, comenta que estes contêm todo o tipo de resíduo, e que os processos químicos e físicos dos reatores encontrados em aterros são os mesmos encontrados em processo de compostagem ou tratamento sanitário, afirmativa estrutural para o entendimento deste trabalho.

Como parte central das ações desta pesquisa, o conhecimento gerado por simulações apresenta uma recorrente importância em descrições destinadas à transferência tecnológica e ensino. Ao estar fortemente relacionada à necessidade de sistematização, descrição e gestão de informação (ABBUD, 2009), a transferência de conhecimento trabalha diretamente com a variável da aquisição de competências, compreendendo a necessidade de simplificação informacional (MORIN, 2001), e aplicabilidade prática.

Em Haymake e Welle (2008), é verificada a utilização de Modelagem Informacional da Construção (*BIM - Building Information Modelling*), para a simulação do desempenho da construção em ambiente virtual. Verifica-se o potencial desta tecnologia em declarar resultados parciais em fases anteriores ou iniciais da atividade de projeção no design, indicados no caso de inviabilidade de realização e na demanda por processos para avaliar alternativas no desenvolvimento de soluções.

A contribuição deste estudo de caso, no recorte pretendido, destina-se de forma secundária ao aumento da compreensão acerca das variáveis de controle na atividade de projeção dentro do ambiente produtivo, tais quais tempo, qualidade e custo - e sua relação com a construção conceitual do projeto, onde o objeto de estudo é a compostagem.

As avaliações de alternativas a serem utilizadas neste trabalho constituem-se no processo de design como critérios para tomadas de decisões práticas (*decision making*), em uma aplicação paralela nas avaliações em etapas informacional e conceitual, colaborando para uma compreensão envolvendo os: i) tipo de modelagem informacional demandada para os critérios de Design em projeto conceitual; e ii) tecnologias que podem melhor gerir processos e informações, e gerar melhores e contínuos resultados (HAYMAKE; WELLE, 2008).

Portanto, ao estudar a compostagem em uma descrição dada pela simulação, os conhecimentos gerados podem trazer informações para a compreensão acerca do processo, aprimorando a atividade de projeção de composteiras e outros similares, mediante uma incursão interdisciplinar pouco usual.

Tal incursão apresenta as seguintes características: i) é descritível por uma abordagem que a atividade realizada por um Designer pode compreender (TOMIYAMA et al., 2009); ii) é alinhada com uma teoria bem assimilada pela sustentabilidade (BENYUS, 1997) e, iii) tem coesão com a pesquisa no campo da sustentabilidade (CAPORELLO; WOLFE, 1995), conforme encontrado mediante revisão de literatura em Veiga (2010).

A relevância direta em realizar projetos de produtos voltados a esta finalidade advém da importância estratégica reivindicada por processos de destinação final em resíduos sólidos orgânicos (GÓMES MÉNDEZ, 2009; PUIG ARNAVAT, 2011); da capacidade por restaurar solos descaracterizados de seu potencial produtivo (SANTOS, 2003); e, em acordo com a verificação de um comportamento emergente em um quadro de consumo sustentável (KAWASAKI, 2010).

Reitera-se tal relevância mediante a compreensão prospectiva de sua aplicação estratégica no quadro de fornecimento de itens de produção agrícola, apresentando, portanto, importância ao estudo de Design dado um cenário entre tecnologia e sociedade, conforme é possível ilustrar mediante a Figura 4:

Figura 4 - Registro de hortas alternativas no Japão



Fonte: Publicada sob licença *creative commons* em OURWORLD (2010)

Junto a práticas para destinação final de resíduos sólidos - como incineração e reciclagem (de discutível resultado ecológico) - a compostagem como processo final em áreas urbanas apresenta bom desempenho e redução dos níveis de poluição em um cenário geral do cálculo de emissões de carbono (VASILEIADOU; HEIMERIKS; PETERSEN, 2011).

Tal resultado positivo está ligado ao objetivo geral dos processos de destinação em gestão do resíduo baseado na maximização do controle, enquanto limita o armazenamento no meio ambiente ao mínimo possível de sua quantidade (NOWOSIELSKI; NAJDEK, 2007).

Porém, tal como é verificado nas atividades internas dentro da gestão de resíduos sólidos orgânicos, possíveis alterações nas proporções dos reagentes do

processo, nos elementos atmosféricos do ambiente, ou mesmo intervenções mecânicas diretas nas amostras, podem alterar o processo metabólico da atividade, comprometendo seu êxito (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

Tendo em vista os artefatos destinados a cumprir diretrizes para o bom procedimento da atividade em um quadro da gestão de resíduos sólidos orgânicos, é preciso que estes evitem tais problemas.

Nessa caracterização, verifica-se um quadro similar para a prática da compostagem. Apesar de toda a utilidade da compostagem em contribuições nativas no campo da sustentabilidade ambiental, para a economia, e das práticas e diretrizes do cenário produtivo, é verificado que dentro do cenário dos hábitos correlacionados ao manuseio de produtos ligados ao fator ambiental, o manuseio do lixo - tal como a reciclagem e a compostagem, possuem problemática recepção social (CARMO, 2012), como apresentado no item Delimitação do tema. Isto contribui para:

- i) Descaracterização profissional dos trabalhadores em tais setores;
- ii) Entendimento de um afrouxamento do controle Estatal dentro da gestão no setor;
- iii) Aprofundamento da exclusão social dos envolvidos na atividade;
- iv) Aversão ao manuseio prático;

Portanto, verifica-se nos setores dos agentes que realizam as práticas de destinação final de resíduos sólidos (CARMO, 2012), uma necessidade de elucidar pontos positivos encontrados e adversidades nos resultados práticos da destinação final de resíduos sólidos orgânicos, realizada com o processo da compostagem (NESPOLO, 2004; GÓMES MÉNDEZ, 2009).

Essas questões tendem a conduzir variáveis nos estudos científicos relacionados à gestão de resíduos sólidos orgânicos, sendo complementadas por áreas que envolvem compostagem e sustentabilidade, agregando importância em afinidade com as Mudanças Climáticas, e tornando a área continuamente sujeita a melhorias.

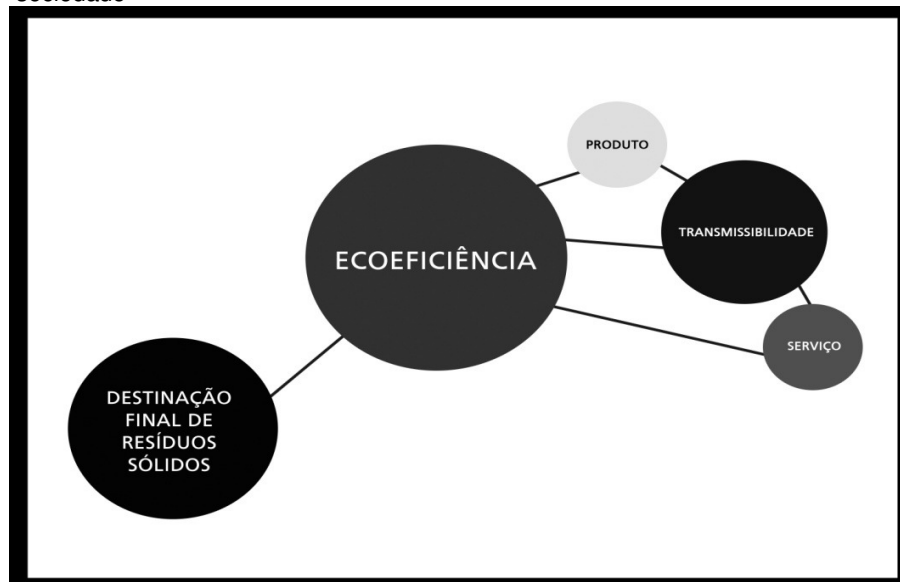
A descrição dos benefícios resultantes desta presente pesquisa advém em uma ordem dada por uma correlação entre design, compostagem e inovação – dentro do contexto entre tecnologia e sociedade (PIMENTEL; OLIVEIRA; MOURA, 2012).

Tais benefícios são verificados na prioridade que a atividade de gestão de resíduos sólidos compreende:

- i) Dado um quadro de destinação final de resíduos sólidos (SEADON, 2010);
- ii) Capacidade de correlação de qualidades entre produto e serviço - Transmissibilidade (MANSHARAMANI, 2005)
- iii) Benefícios de ordem econômica, verificados pela orientação da diretriz da Ecoeficácia como critério de avaliação no desenvolvimento de produtos e processos (DAVIS; SONG, 2006; BURNETT; HANSEN, 2008), com priorização no foco de atuação operacional para a utilização da compostagem na Logística Reversa (MANSANO; KIECKHÖFER, 2012).

A Figura 5 apresenta um esquema de tais considerações:

Figura 5 - Correlação entre as áreas de conhecimento a serem descritas para a compreensão do presente objeto de pesquisa em um contexto de tecnologia e sociedade



Fonte: Autor (2015)

A figura descreve a interligação com que prioridades no campo da gestão de resíduos sólidos se relacionam, aonde diretrizes para a condução de processos no campo da destinação final aplicada à resíduos sólidos, são balizadas por valores firmados pela Ecoeficácia, de maneira permitir a avaliação da emissão de resíduos. Tal possibilidade de transmissão de saberes é verificada em um cenário de transferência tal qual um sistema-produto.

Tal esquema contribui para a verificação do nível de prioridade da Ecoeficiência como diretriz capaz de orientar, tanto as linhas-guias no desenvolvimento de produtos voltados a uma demanda sustentável, quanto as práticas de destinação final em resíduos sólidos, em sua função de complementaridade.

Atrelado a isto, compreende-se que a compostagem, como processo prioritário destinado aos resíduos sólidos orgânicos, contribuiria muito para avanços concretos a partir de uma atribuição de metas na destinação dentro do setor comercial, produtivo e econômico – tal como normas como a PNRS preconizam, mesmo que em sua maioria estejam voltadas a facilitar a disseminação da reciclagem (QUEIRUGA; GONZÁLEZ BENITO; LANNELONGUE, 2011).

Em contrapartida, verifica-se, que, para que a compostagem ganhe status de prática basilar nos hábitos relativos ao manuseio do resíduo orgânico, faz-se necessário sua inclusão nos programas de custos dos setores econômicos e mudanças sistêmicas, como verificado na contribuição de Peluso (2002), em: *'para que a esfera ambiental seja integrada à economia, é preciso a criação de mercados para que esses bens e serviços tenham preço* (PELUSO, 2002, p. 17)'.

Isso somente poderia ser viabilizado mediante processos de valoração - compreensão de um valor (VEIGA, 2010), e valorização econômica. A Peluso (2002) deve-se novamente a contribuição:

Não existe, portanto, um desenho efetivo para as políticas públicas, ou um novo modo de regulação nas políticas públicas ambientais no Brasil, que seja efetivo no sentido de combinar preservação com uso econômico dos fatores de produção (PELUSO, 2002, p. 9).

Para tal, verifica-se novamente a importância da compreensão do processo de compostagem no campo da sustentabilidade, a ser investigado para caracterizá-lo frente à gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos, contribuindo assim para o acúmulo de competência (SOUZA; SEGATTO-MENDES, 2008), e geração de conhecimento: processos de transferência de conhecimento, dado em etapas intrínsecas à formação de critérios para tomada de decisão nas atividades produtivas (TONG, 1987).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A partir da contribuição de Haymake e Welle (2008), compreende-se que o estudo no campo da simulação do processo de compostagem traz uma compreensão de sua importância diretamente relacionada à sustentabilidade. O presente capítulo realizará uma revisão acerca destes e outros assuntos correlatos, voltados a oferecer subsídios para a investigação acerca do objeto de pesquisa escolhido.

Para a investigação de tais questões, serão abordados pontos pertinentes a partir de um foco centrado na pesquisa em Design, a investigar as áreas dos Domínios Naturais [Benyus (1997); Ursprung (2007); Sachs (2007); Dimas (2009)], compostagem [Trautmann e Krasny (1998); Nespolo (2004); Bongochgetsakul e Ishida (2008); Gomes et al. (2008); Bueno Márquez (2008); Silva et al. (2008); Giusti e Marsili-Libelli (2010); Gómez Méndez (2009); Puig Arnavat (2011); Agostini, Sundberg e Navia (2012)], e simulação [Page Jr (1994); Girodan e Góis (2004); Terzidis (2006); Rütten(2006); Fisher (2009); Reynolds Jr (2008); Rudavksi (2009); Perros (2003); Buttigieg (2010); Stankovic (2011); Webb (2013)], de forma a possibilitar ações de simplificação (MORIN, 2001), descrição (TOMIYAMA et al., 2009), ensino e transferência de conhecimento (TONG, 1987).

A investigação a ser percorrida em tais áreas está relacionada a necessidade de avaliar a compostagem por meio de revisão com conhecimentos no campo do Design, de maneira apresentar contribuições que alcancemos principais questionamentos deste trabalho: em cada área global apresentada, portanto, será respondida uma questão subjacente, porém pertinente na correlação entre simulações e projetos de Design, e o processo de compostagem.

Para prover tais respostas, os tópicos ‘Conhecimento aplicado em ambiente de projeto’ e ‘Casos de conhecimento aplicado dos Domínios Naturais no Design’, foram desenvolvidos em acordo com o percurso das atividades, propondo correlações teóricas que ofereçam subsídio para as etapas de avaliações com base em informações contidas na Fundamentação Teórica.

Complementarmente, na área do processo de compostagem será elucidado as características de maior relevância, de forma a apontar informações necessárias na organização dos requisitos de projeto, enquanto que as considerações acerca do desenho de simulação estão voltadas a formalização de um percurso prático para a geração de requisitos de avaliação para as atividades práticas.

Ao transcrever conhecimento na forma de desenho, torna-se possível a utilização e realização de futuras melhorias na análise do processo de compostagem, de maneira beneficiar o planejamento da configuração de produtos, ou mesmo aplicar as informações geradas neste recorte em outros contextos. Esta transferência em terceiro nível a partir da extração de requisitos de projeto, pode ser denominada extrapolação ou experimentação.

No campo da Bioinspiração, a partir da revisão serão apresentadas contribuições para creditar a compostagem como objeto de pesquisa a ser investigado nos Domínios Naturais, capaz de oferecer subsídios conceituais ou práticos relevantes para a atividade de projeção, a partir de sua descrição como processo para o campo da transferência de conhecimento, em várias instâncias.

Para uma melhor compreensão e desenvolvimento do trabalho, o primeiro tópico a ser abordado descreve o perfil do conhecimento a ser apresentado na pesquisa para aplicação em etapas posteriores no desenvolvimento de Design, de maneira que o interessado na leitura compreenda a estrutura do relatório, e a prioridade de sua organização para a própria atividade de projeção, em posteriores desdobramentos da pesquisa.

2.1 Conhecimento aplicado ao ambiente de projeto

Realizar uma revisão acerca da utilização do conhecimento no ambiente de projeto descreve aparentemente, em algum nível, certa redundância no âmbito das atividades de ensino e pesquisa na pós-graduação em design.

Porém, ao constatar que atividades operacionais, avaliações e validações na investigação em Design utilizam alguns aspectos exclusivos para descrever um escopo de trabalho, este tópico visa refletir acerca da utilização da compostagem como objeto de pesquisa para o desenvolvimento de uma composteira, a partir de uma simulação baseada em conhecimento científico, aplicando uma metodologia com aspectos qualitativos e avaliações com base em análises visuais para validação de resultados.

Acerca da importância da utilização do Design, em Amaral et al. (2006) é apresentada uma contribuição para as práticas de ensino de projeto de produto, a partir da reunião das melhores iniciativas na área. Tal coleta de dados conta com a participação de professores, alunos e profissionais do ramo, a tratar desta

interatividade percebida na prática, com as devidas contribuições a serem exploradas especificamente neste tópico.

No quadro de contribuições geradas desta interação, verifica-se que os problemas descritos em projetos de Design tendem a tornar-se mais parecidos com aqueles do aprendizado, dado as ações compreendidas em práticas de melhora contínua na indústria, e aprendizagem corporativa (TONG, 1987, PIMENTEL; SILVA, 2014). Para um maior detalhamento acerca de procedimentos exclusivos percebidos na realização de design inovador em correlação com o ensino, é aconselhável verificar Cross (2001).

A partir de Tong (1987), é apresentado um cenário para a compreensão da forma com que é realizada a organização, avaliação e desenvolvimento de perfis de conhecimentos aplicados no processo de Design. Tais etapas descreverão desta forma, a resolução de problemas no processo de desenvolvimento de solução, de maneira experimental e expandir sua aplicabilidade no campo de teorias e metodologias de Design.

Tong (1987) reitera a utilização de conhecimento no desenvolvimento de Design, a partir da noção de Newell (1982)⁸: *'o conhecimento deveria ser utilizado para ajudar a resolver o problema, desde que a solução esteja limitada em aderir ao domínio teórico; ações que ignoram domínio do conhecimento tendem a criar correlações incorretas'* (TONG, 1987, p. 2)⁹.

A partir da citação acima é percebida a necessidade de associação objetiva não só ao desenvolvimento de aplicações da engenharia com a resolução de problemas direcionados pelas diretrizes taxonômicas (marcados pela aplicação analógica), como também a necessidade de realizar aplicações no campo de geração de soluções a problemas projetuais no ambiente da fonte do conhecimento inspirado. Um exemplo é, portanto, a exploração da compostagem dentro da esfera das bioinspirações a partir dos Domínios Naturais.

Acerca deste tipo de interação específica, verifica-se a demanda pelo desenvolvimento de inovações no campo da engenharia e Design, baseados na investigação conceitual biológica, de forma que possam ser preenchidos requisitos de projeto. A utilização do termo *abstração* ao correlacionar conexões entre Domínio Natural e sistemas de Engenharia, possui um papel protagonista nas primeiras fases

⁸ Newell, A. The knowledge level. In *Artificial Intelligence*, 1982, 18, 87-127.

⁹ Traduzido pelo autor (2014).

de Design, e é ferramenta valiosa durante o desenvolvimento da fase conceitual (NAGEL et al., 2010).

A partir de Nagel et al. (2010) é verificado que tais conexões entre Domínios Naturais e da Engenharia, apresentam uma contribuição de melhoria para a geração de alternativas em Design. Tais contribuições não constituem método (que fazem parte da compreensão básica que o designer necessita); porém, apresentam elucidação da correlação e possibilidades de soluções criativas entre ambas as áreas.

Tais contribuições podem ser aplicadas em demandas por realizar projetos destinados a clientes na esfera mercadológica, ou mesmo projetos que apresentam necessidade por melhorias. Apesar de ser uma aplicação racional, tal investigação possibilita abertura a novas abordagens criativas na elaboração de soluções projetuais, ao utilizar Domínios Naturais no contexto de projeto, como abordado por Nagel et al. (2010): *'Esta pesquisa demonstra que usar modelos funcionais para descrever sistemas biológicos podem representar designs naturais em um contexto de engenharia'* (NAGEL et al., 2010, p. 14)¹⁰.

É verificado o uso da modelagem funcional como passo fundamental no processo de planejamento funcional em Design. Segundo Nagel et al. (2010), durante a modelagem funcional ocorre a aplicação do mecanismo de transporte de informação, de maneira a transferir conhecimento dos Domínios Naturais para o campo de Design e Engenharia, tal como verificado no princípio de mimese investigado por Dimas (2009), Pimentel e Silva (2013), a ser apresentado na seção 'Domínios naturais', mais a frente.

A possível relação entre as contribuições de Tomiyama et al. (2009) e Amaral et al. (2006), a partir da interação entre possíveis formas de organização de conhecimento durante a atividade de projeto, e acerca do papel da abstração na modelagem funcional de projeto, é verificada em:

Tratar o problema de forma generalizada com a sua formulação em um plano abstrato é uma forma de abrir caminho para a obtenção de soluções melhores. Ignorar o particular e deter-se no que é geral e essencial previne que as experiências, preconceitos e convenções limitem a solução do problema de projeto. Essa generalização propicia uma formulação ampla e aberta, juntamente com o entendimento claro das restrições essenciais sem a consideração prévia de uma solução. A abstração também pode ser empregada na identificação de restrições fictícias, que poderiam limitar o emprego de novas tecnologias, materiais, processos de fabricação e mesmo novas descobertas científicas (AMARAL et al., 2006, p. 237).

¹⁰Tradução realizada pelo autor (2014).

São verificados, portanto, benefícios do desenvolvimento de novas taxonomias para aquisição de requisitos em Design como será apresentado também por Morelli (2007), a partir da tradução de conhecimentos na forma de artefatos funcionais, a partir dos Domínios Naturais.

Verifica-se, portanto, mediante a compreensão de Tong (1987), que a Teoria do Domínio utilizada no desenvolvimento deste trabalho a ser apresentada no tópico 'Domínios naturais' e 'Modelagem de Simulação', é epistemologicamente adequada para a descrição e direcionamento da investigação da solução de design.

Inclusive, verifica-se que há recorrência na utilização de um artefato conceitual (ou um processo) pertencente ao Domínio Natural, como forma de descrever melhor correlações das características na transferência entre ambos os domínios. É encontrada também equivalência acerca da necessidade de uma 'compatibilidade biológica' (BENYUS, 1997), utilizada na organização do processo a partir da investigação taxonômica, de forma a beneficiar o universo de tomadas de decisão, tal como pode ser verificado na pesquisa em biomimética¹¹ e utilização dos domínios naturais para a realização do Design.

Acerca das fases de projeto, Amaral et al (2006) apresenta a descrição de Projeto Informacional (PI), a partir do seguinte trecho:

O objetivo dessa fase é, a partir das informações levantadas no planejamento e, em outras fontes, desenvolver um conjunto de informações, o mais completo possível, chamado de especificações-meta do produto. Essas especificações, além de orientar a geração de soluções, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento (AMARAL et al., 2006, p. 212).

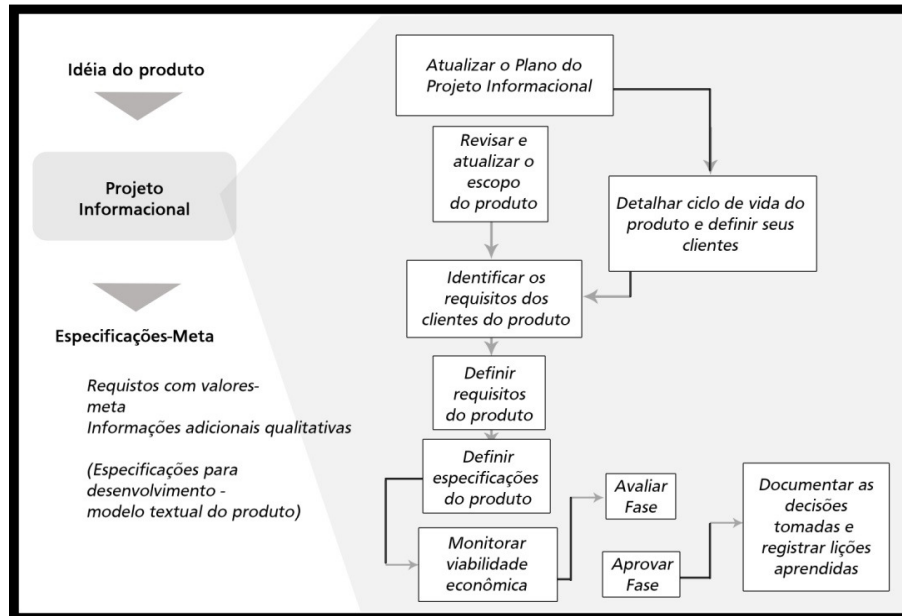
A partir do marco presente nesta fase, ocorre a definição do problema de projeto de produto, onde será investigado o detalhamento do problema a ser resolvido pelo desenvolvimento de soluções em ambiente de projeto. Tais soluções, em posterior etapa de seleção de alternativas, são equiparadas e avaliadas frente aos dados gerados e apresentados pelos requisitos de produto, como também pode ser verificado mediante a contribuição de Miguel (2008)¹², realizada no campo de

¹¹ Para mais detalhes, verifique o tópico 'Domínios naturais'.

¹² Para mais detalhes acerca da abordagem desenvolvida por Miguel (2008) em QFD, com contribuições às práticas de ensino no campo de projeto, verifique em: MIGUEL, P. A. C. *Implementação do QFD para o Desenvolvimento de Novos Produtos*. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008. Para uma compreensão acerca de incursões anteriores desenvolvidas mediante a aplicação do QFD no universo de produtos equivalentes com esta presente pesquisa, verifique: PIMENTEL, B. G. S.; SANTOS, S. S. SILVA, R. P. *Utilizando o QFD para o planejamento de configuração em design: projetos, rápidos, racionais e mirados na sustentabilidade*. In: CBECIMAT-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012, Joinville. CD-ROM, 2012.

investigação da participação do critério da qualidade (Desdobramento da Função de Qualidade – QFD) no desenvolvimento de produtos.

Figura 6 - Informações principais e dependência entre as atividades de Projeto Informacional



Fonte: Amaral et al (2006)

As especificações-meta comentadas na citação anterior, são caracterizadas por Amaral et al. (2006), como:

As chamadas especificações-meta de um produto são parâmetros quantitativos e mensuráveis que o produto projetado deverá ter. Assim, além de unidades, as especificações-meta deverão ter valores-meta, que são números que estabelecem o desempenho requerido. Nada mais são do que os requisitos do produto associados com valores-meta, os quais podem ser um valor específico (15 kg/s), uma faixa de valores (de 10 mm a 15 mm) ou valores com tolerâncias (15 ± 2) (AMARAL et al., 2006, p. 225).

O detalhamento descrito anteriormente é apontado como refinamento por Tong (1987), ao descrever no processo de Design as propriedades estruturais da taxonomia, conforme a citação:

O refinamento disponível de operadores restringe as regiões de espaço em especificações parciais que são construídas pelo processo de design; em contrapartida, o espaço de especificação restringe os operadores de refinamento a se alojarem junto ao espaço, ou seja, a criar sintaticamente especificações corretas (TONG, 1987, p. 9)¹³.

Complementarmente verifica-se a inclusão ainda durante a fase de PI, da coleta de dados e tecnologias existentes, disponíveis e úteis no universo da pesquisa, além de normas e patentes, de forma a fortalecer o ambiente de projeto com dados que

¹³Tradução realizada pelo autor (2014).

possam assegurar atributos de implementação de inovação, e bom prover enquadramento normativo e legal do produto a ser desenvolvido. Amaral et al (2006) apresenta tais prioridades em: *'i) procura de tecnologias e métodos de fabricação disponíveis; ii) procura de patentes sobre o produto que vai ser projetado; e iii) procura de informação sobre produtos similares'* (AMARAL et al., 2006, p. 215).

Conceitualmente, a partir de verificação das contribuições presentes em Nagel et al. (2010), e como será apresentado a partir da contribuição de Tomiyama et al.(2009), Bongochgetsakul e Ishida (2007), Gómes Méndez (2009), e Amaral et al. (2006), é demonstrado para a esfera do desenvolvimento de produto, a partir do apontamento do fluxo de energia, que:

...os requisitos ligados ao desempenho funcional representam os elementos de desempenho que descrevem o comportamento desejado para o produto. Esse comportamento pode ser descrito em termos dos fluxos de energia, material e sinal, ou por informações a respeito das operações e sua consequência (AMARAL et al., 2006, p. 220).

Tais modelos conceituais incipientes e abstratos contribuem para reunir no desenvolvimento preliminar de produto, material suficiente para decisões em Design no ambiente de projeto, de forma que sejam homologadas e avaliadas as fases de PI (Projeto Informacional) e PC (Projeto Conceitual), marcadas por pontos de decisão, também denominados de marcos decisórios.

Acerca de tais modelos conceituais, verifica-se partir de Nagel et al. (2010), a utilização da função léxica, verbal, de maneira a representar a transformação do fluxo de energia (função), em sinal e material útil a partir da etapa mais conceitual de projeto de descrição dos requisitos, na Engenharia. É recorrente a importância da atividade para o setor, dado a capacidade de descrever na forma de requisitos de projeto, fluxo de energia em material, e, portanto, ultrapassar a etapa da abstração, apresentando a ideia em abordagem palpável, e possibilitando um aprimoramento da atividade criativa.

A partir de Tomiyama et al (2009), em uma contribuição a ser descrita ao final deste tópico, é verificado também o envio de sinal em acordo com um perfil simbólico do 'funcionamento da máquina', desenvolvida por Rodenacker (1976)¹⁴, de forma a indicar o fluxo de energia em direção de entrada e saída do dispositivo conceitual, bem como para apontar a descrição de funcionamento por meio de alimentação.

¹⁴Rodenacker WG (1976) Methodisches Konstruieren: Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. Springer,Berlin.

A relação entre fundamento léxico com a atividade projetual, é também apresentada por Tong (1987), porém, é a partir de Amaral et al. (2006), que é verificada a conceituação didática:

As funções técnicas podem ser representadas pela relação existente entre a entrada e a saída de um sistema, ou seja, a transformação de um estado de um sistema para outro, independentemente de qualquer forma. Por estado de um sistema compreende-se a totalidade dos valores de suas propriedades em um dado instante. Funções são geralmente definidas por meio de um predicado composto por um verbo e um substantivo, tal como dosar fertilizante, lavar roupa ou cortar grama (AMARAL et al., 2006, p. 238).

Compreende-se, portanto, a contribuição de tais modelos para o desenvolvimento desta pesquisa, a partir de sua utilização junto a um sumário executivo de realização de simulação, como será apresentado posteriormente. Tal período de transição que antecede etapas de avaliação mais usuais, é descrito por Amaral et al. (2006) em:

A obtenção dos requisitos do produto a partir dos requisitos dos clientes se constitui na primeira decisão física sobre o produto que está sendo projetado. Essa ação definirá parâmetros mensuráveis, associados às características definitivas que terá o produto, razão pela qual essa etapa se constitui em um momento importante para todo o processo de projeto (AMARAL et al., 2006, p. 223).

Fazem parte ainda do desenvolvimento incipiente e abstrato dos modelos conceituais, a aplicação de avaliações durante o progresso estruturante percebido no percurso gerativo de problema-solução. Tal estrutura utiliza o processo de simulações e sua contribuição para a formação conceitual das soluções projetuais, podendo também ser aplicado em todas as etapas de projeto. A importância da simulação para o quadro de soluções conceituais encontra definições a partir de:

A concepção obtida é uma descrição aproximada das tecnologias, princípios de funcionamento e formas de um produto, geralmente expressa por meio de um esquema ou modelo tridimensional, que, frequentemente, pode ser acompanhado por uma explicação textual. É uma descrição concisa de como o produto satisfará as necessidades dos clientes (AMARAL et al., 2006, p. 237).

Tong (1987) aponta que reconhecer a compreensão teleológica, adquirida a partir de atividades como a simulação, é fundamental para assegurar que estruturas desenvolvidas em projeto possuam capacidade mínima funcional, e que não excedam sua capacidade total funcional - uma compreensão que preconiza o entendimento sistemático e avaliativo dos resultados gerados por telemática, o conjunto de serviços pré-disponíveis no campo da informática (GIORDAN; GÓIS, 2004).

O autor aponta os resultados da pesquisa para uma aplicação com o MOLGEN®¹⁵, utilizando como experimento para tal pesquisa, o planejamento exterior e interior de uma moradia. Posteriormente será apontada a necessidade de realizar demonstrações e avaliações conceituais através do processo de simulação dentro do processo de desenvolvimento de Design (TONG, 1987).

Em Tong (1987), a coesão formal necessária para apontar sintaxe e semântica exatas, capazes de indicar a locação de uma função em um sistema planejado, apresenta um ponto próprio para aportar simulações. Tal critério é apontado mediante a capacidade de investigar a caracterização sintática dos artefatos funcionais.

Verifica-se também que o tipo de implementação a ser realizada em um planejamento de projeto, necessita - dentro dos níveis de mapeamento das funções a serem investigadas - de um teorema de regras que possa realizá-lo, de forma a reproduzir uma simulação de como o sistema se comportará (TONG, 1987): uma atividade de modelação, planejamento da modelagem computacional a ser aplicada em etapas de simulação.

Os fundamentos teóricos e a base para compreender este tipo de projeto apresentado na pesquisa de Tong (1987), estão assentados no campo da Inteligência Artificial (SIMON, 1996) como disciplina da engenharia, capaz de sintetizar a resolução de uma determinada classe de problemas de modo a resultar em produção em cultura material. A IA (Inteligência Artificial) como célula da engenharia é utilizada de forma a caracterizar especificações técnicas durante a resolução dos problemas de Design. Porém, a pesquisa não trata de uma discussão teórica, mas de uma avaliação das contribuições para a pesquisa no campo de projeto.

É reconhecido mediante a necessidade de avaliação dos processos de Design, que algumas operações podem ser classificadas como '*routine design*' (design simples), e outras '*creative design*' (design criativo), em respeito a uma correlação entre problemas estruturados, problemas mal estruturados, etapas e processos de design (TONG, 1987).

Verifica-se ainda mediante uma compreensão de Goel (1992), que, enquanto algumas investigações estão mais voltadas à necessidade de elaboração conceitual e simbólica, outras desenvolvem um afinamento no poder de síntese (SIMON; NEWELL, 1971).

Prevalece, no entanto, a noção de que problemas funcionais são expressos através de especificações funcionais, enquanto suas soluções estão em uma

¹⁵ (MOLGEN - *Molecular Structure Generation: Part 1*). In *Artificial Intelligence*, May 1981, 16(2), 1i 1-140.

linguagem de descrição física, demandando processos de tradução, codificação, transporte ou desdobramento de etapas no desenvolvimento de projeto, como verificado de modo declarado no QFD¹⁶ (TONG, 1987; PIMENTEL; SANTOS; SILVA, 2012).

A compreensão de tradução, ou transferência de conhecimento, se dá através da especificação em nível de conhecimento, para o nível de especificação funcional, e então para uma especificação aplicada em ambiente de programa (TONG, 1987). É verificado também, que projetos de Design baseados na geração de conhecimento possuem três estâncias:

- i) Conhecimento incorporado;
- ii) Funcionalidade no processo de design;
- iii) Implementação do Design em diretrizes na atualização de melhorias em projeto.

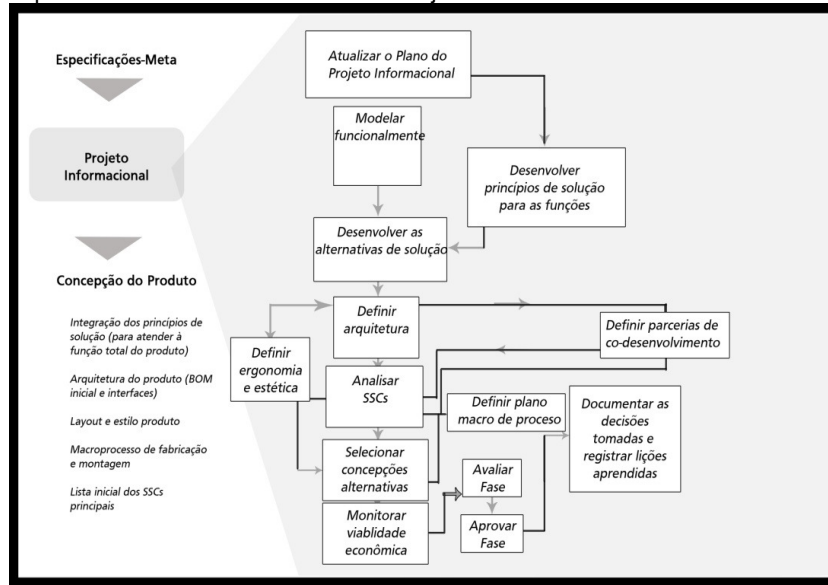
É dito haver uma decomposição funcional, quando um nível funcional é mapeado e diretamente ligado a ele por um nível programado, sistematizado. No nível de programa, as estruturas geradas com o sistema funcional estudado também geram outro tipo de resultado na forma de representações, como verificado em resultados de simulações, ou geram até mesmo um novo parâmetro funcional em nível de programação (TONG, 1987), tal como verificado na modelagem paramétrica de processos realizados por Grasshopper®. Mais detalhes acerca do software serão explorados mais à frente neste texto.

Antes de realizar um aprofundamento acerca das etapas executivas da investigação na transição de fases a serem implementadas no desenvolvimento de produto, é necessária a coleta de um grande número de informações, a contar com sua especificação em etapa intermediária (especificações-meta), como será apresentado também neste relatório, no tópico denominado 'Compostagem', e 'Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica'.

Tais tópicos fazem parte das recomendações apontadas por Amaral et al. (2006), a partir de uma compreensão do trecho: *'é necessário um conjunto de informações completas e sem ambiguidades, que será utilizado como base para o desenvolvimento das etapas posteriores do processo de projeto'* (AMARAL et al., 2006, p. 225), onde a Figura 7 pode prover entendimento

¹⁶ Desdobramento da Função da Qualidade, *Quality Function Deployment*.

Figura 7 - Detalhamento acerca das Informações principais e dependência entre as atividades de Projeto Informacional



Fonte: Amaral et al. (2006)

Após a avaliação destas informações, o primeiro passo ao reconhecimento de uma solução é optar por uma linguagem de solução descritiva capaz de representar as possíveis soluções com coesão. No nível abstrato de conhecimento, o sistema de especificação a ser modelado não apresenta informações de '*como*', e '*quando*' o domínio de conhecimento será aplicado, seja em forma de função, ou mesmo diretriz. O máximo que se pode atribuir em especificação é se o domínio do conhecimento é logicamente consistente, mediante a compreensão dos requisitos de aplicação (TONG, 1987).

O critério de tradução de conhecimento para a forma funcional aplicada necessita obedecer a requisitos, tais quais: i) preservação da sonoridade, e, ii) preservação da completude (ou coesão com a compreensão). O primeiro requisito obedece à necessidade em preservar a lógica interna do sistema, enquanto o segundo assegura a integridade do sistema (TONG, 1987).

Nesta movimentação de confirmação, a inferência possui ao menos dois importantes papéis em um processo de melhorias em Design, segundo Tong (1987):

Nós precisamos entender o sentido nos quais elementos de nível funcional preservam coesão em nível de conhecimento (*'soundness'*, ressonância); e precisamos repartir a responsabilidade por realizar inferências, fazer assunções, (entre outras formas de avaliação), de um modo realizar uma condução a um design eficiente (...). O nível funcional do processo de design precisa preservar a sonoridade do conhecimento de um nível de especificação; ou seja, é preciso um modo consistente de interpretar passos de nível funcional em design que gerem problemas e soluções de como tornar dedutivamente válidas, as inferências em nível de conhecimento (TONG, 1987, p. 20)¹⁷.

Acerca da confirmação da coesão entre problema de projeto e solução de projeto, dado por processos de inferência dentro do ambiente de avaliação de soluções em Design, a partir de Tong (1987), é possível acrescentar ainda, à citação anterior:

The generator accepts an abstract specification as input and produces a refined specification; from a logical standpoint, this mean that everything that can be inferred from the input specification about the specified artifact should be a proper subset of everything than can be inferred from the output specification. This may be taken as partially defining a notion of design progress (TONG, 1987, p. 8)¹⁸.

Formalmente, em etapas posteriores de projeto, é gerado um conjunto de soluções a serem equiparadas e avaliadas, formando progressivamente os modelos conceituais concebidos, que por sua vez configuram (ao serem combinados) os princípios de soluções totais para o produto projetado. É possível ainda, avaliar em ambiente de PC, as soluções de projeto a partir das DfX (*Design for Excellence*¹⁹), DfM (*Design for Manufacturing*²⁰), DfA (*Design for Assembly*²¹), ergonomia, estética, e estratégias e diretrizes no relacionamento com todos os interessados no projeto (AMARAL et al., 2006, p. 268).

Segundo Nagel et al. (2010), há três eixos de modelagem que possibilitam aprimorar a interação entre atividade projetual com um ambiente natural, de forma a promover melhorias à realização em Design: i) âmbito fisiológico (subjacente ao questionamento *'o quê'* - substantivo); ii) âmbito morfológico (subjacente ao questionamento *'como'* - adjunto adverbial de modo); e, iii) comportamento (subjacente ao questionamento *'porquê'* - interjeição interrogativa).

¹⁷Tradução realizada pelo autor (2014).

¹⁸ Tradução realizada pelo autor: *O gerador aceita uma especificação abstrata como input e produz uma especificação refinada; de um ponto de vista lógico, isto significa que tudo que possa ser inferido de uma especificação de input acerca de uma especificação em artefato, deveria ser um subconjunto apropriado de tudo que pode ser inferido a partir de uma especificação de output. Isto pode ser levado como definição parcial da noção de design em progresso.*

¹⁹ Design para a Excelência.

²⁰ Design para Fabricação.

²¹ Design para Montagem.

Compreende-se, portanto, que o organismo biológico possui três estâncias de adaptação de uma nova funcionalidade (fisiologia), estrutura (morfologia), e aprendizado de um novo comportamento, de maneira a responder às interações ambientais a partir de ações instintivas de proteção, reprodução e sustentação. Tal estrutura pode ser utilizada no sentido analógico de transferência, ao ser traduzida no desenvolvimento de produto a partir do tipo de suporte de fluxo informacional que alimenta o desenvolvimento da matriz funcional, compreendida por resultados gerados no desenvolvimento de solução (NAGEL et al., 2010).

Acerca do bom procedimento da descrição funcional do Design, verifica-se a partir de Tong (1987), que uma finalização bem-sucedida do processo ocorre quando todos os requisitos funcionais são atendidos por partes da estrutura de Design (através das conexões funcionais), e todas as funções desejadas são providas. Isto corresponde, segundo o autor, a um trabalho de procedimento de busca com heurística invertida.

Com ressalvas acerca da abordagem metodológica a ser desenvolvida nesta pesquisa, é afirmado que procedimentos que visam aprimorar a transferência de conhecimentos dos Domínios Naturais às práticas de investigação em projeto não são considerados métodos, segundo Tomiyama et al (2009).

Acerca desta contribuição, Tomiyama et al. (2009) apresenta uma descrição no universo entre Teoria e Metodologia do Design²², usualmente aplicada no ambiente instrucional e baseada em métodos matemáticos, voltados a objetivos avaliativos no campo de projeto. São apresentados pelo autor espaços de desenvolvimento a ser cumprido, lacunas. A pesquisa pretende averiguar a conveniência percebida como necessidade de alteração no curso do desenvolvimento de teorias e metodologias, ao decorrer do processo.

É verificado, que em um cenário de maiores esforços no desenvolvimento de teorias no campo do Design, nos anos 70 é apresentado um benefício para a área dado o estreitamento com a prática de projeto, e a carência de conhecimentos do tipo teorização e criação de metodologias. A pesquisa verifica também a necessidade de aproximar campos de adaptação do setor de fabricação e produção, dos conhecimentos e práticas a serem transmitidos na prática de ensino (TOMIYAMA et al., 2009).

Quanto às necessidades perseguidas em mudanças realizadas no decorrer da história das teorias e metodologias em Design, verificam-se carências no campo de

²² Com foco no campo de ensino de projeto em engenharia mecânica para fabricação e produção.

habilidades. Tais carências são verificadas em uma distância entre gerações da pesquisa em Design, de maneira bem verificada em correntes de ensino de projeto baseadas no *'learning by doing'*²³(TOMIYAMA et al., 2009). Objetivamente, a teoria de Design se destina a investigar, modelar e compreender a atividade de Design, enquanto a metodologia evoca reflexões no campo de investigação acerca de como a atividade deve ser realizada, sempre encontrando problemas de utilização, dado seu constatado nível de exigência e dificuldade (TOMIYAMA et al., 2009).

Verifica-se que as teorias e metodologias em Design averiguadas pelo autor resultam da compreensão da atividade do Design como realização praticada em escritórios e setores da indústria. Portanto, é verificada a validade da observação comportamental de leis que prescrevem procedimentos experimentais, também no setor de Design, além do verificado em manuais de educação científica (TOMIYAMA et al., 2009).

Teorias e metodologias investigadas por Tomiyama et al. (2009), listaram as seguintes práticas: *Adaptable Design*; *Axiomatic Design (AD)*; *Characteristics-Properties Modeling (CPM) of Weber*; *Concurrent Engineering*; *Contact and Channel Model (C&CM) of Albers*; *Design for X (DfX)*; *Design Decision-Making Methods*; *Design Structure Matrix (DSM)*; *Emergent Synthesis*; *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*; *Hansen*; *Hubka and Eder*; *Integrated Product Development of Andreasen*; *Koller*; *Pahl and Beitz*; *Quality Function Deployment (QFD)*; *Roth*; *Taguchi Method*; *Total Design of Pugh*; *TRIZ*; *Universal Design Theory (UDT)*; *Ullman*; *Ulrich and Eppinger*.

Em geral, Tomiyama et al. (2009) aponta três diretrizes importantes presentes neste apanhado de teorias e metodologias de Design: i) desenvolvimento complexo multidisciplinar de produto; ii) demanda por avanços rápidos em engenharia digital e engenharia virtual, para uma melhor colaboração no desenvolvimento de projetos; e, iii) globalização no desenvolvimento de produto.

Tomiyama et al. (2009) aponta que, tais abordagens, além de mirarem-se em objetivo geral baseado na finalidade explícita de condução das etapas de projeto (como por exemplo o QFD, e a abordagem voltada ao aprimoramento da qualidade), estas apresentam dificuldades em alcançar níveis de otimização e inovação, e até mesmo, na utilização da plataforma de Tecnologia de Comunicação e Informação - TCI (cf. p. 20).

²³Segundo Sokolowski e Banks (2009), a criação do termo foi realizada por Herbert Simon (1996), mencionado nas referências deste relatório.

A utilização das metodologias se dá, de uma forma geral, a partir da necessidade em facilitar a transmissão de conhecimento de projeto, organização do uso e descrição das práticas em cada etapa do desenvolvimento de produto, bem como frente ao aprimoramento das fases específicas do desenvolvimento, não apresentando afunilamentos muito particulares ou exclusivos (TOMIYAMA et al., 2009). Acerca dos problemas de transferência de conhecimento em um cenário amplo da atividade de Design, bem como a relação deste processo com as plataformas de TCI (Tecnologia de Comunicação e Informação), é indicada a verificação de Pimentel e Silva (2014).

Uma diferenciação para ressaltar detalhadamente a margem de sucesso em que tais metodologias foram aplicadas será evitada, uma vez que a utilização da contribuição de Tomiyama et al. (2009) se dá frente a necessidade de reiterar uma ligação intrínseca de utilização do conhecimento para a realização das etapas de projeto. O aprofundamento deste tema se dá a partir da verificação do tipo de conhecimento estudado no campo da compostagem e sua aplicação no processo de Design.

Teorias e metodologias de design possuem basicamente quatro categorias, apresentadas por uma tipologia apresentada pelo autor, sob dois eixos: i) individual versus geral, e, ii) concreto versus abstrato. Tomiyama et al. (2009) apresenta também uma relação de abordagens no campo da teoria e metodologia em Design de tipo abstratas, como também: abstratas e ao mesmo tempo, gerais.

Metodologias em Design no campo da abstração descrevem a categoria como investigações realizadas em classes específicas de projetos de produto. Já as abstratas e gerais abordam o conhecimento, ou conjunto de conhecimentos a serem aplicados em prática de projeto.

Tomiyama et al. (2009) no trecho abaixo, caracteriza o tipo de percurso verificado em abordagens abstratas no campo da teoria e metodologia de Design:

Abstração frequentemente toma a forma matemática, significando que soluções em design podem ser obtidas algoritmicamente com computação. Teoria e Metodologia do design nesta categoria incluem, por exemplo, uma variedade de métodos computacionais para otimização e computação de engenharia. Note que estes métodos computacionais não incluem sistemas de modelagem (como modelagem geométrica), porque elas são *'renderizações da atividade de modelação'* antes de *'métodos de design'*. Contudo, algumas Teorias e Metodologias de design descrevem o design em um nível tão abstrato, que são somente aplicadas a uma certa classe de objetivos em design com alvos específicos (por exemplo, o método Taguchi para Projetos em Qualidade, TOMIYAMA et al., 2009, p. 3)²⁴.

²⁴ Tradução realizada pelo autor (2014).

O Design paramétrico é descrito no perfil abordado por Tomiyama et al. (2009) a partir da utilização verificada em Dixon (1989)²⁵, onde é classificado entre processos de Design baseados em modelos computacionais, a incluir as categorias: i) Design paramétrico; ii) planejamento de configuração; iii) métodos de Design conceitual baseados em Inteligência Artificial; iv) e 'distributed agent-based design'²⁶ (TOMIYAMA et al., 2009, p. 3).

A modelagem geométrica em Tomiyama et al. (2009) é apresentada no âmbito das linguagens, representações em ambientes de projeto, a incluir as atividades que utilizam: i) modelagem geométrica; ii) gramática da forma; iii) comportamento e modelagem de funções, e, iv) ambientes integrados de suporte em Design (TOMIYAMA et al., 2009, p. 3).

Tendo em vista que o próprio Tomiyama contribuiu para o desenvolvimento da proposta da Teoria Geral do Design²⁷, verifica-se que tal proposição compreende o Design como um conjunto de operações que utilizam conhecimento durante o processo de desenvolvimento (TOMIYAMA et al., 2009). De forma geral, a descrição do processo é apresentada a partir das práticas, tais quais:

- i) O conhecimento a ser aplicado precisa estar categorizado em conceitos abstratos;
- ii) A locação onde está disposta a nova solução em Design pode ser designada como resultado de operações de conceitos abstratos;
- iii) A locação do processo de um novo Design é reiterada em uma terceira etapa, onde é necessário preencher requisitos informacionais para o desenvolvimento de soluções. Se não for possível, é realizado o procedimento de síntese em Design ou produção de uma nova solução a partir do problema dado: se a solução for aceita de maneira avaliada, ocorre uma comparação com as informações presentes no ambiente abstrato, de forma que sejam fornecidos requisitos para preencher outras necessidades de projeto, tal como forma e cor.

²⁵Dixon J, Poli C (1995) Engineering Design and Design for Manufacturing: A Structured Approach. *Field Stone Publishers*, Conway, MA.

²⁶ Projetos Baseados em Agentes Distribuídos.

²⁷ GDT, General Design Theory.

Dentro da necessidade de uma compreensão dado o recorte desta pesquisa voltada ao objeto de pesquisa da compostagem, Garrido-Baserba et al. (2012) apresenta considerações acerca da aplicação de uma metodologia baseada em conhecimento (KBM, *Knowledge-based methodology*), para a realização de um projeto conceitual no campo de tratamento industrial de água de esgoto na Espanha (WWTP, *Waterwaste Treatment Project*), em uma abordagem integrativa entre expertises de conhecimentos, informação técnica de projeto, e seleção de tecnologias no campo do tratamento de esgoto, utilizando um sistema denominado NOVEDAR_Consolider®²⁸ (Environmental Decision Support System).

A partir deste autor, é salientado que cada conjunto de decisões no campo da *knowledge-based design* necessita de um tipo de avaliação específica. Para o caso apresentado, são segmentadas três áreas: i) econômica (análise custo-benefício); ii) operacional e técnica (análise multicritério), e, iii) sob critério ambiental e social (baseado em análise Ciclo de Vida) (GARRIDO-BASERBA et al., 2012).

Garrido-Baserba et al. (2012) também apresenta uma decomposição funcional do processo de decisão ao hierarquizá-las em sentido vertical, bem como uma tabela contendo dados do tipo custo-benefício para avaliação e elaboração de critérios para tomada de decisão. Para tal, apresenta a descrição técnica dos dispositivos em cada etapa do processo, obtendo desta forma o workflow descrito na Figura 72 presente no apêndice.

A apresentação deste fluxo contribui para o desenvolvimento das reflexões que são pertinentes e estruturais no campo da compostagem e simulação, de forma a interligarem cada capítulo do referencial teórico, apresentando como atividade prática uma síntese na forma de simulação a contribuir para processos no campo da gestão de resíduos sólidos orgânicos, tal como a compostagem.

De forma a prosseguir com as descrições necessárias para entendimento e delineamento de um programa de necessidades a partir da pesquisa no campo da compostagem, e de maneira a fornecer dados suficientes para submissão em etapas de avaliação para a modelagem de um projeto de simulação, o tópico a seguir abre os estudos acerca do objeto de estudo.

²⁸Consultado de forma atualizada em novembro de 2014 no link: [/www.novedar.com](http://www.novedar.com)

2.2 Compostagem

Este tópico tem por objetivo realizar uma revisão acerca da compostagem (Figura 8) em um quadro de publicações, considerando os seguintes aspectos:

- i) Resíduos biodegradáveis e gestão de resíduos;
- ii) Geração de energia a partir da utilização da biomassa²⁹;
- iii) Ensino de boas práticas em agricultura no meio rural³⁰;
- iv) Ciência e aspectos biológicos da compostagem;
- v) Compostagem em escala industrial, e componentes técnicos de maquinário em um cenário de biotecnologia³¹;
- vi) Descrição dos processos bioquímicos verificados na compostagem;
- vii) Modelagem de simulação da compostagem;
- viii) Compostagem como prática estratégica no setor de pecuária e frigoríficos³²;
- ix) Aproveitamento de água de lodo na compostagem;
- x) Comportamento térmico da compostagem³³.

Figura 8: Leira de compostagem



Fonte: Cedido por Ana Júlia Barbosa (2010)

Através da análise de tais eixos de aplicabilidade em que a compostagem contribui, são apontadas diretrizes de um programa de necessidades a serem aplicadas em etapas de projeto. Vale reiterar que este afinamento trará benefícios

²⁹ PARADELO, Remigio; MOLDES, Ana B.; BARRAL, María T. Utilization of a factorial design to study the composting of hydrolyzed grape marc and vinification lees. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 58, n. 5, p. 3085-3092, 2010

³⁰ ÍÑIGUEZ, Gilberto; RODRÍGUEZ, Ramón; VIRGEN, Gil. Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría. *Revista internacional de contaminación ambiental*, v. 22, n. 3, p. 113-123, 2006.

³¹ IZQUIERDO SANCHIS, Marta. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. *Evaluación de materiales y modelación del proceso*. 2010.

³² ERAZO, Guerrero et al. Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. *Scientia*, 2007.

³³ TUCKER, Peter; FLETCHER, Isobel. Simulating household waste management behaviours part 2: Home composting. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 3, n. 3, 2000.

para a compreensão das necessidades a serem controladas na realização da compostagem, de forma que seja elaborado um resultado no campo de projeto que possa viabilizar tal realização, como forma de declarar tal conhecimento para a área.

Em um quadro resultante deste processo vale também a reiteração da compostagem como processo contribuinte para a gestão de resíduos orgânicos, e a necessidade de prever seu comportamento em um âmbito dos sistemas que admitem a informação como critério para tomada de decisões³⁴ (*knowledge-based design*), em um viés voltado à sustentabilidade, tal como realizado em estudos relacionados a mudanças climáticas com contrapartidas tecnológicas (MOSS et al., 2010).

Acerca da necessidade de controlar a compostagem, Giusti e Marsili-Libelli (2010) contribuem ao descrever uma experiência a partir da análise de resultados apresentados utilizando biotúneis da empresa italiana ECOMAS®, onde são apontadas as vantagens no controle do processo. A investigação aprofunda-se acerca da relação entre níveis de temperatura e atividade microbiana, modelagem difusa dos marcos do processo, e controle com abordagem numérica, de maneira a aumentar a eficiência da atividade.

Em Giusti e Marsili-Libelli (2010), é apresentada a necessidade de estabilizar o composto orgânico no processo de compostagem, bem como a importância deste item para o mercado sustentável, dentro do quadro de fertilizantes orgânicos. Devido ao baixo consumo de energia, requisitos tecnológicos e alto valor do produto, este é um processo que pode ser considerado vantajoso como investimento. A necessidade de utilizar a lógica difusa para descrever modelos matemáticos no estudo da compostagem, se dá a partir da inerente complexidade de sua dinâmica.

Segundo os autores acima mencionados, a compostagem se caracteriza por uma sucessão multifásica na colonização de fungos e bactérias no material orgânico (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010), como pode ser verificado também no item deste relatório 'Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica', outorgando ao processo, desta forma, a dificuldade em descrevê-lo em termos determinísticos voltados à previsão.

De forma a contemplar sua realização, considera-se como compostagem efetiva, o procedimento caracterizado pelos marcos: início a partir da biodegradação em fase mesofílica, e percurso até a estabilização química do composto e formação de ácido húmico. A partir do tópico seguinte termos e descrições serão apresentados.

³⁴ Bem como a partir da necessidade de prever o comportamento da biomassa submetida em seus processos, como será apresentado a seguir.

Os resultados de tais estudos auxiliam na formação de critério para tomadas de decisões práticas em plataformas que utilizam dados do ecossistema como parte das investigações, coeso com a necessidade de descrever a compostagem fora do âmbito determinístico comportamental, usualmente aplicado em finalidades voltadas ao ensino.

As demandas por tais avaliações em sistemas baseados em abordagem numérica com base em Lógica Difusa têm apresentado aumento, dado a necessidade de investigar o comportamento microbiológico a partir da análise de bioconcentrados, em procedimentos utilizando biomassa. Tais procedimentos geralmente integram processos tecnológicos, tais quais: i) destinação final e reciclagem de resíduos sólidos orgânicos; ii) biorremediação; e, iii) geração de energia, como verificado a partir de Giusti e Marsili-Libelli (2010) a ser descrito posteriormente nesta seção.

É verificado que a investigação de Giusti e Marsili-Libelli (2010) tem utilidade descritiva na modelagem de sistemas complexos, e são baseados em regras de modelos difusos. Inclui-se entre as etapas para o aperfeiçoamento de processos, o procedimento denominado '*defuzzification*', uma investigação realizada através de cálculo contando com a reunião de todos os dados dos modelos de temperatura e pressão, obtidos pelos autores durante sua pesquisa.

Dentre as várias contribuições da compostagem a serem verificadas em localidades adversas por todo o globo, Guerrero e Monsalve (2006) contribuem com uma conceituação geral acerca da compostagem em Risaralda, Colômbia, como pode ser verificado na nota abaixo:

A compostagem é definida como a intervenção dentro do processo natural de decomposição da matéria orgânica com uma combinação de condicionais ambientais apropriadas e tempo adequado. Dito de outra forma é um processo bioxidativo controlado, no qual intervêm numerosos e variados microorganismos, que requerem umidade adequada e substratos orgânicos heterogêneos em estado sólido, e que produz ao final dos processos de degradação, CO₂, água e minerais, assim como uma matéria orgânica estabilizada, livre de fitotoxinas e disponível para sua aplicação em agricultura sem que provoque fenômenos adversos (GUERRERO; MONSALVE, 2006, p.5).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da Resolução RDC n.º 33, de 25 de fevereiro de 2003, define compostagem como:

...processo de decomposição biológica de fração orgânica biodegradável de resíduos sólidos, efetuado por uma população diversificada de organismos em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação (ANVISA, 2003, p. 24).

Em Su e Lv (2008), que apresentam contribuições para a compreensão do modelo multiescalar da gestão de resíduo sólidos nas cidades e sua importância, é apontada a definição de compostagem em: *'the compost refers to the biochemical course of utilizing the technology of fermenting microorganism to promote the degradative organic matter to transform to the steady humus'* (SU; LV, 2008, p. 3)³⁵.

Em Agostini, Sundberg e Navia (2012), recomenda-se que a compostagem seja utilizada como processo voltado à destinação final de resíduos sólidos orgânicos, quando: i) a fração de resíduos biodegradável seja muito pequena, de forma a permitir sua reciclagem para o fornecimento de nutrientes na agricultura; ii) quando verifica-se uma presença muito alta de impurezas tóxicas, tal como preconizado em cenários ideais para aplicação das práticas de biorremediação (*landfarming*), tal como apresentado na seção 'Justificativa' deste relatório.

Agostini, Sundberg e Navia (2012) também comentam que em aterros secos, a transformação da fração biodegradável em composto é considerada muito lenta, demandando a utilização de biorreatores, e injeção de resíduos de esgoto de forma acelerar a degradação do resíduo, com posterior utilização do metano em processos de geração de energia.

Acerca desta utilização específica em fins energéticos, Puig Arnavat (2011) propõe a investigação do uso gaseificado da biomassa como forma de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, tornando-a combustível ao convertê-la em estado sólido, líquido ou gasoso. Tal processo é demandado em países como Espanha, onde há uma demanda por resfriamento realizado em plantas industriais de geração de biomassa através de processos gasosos.

Para fins de etapas de pesquisa similares com as deste relatório, Puig Arnavat (2011) realiza procedimentos de simulações com resultados gráficos, para estruturação de planejamento e avaliação preliminar de plantas de geração de biomassa. Em Agostini, Sundberg e Navia (2012) é apresentada uma revisão dos atributos de meios porosos³⁶, avaliação de modelos de simulação até então existentes, e a implicação destes estudos para o quadro dos resíduos biodegradáveis, a contar com contribuições para a caracterização das dinâmicas dos fluídos neste tipo de amostra.

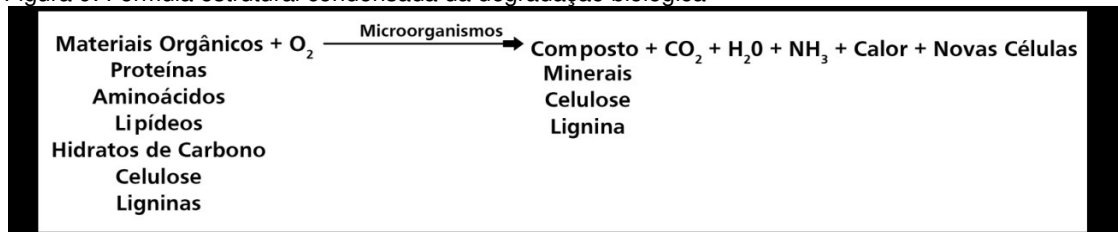
³⁵ Tradução realizada pelo autor: Compostagem se refere ao caminho bioquímico de utilizar a tecnologia de fermentação de microrganismos para promover a degradação da matéria orgânica para transformá-la em húmus neutralizado.

³⁶ Tal como verificado no comportamento molecular da compostagem a ser apresentado posteriormente.

O processo de compostagem é reconhecido como uma criação gradual de calor e solução de concentração junto à massa, tornando as descrições simplificadas geradas e avaliadas pelo autor, distantes da real situação. O quadro descritivo do processo real está baseado na descrição biofísica de meios porosos, onde as transferências de calor são direcionadas pela movimentação do fluido. Vale frisar ainda, que: segundo o autor, na compostagem o fenômeno físico para transferência de calor e massa, é marcado pela condução térmica por meio do fluxo de ar (KEENER *et al.*, 1997a apud AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012, p. 8).

Em Mendes (2012) é apresentada a expressão da degradação biológica da matéria orgânica conforme esquematizado na fórmula estrutural condensada na Figura 9, relativo ao que ocorre no processo de compostagem:

Figura 9: Fórmula estrutural condensada da degradação biológica



Fonte: Adaptado Mendes (2012, p. 44) pelo autor

A descrição global da biodegradação no processo de compostagem prescinde a compreensão básica da reação descrita acima. O detalhamento acerca do cálculo para o balanço total, bem como uma equação geral de avaliação das exigências estequiométricas será apresentado em um tópico a parte neste relatório.

Agostini, Sundberg e Navia (2012), descrevem que as ferramentas de simulação do comportamento de biomassa encontram problemas de contribuição no campo dos biorreatores em aterros, compostagem ou tratamento de resíduo, dados os fatores:

- i) Em decorrência da complexidade nos processos, e em acordo com a natureza heterogênea dos resíduos sólidos orgânicos, que torna impossível implementar modelos determinísticos para todas as variáveis exigidas;
- ii) Em fator de haver uma lacuna de monitoramento no conjunto de dados a contribuir na formulação, validação e desenvolvimento dos modelos propostos.

Puig Arnavat (2011) aborda que a utilização da biomassa como fonte de energia alternativa, compreende um leque de insumos a serem inclusos como materiais

naturais e derivados, compondo a parcela biogênica da biomassa. Dentre os itens da coleção de espécie de insumos apontados, estão:

- i) Resíduos de madeira;
- ii) Espécies herbáceas;
- iii) Resíduos agrícolas;

Abre-se, portanto, procedência para uma inclusão de tais tipologias em similaridade com a prática da compostagem, como também pode ser verificado em Agostini, Sundberg e Navia (2012). Esta pluralidade de insumos a compor a biomassa contribui diretamente para o processo de conversão em energia, a contar com as dificuldades subsequentes que podem surgir durante a operação (PUIG ARNAVAT, 2011).

A operação de conversão é atingida usualmente por realização de um processo bioquímico, de cunho mecânico, termoquímico ou biológico. Processos bioquímicos prioritários compreendem: i) a decomposição aeróbica; ii) digestão anaeróbica; iii) hidrólise, e, iv) fermentação, que em sua maioria são processos também verificados na compostagem, isoladamente (PUIG ARNAVAT, 2011).

Segundo Jha et al. (2008), a decomposição anaeróbica gera cerca de 60% de Metano e 40% de Dióxido de Carbono, variando em função da composição gravimétrica, idade da amostra, quantidade, mistura, raio de hidrogênio/oxigênio, e variação no tempo levado para desempenhar o processo³⁷.

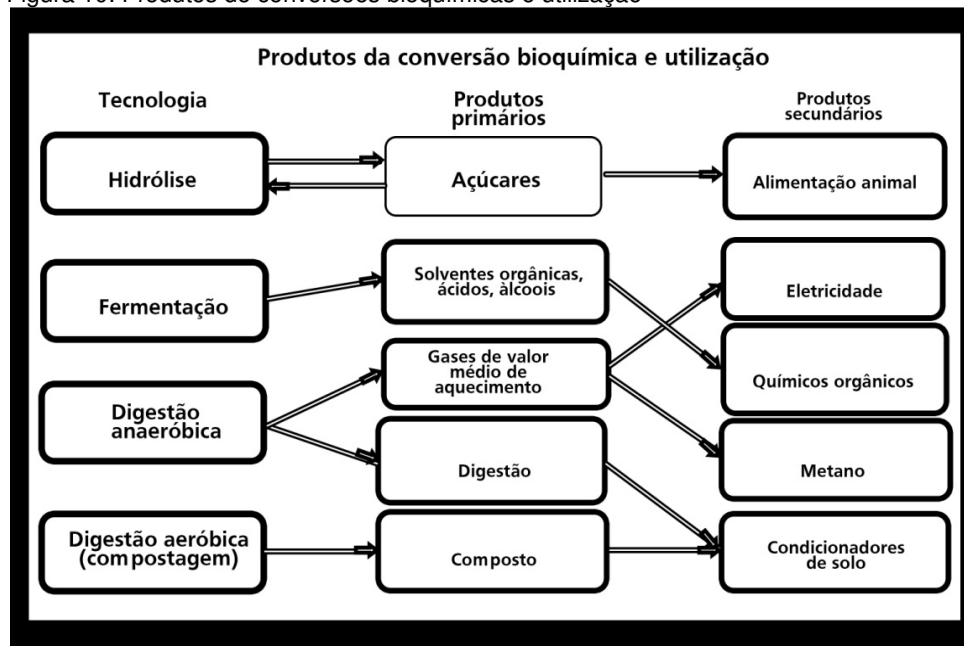
Puig Arnavat (2011) contribui para compreender a importância do desenvolvimento de formas alternativas de energia no quadro socioeconômico da União Europeia, bem como acerca do detalhamento dos processos, descrição das etapas bioquímicas, e composição volumétrica dos resíduos sólidos utilizados.

O esquema a seguir adaptado de EC (2005) *apud* Puig Arnavat (2011), na Figura 10, apresenta a conversão bioquímica de vários insumos, seus produtos e suas aplicações.

A partir deste, adquire-se a compreensão de que a compostagem é caracterizada pela digestão em ambiente aeróbio, resultando no produto composto utilizado em práticas de fertilizadores e condicionamento de solo, como já explorado anteriormente no item 'Justificativa', quanto a capacidade de suprir necessidades verificadas no setor de plantio.

³⁷JHA, Arvind K. et al. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: A case study of Chennai landfill sites. **Chemosphere**, v. 71, n. 4, p. 750-758, 2008.

Figura 10: Produtos de conversões bioquímicas e utilização



Fonte: Adaptado de Puig Arnavat (2011) pelo autor

Vale ressaltar que a compostagem pode ser apontada, em um quadro de geração de energia alternativa, combinando aproveitamento a partir de calor e eletricidade, a utilizar uma única fonte primária para tal, recebendo a denominação de 'cogeneration' ou CHP (*Combine Heat and Power*) (PUIG ARNAVAT, 2011, p. 61). A contribuição da geração de energia nesta configuração apresenta rendimento equivalente ao de plantas energéticas tradicionais, porém: com poucas emissões de poluentes e utilização de gás natural, fonte de combustível menos poluente que o gás verde.

'Trigeneration' é apresentado por Puig Arnavat (2011) como forma de geração de energia que inclui a plataforma termoelétrica em seu potencial máximo dentre os processos já utilizados na CHP, com detalhes acerca dos modelos de adaptação e instalação em plantas industriais, que pode ser observado com maiores detalhes no trabalho da autora.

A partir de Puig Arnavat (2011), compreende-se que a 'Trigeneration' demanda a previsão do comportamento funcional do maquinário destinado à realização da conversão da biomassa em energia, pois utiliza processos de pirólise e desvolatilização (combustão e gaseificação), com análise de dados acerca da temperatura e calor em amostras no quadro de granulometria e composição gravimétrica das parcelas da biomassa (cf. 231), que usualmente são:

- i) Comportamento do composto (produto da compostagem);

- ii) Comportamento do lodo de esgoto seco;
- iii) Comportamento da madeira;
- iv) Comportamento dos resíduos de carne e ossos inseridos em estado de degradação (*MBM, Meat and Bone Meal*).

As descrições da utilização da compostagem como procedimento padrão na destinação final de resíduos sólidos, contribui para caracterizar o quadro tecnológico e de desenvolvimento de produtos no setor. A partir de tal aplicabilidade, verifica-se o desenvolvimento de interfaces de avaliação dos resultados do uso de tais processos e produtos, ferramentas nas quais a simulação possui grande participação em procedimentos de tomada de decisão.

As contribuições conclusivas de Agostini, Sundberg e Navia (2012) em torno da compostagem e do estado da arte de sua simulação, são apontadas basicamente (*cf. p. 13*), em:

- i) O meio poroso como caracterizado no quadro de biodegradação no qual a compostagem está inserida, demanda um modelo conceitual heterogêneo de entendimento do transporte de fluídos, dado a sua heterogeneidade compositiva;
- ii) Não há modelos definitivos formulados, validados e desenvolvidos para o processo;
- iii) Ocorre a produção de modelos experimentais em processo de desenvolvimento, tais como será apresentado por este presente trabalho;
- iv) Dados básicos do processo de compostagem como controle térmico, composição dos fluídos e concentração da solução, são dificilmente medidos em processos realizados em laboratório ou em modelagem;
- v) Pacotes de modelagem computacional em dinâmicas de fluídos têm sido extensivamente utilizados em pesquisa sobre aterros sanitários, porém, não é verificado sua utilização no quadro de compostagem ou simulação do transporte de fluído, onde poderia ser realizada uma aproximação com metas comparativas, a fim de aprimorar o processo real.

Bongochgetsakul e Ishida (2008) apresentam considerações para a esfera de melhorias na compostagem realizada em larga escala, dado seu problema principal: manter um comportamento relativamente homogêneo de degradação para cada respectiva parte do composto, de forma aprimorar a eficiência em todas as etapas de realização do processo.

É apontado entre os resultados da pesquisa um novo tratamento numérico final para as simulações na área, destinado a modelar as operações comuns de reviramento do processo de compostagem. Os dados escolhidos pelos autores para a modelagem de simulação foram: i) modelo e tamanho da pilha/reator; ii) limites do sistema; iii) opções de tratamento, entre outros (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

A análise realizada pelos autores (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008), aponta o desenvolvimento de várias formas de esquematizar a compostagem com abordagem bidimensional, por exemplo: com base na modelagem do transporte de massa e energia, ou mesmo variação espacial em conformidade com o processo. Porém, as lacunas neste tipo de pesquisa demandam a descrição tridimensional do processo a partir de uma condição forma-tamanho, em conformidade com a possibilidade de descrição a contar com etapas de movimentação mecânica, também denominada de reviramento.

O estado da arte da simulação feita em Bongochgetsakul e Ishida (2008) para o processo de compostagem, aponta a coesão com o tipo BioDuCOM, utilizado em modelos DUCOM (*Durability Concrete Models*, Modelos de Durabilidade de Concreto). Tal coesão está baseada na similaridade entre mecanismo de compostagem e o endurecimento da massa de concreto, como por exemplo quanto às características do processo de transporte de massa, energia e hidratação.

Os autores (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008) priorizam na entrada de mistura (composto), taxas de calor e oxigênio, bem como a interação com o ambiente. Em termos de amostras processadas pelo BioDuCOM, verifica-se a prioridade do parâmetro transporte de calor, a investigar também a distribuição de temperatura nas partes do composto.

Os autores descrevem que cada ponto da matriz de dados da compostagem, é definida a partir de condições crescentes de: i) substrato do composto (dados químicos acerca da biomassa); ii) atividade microbiana; e, iii) inibição dos concentrados que podem desbalancear o resultado da reação, uma somatória de fatores que interagem no modelo de controle da atividade biológica, o *Biomodel* (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

Essa condição da modelagem propicia oferecer dados em termos de: i) quantificação da população microbiana; ii) raio de crescimento e queda da população; iii) consumo no substrato; iv) geração de calor; v) consumo de oxigênio, e outros fatores

sob condições ambientais específicas, descritas por dados de massa e energia (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

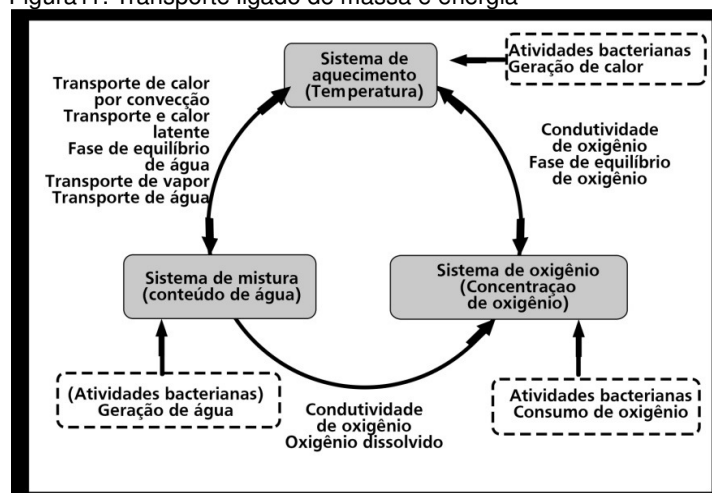
O modelo governante da atividade biológica (*Biomodel*) é formulado com base na descrição do perfil da atividade ambiental de crescimento de microorganismos presentes no processo, e dados estequiométricos presentes nas reações químicas recorrentes na compostagem, de forma a obter-se a compreensão das etapas temporais do processo, induzindo e avaliando o processo enquanto o mesmo avança ao estado de estabilização e formação de ácido húmico (húmus).

Além de Bongochgetsakul e Ishida (2008), poderão ser verificados durante o trabalho outras contribuições neste campo descritivo a partir de Bertoldi, Vallini e Pera (1982), Trautmann e Krasny (1998), Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán(2008) e Costa et al.(2009).

O modelo de controle da atividade biológica (*Biomodel*) armazena dados do tipo: i) tamanho/forma da pilha de compostagem; ii) temperatura inicial; iii) conteúdo de água; iv) concentração de oxigênio; v) tipo de substrato; vi) concentração de substrato; vii) densidade microbial; viii) porosidade; ix) condições limites do sistema; x) padrões de reviramento; xi) rompimento e padrões em acordo com o tempo; xii) parâmetros biológicos; xiii) suprimentos de calor e resfriamento; xiv) ajuste da mistura; xv) padrões de aeração e raio de fluxo, entre outros (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

A partir destes dados, o *Biomodel* calcula as quantidades geradas de calor, água, biomassa, CO₂, amônia, quantidades consumidas de substrato (composto), e oxigênio, em acordo com a equação estequiométrica da reação de decomposição biológica e raio de modelo de crescimento. A Figura 11 apresenta a correlação do modelo de transporte de massa e energia:

Figura11: Transporte ligado de massa e energia



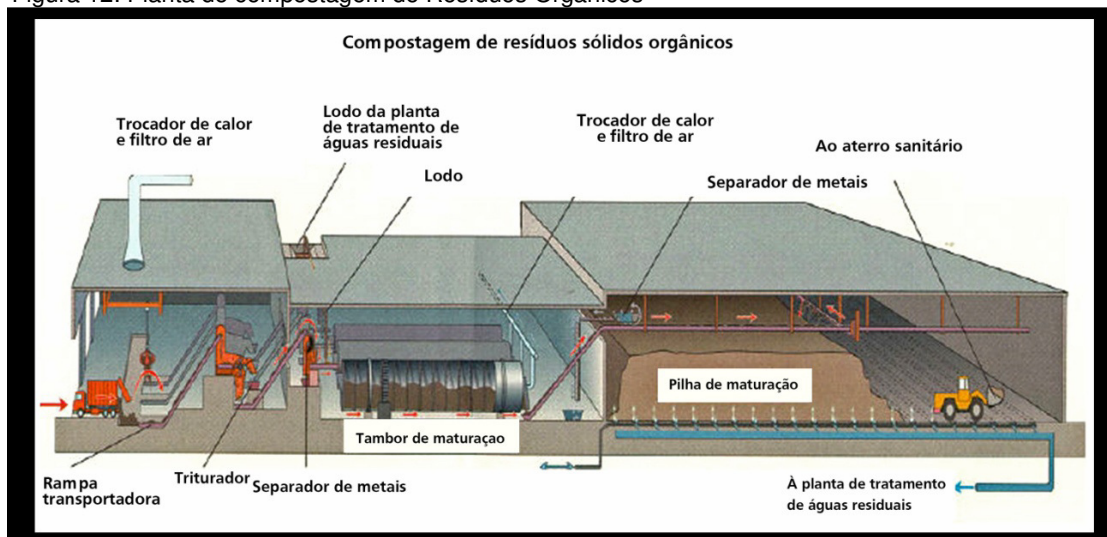
Fonte: Adaptado de Bongochgetsakul e Ishida (2008) pelo autor.

Os resultados do sistema estudado pelos autores são apontados em termos de equilíbrio na relação entre massa e energia, enquanto temperatura, conteúdo de água e distribuição da concentração de oxigênio são itens calculados a partir da interação com as condições ambientais.

São considerados também para efeito de modelagem, que as variáveis de massa, energia, temperatura, composição de água e oxigênio, se encontram em repouso, enquanto que a etapa de avaliação da mistura é realizada em acordo com cálculos de reviramento, a partir da simulação da movimentação diária da leira (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008).

Na esfera de tal importância, conforme apontado também em Nowosielski e Najdek (2007), Gómes Méndez (2009) descreve que uma das vantagens na realização do processo de compostagem é a de possibilitar a redução do volume de resíduos depositados nos aterros, em torno de 50%, através da perda de volume na forma de água por evaporação com consumo de 50% da massa orgânica, simultânea à perda de CO_2 e H_2O . O processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos em práticas de destinação final de resíduos sólidos pode ser caracterizado conforme a Figura 12:

Figura 12: Planta de compostagem de Resíduos Orgânicos

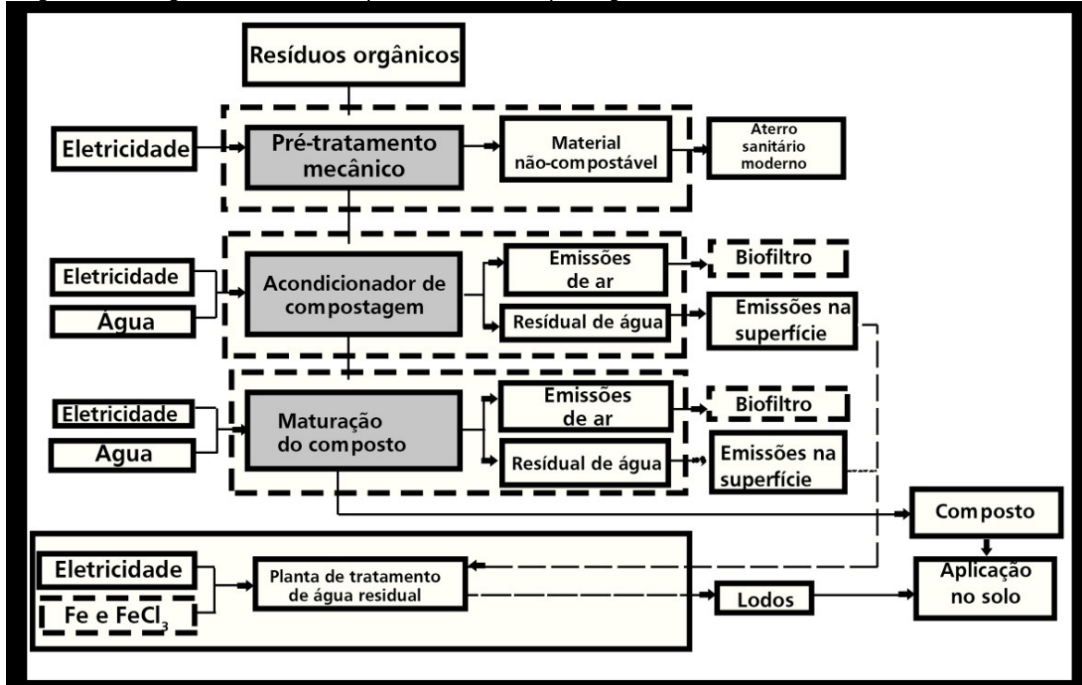


Fonte: Adaptado a partir de Gómes Méndez (2009) pelo autor

Na figura acima, o processo é apresentado a partir de sua entrada após etapas de separação dos resíduos captados em Aterros Modernos, passando pela maturação até a fase avançada de empilhamento e geração de húmus. Complementar à descrição do processo, Gómes Méndez (2009) aponta que a produção resultante da

compostagem durante a fase de pré-tratamento, se dá em um período de 10 a 14 dias em sistema automatizado, compreendendo etapas apresentadas na Figura 13:

Figura 13: Diagrama do fluxo do processo de compostagem



Fonte: Adaptado a partir de Gómes Méndez (2009) pelo autor

Verifica-se na esquematização realizada por Gómes Méndez (2009), a contribuição da compostagem para o planejamento do reaproveitamento energético dos produtos gerados pelo processo, através das emissões controladas de fluídos. A avaliação realizada pela autora acerca do processo de compostagem realizado no México organiza as fases do processo em: i) pré-tratamento mecânico; ii) contenção da compostagem; iii) maturação; e, iv) aplicação de composto e substituição de fertilizantes. Tal organização serviu de modelo para o tópico 'Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica', a ser apresentado a seguir junto á contribuição de outros autores.

Já em Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), a organização dos dados acerca do comportamento da compostagem é apresentada conforme sua utilidade em etapas de metodologia a serem delimitadas posteriormente:

- i) Parâmetros de seguimento: podem ser medidos, seguidos e adequados;
- ii) Parâmetros relativos à natureza do substrato, do composto: podem ser adequados de forma correta ao início do processo.

São considerados parâmetros de seguimento: i) temperatura; ii) umidade; iii) pH; iv) aeração, e, v) espaço de ar livre. São considerados de natureza do composto (substrato), ou possíveis variáveis de controle ou modelagem: i) tamanho da partícula; ii) relação da proporção C/N e C/P; iii) nutrientes; iv) matéria orgânica, e, v) condutividade elétrica (BUENO MÁRQUEZ; DÍAZ BLANCO; CABRERA CAPITÁN, 2008).

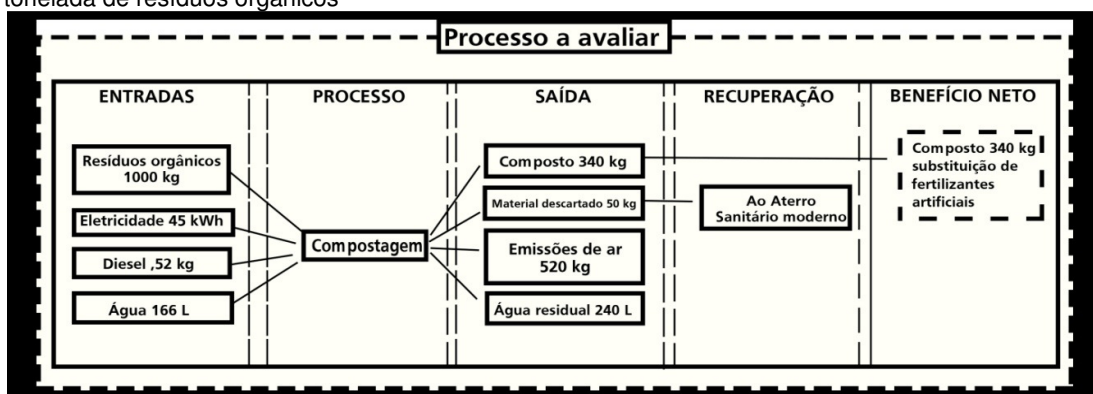
Mendes (2012) utiliza a seguinte tipologia para apontar os condicionantes do processo: i) razão entre C/N; ii) aeração e temperatura; iii) umidade; iv) pH; v) granulometria; e vi) inóculo.

A partir da referência de Vasileiadou, Heimeriks e Petersen (2011), acerca da redução de emissões no quadro de gases de efeito estufa a partir da utilização da compostagem, e segundo Gómes Méndez (2009), não há contagem nos níveis das taxas de CO₂ emitidos no processo inicial de compostagem, ou mesmo durante o processo de maturação (final).

Isto ocorre porque as taxas antrópicas geradas em tais processos não são utilizadas nas somatórias totais realizadas nos inventários dos relatórios ambientais para avaliação de ações de mitigação, dentro de um cenário de auditoria na geração de gases de efeito estufa (GEE) a partir dos relatórios internacionais de mudanças climáticas, como pode ser verificado em Vasileiadou, Heimeriks e Petersen (2011).

Frente a este modelo de procedimento aplicado na mitigação de poluentes ambientais atmosféricos, a relação entre geração e rendimento apontada durante o processo investigado por Gómes Méndez (2009), apresentada na unidade funcional de avaliação (Figura 14), estabelece, que: a partir do cálculo realizado para cada 1.000 kg de material orgânico produzido, são gerados 340 quilogramas de húmus, na menor medida de seu rendimento:

Figura 14: Categorias de impacto para o processo de compostagem de resíduos orgânicos para uma tonelada de resíduos orgânicos



Fonte: Adaptado Gómes Méndez (2009) pelo autor

Com implicação pontual para o estabelecimento de parâmetros em um quadro informacional introdutório apresentado nesta seção, tal esquema poderá apresentar outros benefícios, podendo ser utilizado em etapas posteriores desta pesquisa, como durante a investigação do plano de necessidades funcionais, de forma a apontar sua correlação com condições pré-estabelecidas para a atividade projetual.

Esta é uma pertinente afirmação, uma vez que relaciona prioridade do processo de compostagem no quadro tecnológico de destinação final em resíduos sólidos orgânicos, com a já apresentada carência do setor em apresentar novas ferramentas de avaliação.

O Quadro 1 contribui para descrever taxas de impacto que a atividade de compostagem de resíduos sólidos orgânicos produz, em termos de parâmetros de eletricidade, emissões e benefícios. Caracterização detalhada e impactos descritos em um quadro ambiental podem ser verificados com mais detalhes na avaliação realizada por Gómes Méndez (2009), acerca do tratamento de resíduos sólidos orgânicos por meio do processo de compostagem:

Quadro 1: Categorias de impacto para o processo de compostagem de resíduos orgânicos para a quantidade de uma tonelada

Categoria de impacto	Eletricidade consumida	Diesel de transporte	Processo de emissão	Benefício do composto	Total
Expansão abiótica (EA) (kg Sb eq)	2.44E-01	2.33E-03	0.00E+00	-1.47E-03	2.45E-01
Aquecimento global (AG) (kg CO ₂ eq)	3.75E+01	3.47E-01	1.21E-02	-3.01E-02	3.78E+01
Toxicidade humana (TH) (kg 1-4 DCB eq)	9.36E+00	4.19E-02	6.4E-04	-4.1E-03	9.40E+00
Foto-oxidação química (FQ) (kg etileno eq)	8.47E-03	7.08E-05	1.33E-03	-1.12E-04	9.77E-03
Acidificação (AC) (kg etileno eq)	2.41E-01	2.00E-03	5.05E-02	-4.56E-03	2.89E-01
Eutrofização (EU) (kg PO ₄ eq)	2.50E-02	4.27E-04	1.25E-01	-2.05E-03	1.49E-01

Fonte: Adaptado de Gómes Méndez (2009) pelo autor

Mediante este tópico apresentado, perseguiu-se a necessidade em explicitar a demanda por análise do processo de compostagem e sua importância para o Design, compreendendo a prioridade em descrevê-la nos âmbitos: i) descrição das ações empregadas na compostagem automatizada; ii) verificação das tipologias empregadas nas representações do processo; iii) descrição do comportamento da biomassa durante o processo de compostagem, mediante o pouco usual transporte de calor em partes da superfície; iv) descrição da atividade microbiana e metabólica verificada no processo.

Sendo assim, o próximo tópico realizará uma descrição dos processos bioquímicos verificados durante a compostagem em ambiente aeróbico, de forma que

sua descrição possa oferecer dados sobre o ambiente de degradação a partir de marcos temporais e térmicos, específicos, caracterizados mediante o apontamento acima. Será verificado que todas as etapas e interrelações dentro do processo possuem resultado interligado e interativo com o produto a ser perseguido ao final do processo: o ácido húmico.

Metodologicamente, esta descrição poderá ser utilizada como subsídios para elencar marcos de avaliação na melhoria do processo, bem como formas de possibilitar a discretização de marcos para a modelagem de simulação do processo de compostagem.

2.2.1 Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica

Este item apresenta dados específicos acerca da degradação verificada no processo de compostagem a partir da utilização de autores já apresentados, tal como Bertoldi, Vallini e Pera (1982), Bongochgetsakul e Ishida (2008), Giusti e Marsili-Libelli (2010), e Agostini, Sundberg e Navia (2012) e outros contribuintes, ao visualizar os benefícios verificados nos campos de: i) crescimento vegetal; ii) aprimoramento da biodegradação; iii) comparação do tempo de exposição às turbinas de aeração; iv) fatores que afetam o processo; v) viabilidade técnica no campo do aprimoramento das melhorias; e, vi) descrições na esfera química, física e biológica.

No campo descritivo, verifica-se a contribuição de Trautmann e Krasny (1998), mediante uma pesquisa com considerações acerca do processo de compostagem na esfera química, física e biológica, bem tal como se consolidando como corpo de conhecimento que utiliza áreas correlatas, outorgando à compostagem um status de Ciência.

Sendo assim, e mediante a necessidade de aprofundamento (conforme descrito ao final do tópico anterior), é apresentada a descrição do perfil da compostagem a partir da escala molecular contando com as relações biológicas e microbiológicas dos seres que povoam o processo durante o percurso da degradação bioquímica até a geração de húmus. Complementarmente são acrescentadas informações acerca da realização do processo: i) no ambiente rural; e ii) no campo da destinação final de resíduos sólidos orgânicos.

Tal afunilamento tem em vista unir em análise ambas formas de descrever o processo para atividades de projeto, de maneira a fornecer dados à prática de projeção, útil em um quadro de necessidades de previsão em interatividade com

disciplinas no eixo das mudanças climáticas (VASILEIADOU; HEIMERIKS; PETERSEN, 2011), a serem avaliadas por tópicos em sustentabilidade, representadas e investigadas por projetos de modelagem de simulação.

Mediante a compreensão de Amaral et al. (2006), a importância deste tópico é descrita a partir da investigação do *'portador de efeito'*, a partir do qual a descrição biofísica da compostagem visa a discretização dos dados coletados acerca da compostagem para uma delimitação necessária em etapas da constituição do princípio de solução.

O portador de efeito é descrito em: *'um sistema físico, com seus elementos e suas relações entre elementos, definido qualitativamente, capaz de realizar o efeito físico esperado. Ao se definir um portador para um efeito físico em questão, define-se o princípio de solução a ser utilizado'* (AMARAL et al., 2006, p. 246).

O eixo utilizado para delinear este estudo no recorte apresentado aqui, não predispõe que a compostagem não seja útil para as áreas de: i) degradação de restos da produção avícola³⁸; ii) degradação dos restos de pecuária³⁹; iii) degradação dos restos produzidos no setor de curtume⁴⁰; iv) degradação do bagaço hidrolisado de uva para a produção de energia⁴¹; v) utilização em processos de biorremediação de hidrocarbonetos verificados na indústria petrolífera⁴², e, vi) na simulação da compostagem e seus efeitos comportamentais no ambiente do domicílio⁴³.

A divisão dos sub-tópicos advém de uma contribuição verificada em Gómes Méndez (2009) e Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), de forma a organizar a descrição do processo em quatro tópicos: i) pré-tratamento mecânico e considerações para o início do processo; ii) contenção da compostagem e consecutivo aumento de temperatura; iii) maturação e pico da atividade metabólica, e, iv) avaliação e aplicação do húmus.

³⁸ ORRICO JÚNIOR, Marco AP; ORRICO, Ana CA; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. Engenharia Agrícola, 2010.

³⁹ ERAZO, Guerrero et al. Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. Scientia, 2007.

⁴⁰ ÍÑIGUEZ, Gilberto; RODRÍGUEZ, Ramón; VIRGEN, Gil. Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría. Revista internacional de contaminación ambiental, v. 22, n. 3, p. 113-123, 2006.

⁴¹ PARADELO, Remigio; MOLDES, Ana B.; BARRAL, María T. Utilization of a factorial design to study the composting of hydrolyzed grape marc and vinification lees. Journal of agricultural and food chemistry, v. 58, n. 5, p. 3085-3092, 2010.

⁴² IZQUIERDO SANCHIS, Marta. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. 2010.

⁴³ TUCKER, Peter; FLETCHER, Isobel. Simulating household waste management behaviours part 2: Home composting. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, v. 3, n. 3, 2000.

2.2.1.1 Primeira fase – Pré-tratamento mecânico e considerações para o início do processo

Antes do processo de compostagem, ou seja, em etapas de preparação dos insumos a serem compostados, aponta-se a necessidade de separação entre materiais biodegradáveis e não-biodegradáveis, de forma a reduzir futuras intervenções no processo. Segundo Gómes Méndez (2009), processos diferenciados de compostagem (tanto automatizada e intensiva, quanto de maturação nas leiras) podem ser utilizados complementarmente, reduzindo o tempo total de formação do composto em 34 dias aproximadamente.

Pré-tratamento mecânico é a fase em que resíduos sólidos orgânicos são triturados, peneirados e reduzidos: outras partes do insumo que não podem ser biodegradados são dirigidos a um aterro sanitário moderno, como pode ser conferido também em Nespolo (2004), Gomes et al. (2008), e Gómes Méndez (2009), como descrito em nota no item Introdução.

Segundo Bertoldi, Vallini e Pera (1982), que analisa a compostagem a partir dos benefícios verificados em termos de crescimento vegetal no campo da agricultura, a partir de experimentos com amostras utilizando resíduos sólidos orgânicos urbanos, é verificado como valor ótimo para a taxa de C/N inicial, a proporção 1: 25, dado que valores maiores que estes diminuem a taxa de decomposição final, enquanto que menores resultam em perda de hidrogênio.

Considera-se prática necessária para um bom início das atividades de compostagem, a redução espacial do montante da pilha, de forma que, ao reduzir o tamanho da partícula, aumenta-se a superfície de contato dentro da massa. A velocidade de oxidação é, portanto, proporcional à exposição da superfície às reações da compostagem, com resguardo às possibilidades de alteração da reação sem comprometer o resultado (BERTOLDI; VALLINI, PERA, 1982).

A contribuição de Mendes (2012) advém de um trabalho baseado no estudo da viabilidade técnica do processo de compostagem para o aproveitamento da matéria orgânica contida em uma área do Vale do Douro Norte, Portugal.

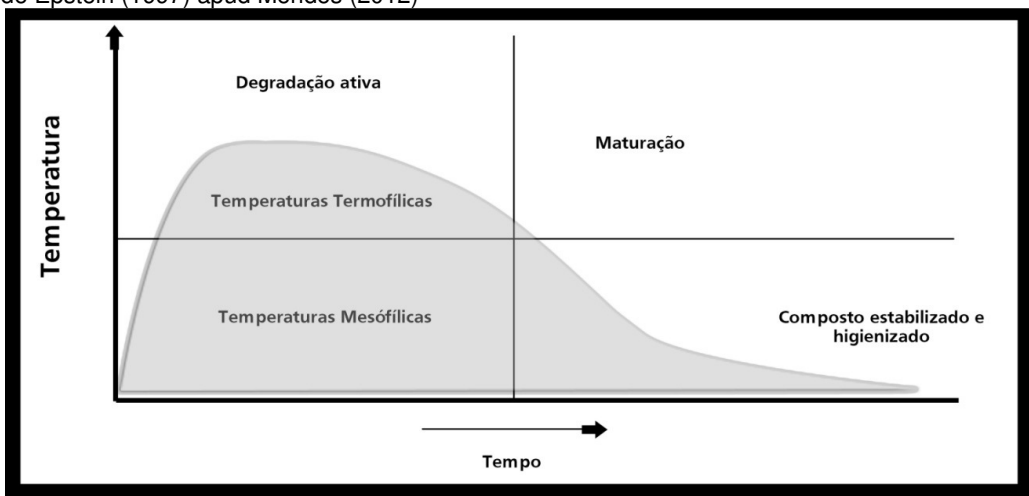
Nesta pesquisa, além das considerações em nível bioquímico, é investigado o aspecto térmico inicial para descrever a compostagem. A fase denominada Psicrófila é caracterizada por uma variação de temperatura de 0 a 25 graus Celsius: ou seja, capaz de descrever o marco zero do processo. Porém, sua utilização não é considerada de grande pertinência, no caso de uma boa realização do método.

Após o pré-tratamento mecânico descrito anteriormente, e levando em conta que o mesmo prescinde de práticas de coleta e separação adequados, tem início a primeira fase térmica do processo, denominada em Giusti e Marsili-Libelli (2010), de Mesófila. Nesta fase térmica, a temperatura do ambiente bacteriano mesofílico inicial é considerada como sendo de 35 graus Celsius com tendência a entrar em evolução.

Tal evolução se dá, segundo os autores, frente à constatação de que a temperatura inicial tende a subir, frente a condições termocondutoras do ambiente orgânico, com alto teor bacteriano e atividade metabólica. Tal elevação da temperatura ambiental geral e sua evolução poderá ser constatada ao longo deste estudo nos sucessivos tópicos.

A elevação total da reação pode ser ilustrada utilizando uma curva apresentada pelo trabalho de Mendes (2012) na Figura 15, que é apresentada também em uma revisão a partir de outros autores contribuidores para o assunto compostagem. Tal figura pode ser consultada no Apêndice deste relatório.

Figura 15: Fases do processo de compostagem em função da temperatura da pilha, adaptado de Epstein (1997) apud Mendes (2012)



Fonte: Adaptação de Mendes (2012, p.40) pelo autor.

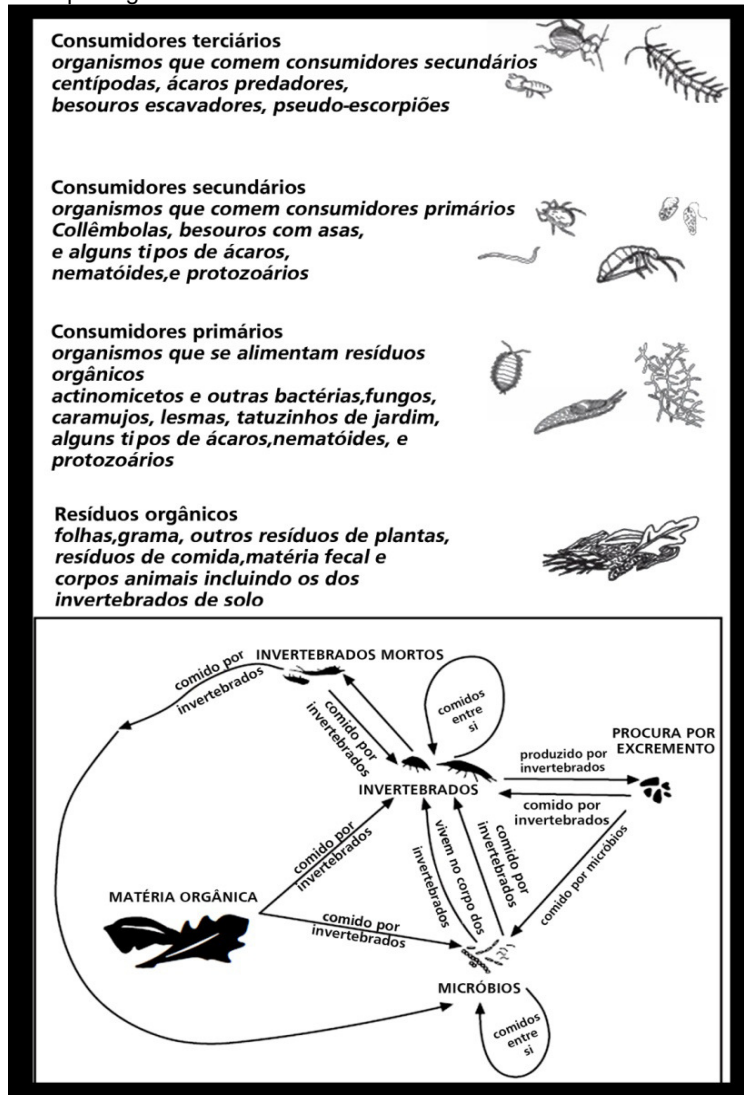
Após o pré-tratamento mecânico, tem início a primeira fase térmica do processo, denominada em Giusti e Marsili-Libelli (2010), de Mesófila. Nesta fase térmica, a temperatura do ambiente bacteriano mesofílico inicial é considerada de 35 graus Celsius. Segundo os autores, a temperatura inicial tende a subir, dado as condições termocondutoras do ambiente orgânico, de alto teor bacteriano.

Tal valor considerado um marco para início da fase Mesófila, encontra complementação no trabalho de Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), acerca dos fatores que intervêm diretamente no processo, onde são

considerados valores menores que 45 graus Celsius, e nível ótimo e efetivo para microrganismos com valores de 15 a 40 graus Celsius.

Esta ambientação baseada em condições térmicas ideais para ocasionar a fauna bacteriana, e portanto, para ambientar uma grande diversidade de outras espécies de seres vivos em torno de uma cadeia alimentar é apresentada pela figura 16:

Figura 16 - Grupos funcionais de organismos da rede alimentar na compostagem, e abaixo, interações alimentares entre organismos na compostagem



Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor.

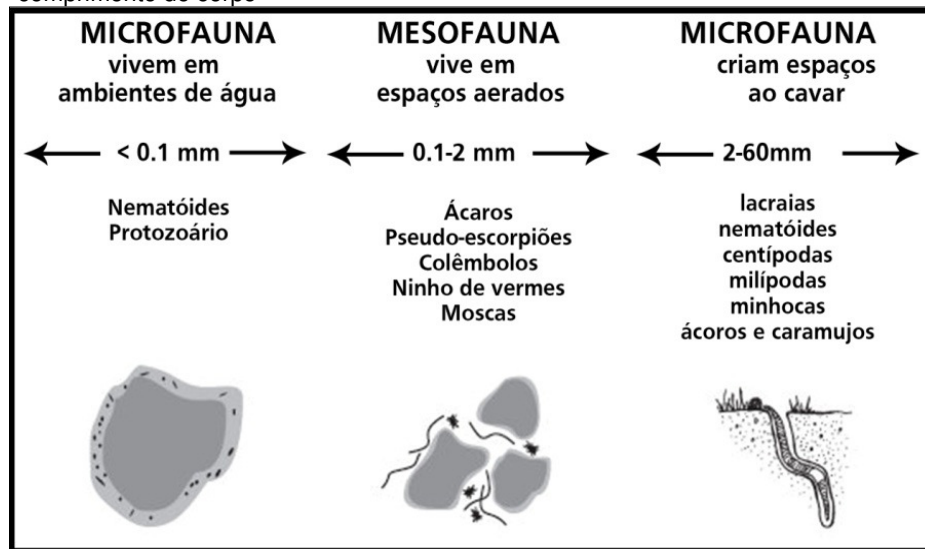
Na Figura 17 constam exemplos de organismos funcionais que habitam no processo de compostagem, e a forma com que os elos da cadeia se relacionam mediante a necessidade de alimento.

No processo de compostagem segundo Trautmann e Krasny (1998), o empilhamento na composição das leiras é incentivado de forma a possibilitar a

eliminação de invertebrados, dado que não possuem atividade relevante a compostagem sob altas temperaturas, durante a fase termofílica. Porém, em acordo com estudo no campo realizados por Bongochgetsakul e Ishida (2008), a variável da população microbiológica é de grande importância para o entendimento do rendimento do processo nas etapas iniciais.

Já na compostagem realizada em escala industrial, nos reatores onde é realizado o processo, é oferecido o habitat ideal para invertebrados, verificado na vegetação em decomposição (TRAUTMANN; KRASNY, 1998). A classificação destes invertebrados é realizada em acordo com o comprimento do corpo, conforme apresentado na Figura 17, contemplando tais seres nas classes de *microfauna* (menores que 0.2 mm), *mesofauna* (de 0.2 a 10 mm), e *macrofauna* (maiores que 10 mm).

Figura 17 - Classificação de organismos da compostagem em acordo com o comprimento do corpo



Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor.

Entre os outros seres vivos encontrados neste habitat se encontram ainda os anelídeos da família *Enchytraeidae*, minhocas, ácaros, pseudoscorpíões, aranhas, colêmbolos, moscas, formigas, besouros, tesourinhas, centopéias, lacraias, tatuzinhos, nematóides e moluscos, como lesmas e caracóis (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Exercendo papel prioritário entre os invertebrados presentes no processo estão minhocas, que, contando com os exemplares marinhos, somam cerca de 3.000 espécies, variando de tamanhos e pesos de 10 mm a aproximadamente 1.200 cm, e

de 10 mg a 600 g de peso, com destaque a espécie *Lumbricidae* e ao membro *Eisenia fetida*, presente na prática de vermicompostagem (TRAUTMANN; KRASNY, 1998)⁴⁴.

A partir de sua alimentação, as minhocas podem ser ditas espécies detritívoras, saprófagos ou necrófagos, tal como o exemplar *Eisenia fetida*, ou mesmo o *Lumbricus terrestris*, verificado ao norte dos EUA. As minhocas são responsáveis pela redução das partículas orgânicas presentes no processo de compostagem, e são capazes de digerir apenas compostos orgânicos simples como açúcares. Alguns poucos exemplares digerem celulose, porém: nenhuma aparentemente é capaz de quebrar lignina (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Tal como verificado acerca da cadeia alimentar verificada no processo de compostagem, as minhocas também interagem e dependem diretamente de outras populações de seres vivos presentes no ambiente das leiras. Estas se alimentam dos microorganismos presentes em solo, incluindo fungos, bactérias, protozoários, amebas e nematóides (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Minhocas também se relacionam em simbiose com microorganismos fornecendo alimento, como por exemplo, ao conviver com fungos a partir do trato digestivo. Verifica-se, que, inclusive, o substrato resultante de tal decomposição digestiva contribui para o crescimento microbial e aumento do metabolismo da atividade dentro do composto, como por exemplo, ao reduzir os restos de amônia presente no ambiente (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Em Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), a temperatura é considerada principal variável para o controle do processo, consequência da relação direta do tipo de atividade microbiana, em fator do aumento da temperatura da massa, com pequenas alterações de umidade, pH e proporção de C/N.

A avaliação do processo, segundo Costa et al. (2009), é dada por monitoramento térmico diário da pilha de compostagem, a partir da verificação de certo aspecto indesejado de odor no processo, como prescrito por parâmetros e procedimentos fixados por autoridades no campo da saúde. O odor indesejado está vinculado a aplicação de materiais de fácil decomposição dentro da massa, durante os cinco primeiros dias ou nas primeiras três semanas, resultando em uma relação desproporcional entre C/N, aumentando o nível de umidade ambiental e contribuindo para um descompasso no decorrer da decomposição.

⁴⁴ Para um maior detalhamento acerca da vermicompostagem é indicada a verificação de Trautmann e Krasny (1998).

Segundo Trautmann e Krasny (1998), oxigênio é necessário para suprir o sistema de energia e nutrição, de maneira que possam ser realizadas atividades aeróbias de oxidação orgânica, sem que sejam produzidos odores sulfídricos (enxofre). Acerca da importância do fator espacial, e da possibilidade de sua interferência no processo de compostagem, Mendes (2012) aponta uma correlação entre área das leiras e produção de odores, conforme descrito no trecho:

Pilhas demasiado largas e úmidas, com uma porosidade reduzida ou com taxas de degradação biológicas muito elevadas contribuem para uma disponibilidade reduzida de oxigênio molecular no meio, reduzindo a atividade das bactérias aeróbias. Estas serão substituídas por bactérias anaeróbias, cujo metabolismo é responsável pela libertação de odores, nomeadamente pela decomposição anaeróbia de proteínas originando aminas, e de outros compostos contendo enxofre, libertando gás sulfídrico (H₂S) (MENDES, 2012, p. 47).

Verifica-se a partir do trecho acima, que os processos bioquímicos presentes na atividade de compostagem possuem direta correlação com a formatação espacial aplicada em sua aglomeração, misturando ou empilhando as partículas do composto, de maneira a beneficiar ou mesmo prejudicar a atividade, dependendo do tipo de biodegradação desejada.

Dado o fato de que a caracterização espacial possui relação direta com tópicos no campo da contenção física, e que tal requisito é considerado item da investigação no campo funcional na atividade de projeto, maiores considerações acerca do assunto serão desenvolvidas mais à frente no próximo tópico.

2.2.1.2 Segunda fase: Contenção da compostagem e consecutivo aumento de temperatura

O processo de indução da biodegradação da biomassa ocorre em um container durante 11 dias sob controle de umidade e nitrogênio, em que são emitidos a partir da biodegradação do material, partes de ar e água (com a liberação de cerca de 1.3% de carbono orgânico do composto na forma de água), caracterizando o processo como aeróbico. Gómes Méndez (2009) recomenda também a injeção de 6.1% de Nitrogênio em água, com o objetivo de manter o bom nível de pH do ambiente de decomposição orgânica, e reduzir a emissão de lixiviado, dissolução de dejetos na forma de fluido líquido.

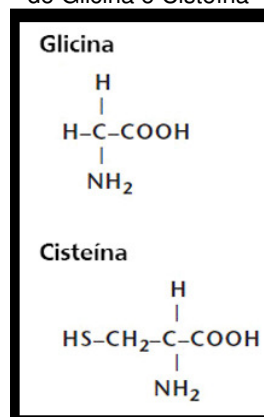
Termicamente, a segunda fase começa quando a temperatura chega a 40 graus Celsius, no estágio denominado termófilo, onde outra população bacteriana tende a prover reatividade ao sistema, levando-o de 55 a 65 graus Celsius, de forma a

possibilitar a degradação de proteínas, gorduras, e cadeias complexas de carboidratos (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010).

Segundo Trautmann e Krasny (1998), uma vez que a temperatura exceda 40 graus Celsius, os microorganismos se tornam menos competitivos que na fase mesófila, e são substituídos por termofílicos, micróbios em afinidade com o calor.

Esta é uma etapa em que microorganismos invertebrados que possuem papel fundamental no processo, passam a povoar o habitat de biodegradação, conforme descrito em: *'During the thermophilic stage, high temperatures accelerate the breakdown of proteins, fats, and complex carbohydrates like cellulose and hemicellulose, the major structural molecules in plants'* (TRAUTMANN; KRASNY, p. 3, 1998)⁴⁵. Desta forma, as cadeias de proteínas são decompostas em aminoácidos como glicina ou cisteína, esquematizadas na fórmula estrutural simplificada e apresentada na Figura 18:

Figura 18 - Fórmula estrutural simplificada de Glicina e Cisteína



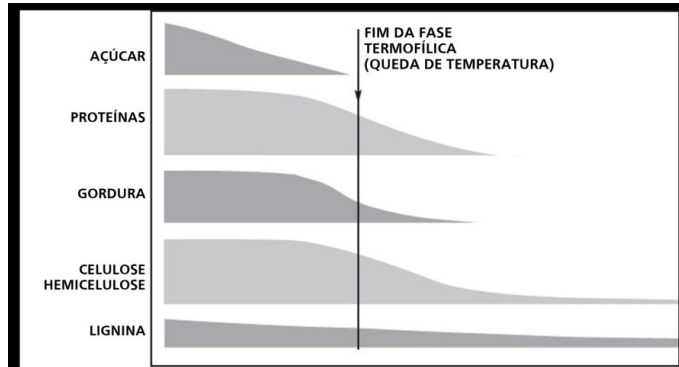
Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor.

Compostos como estes apontados acima são considerados de rápida decomposição, ao possuírem nitrogênio e fósforo em sua composição, vindo a se tornar amônia NH⁴⁺, nitratos (NO₃-), ou sulfatos (SO₄²⁻), e serem utilizados em processos biológicos de nutrição por plantas. As cadeias mais complexas que não se quebram nesta fase, são incorporadas ao ácido húmico, húmus (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Acerca das temperaturas de degradação para compostos orgânicos como comentado acima, e sua disparidade, é apresentado o esquema na Figura 19:

⁴⁵ Tradução realizada pelo autor: *'Durante a fase termofílica, altas temperaturas aceleram a quebra de proteínas, gorduras, e carboidratos complexos como celulose e hemicelulose, as maiores moléculas estruturas em plantas'*.

Figura 19 - Decomposição química durante compostagem termofílica



Fonte: Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor.

Verifica-se, portanto, que a taxa incluída dos compostos a serem inseridos na biomassa a ser degradada, resulta diretamente em sua velocidade de decomposição, e com o possível descompasso ou agilidade em alcançar as altas temperaturas encontradas na fase termófila. Sobre esta transição entre o período mesofílico e o termofílico, podemos encontrar em Trautmann e Krasny (1998) uma descrição no trecho:

O pH inicial depende da composição dos ingredientes. Nas primeiras fases da compostagem, ácidos orgânicos talvez sejam acumulados como subprodutos da digestão de matéria orgânica de bactérias e fungos. A resultante queda no pH encoraja o crescimento de fungos, os quais são ativos na decomposição de lignina e celulose. Usualmente, ácidos orgânicos vêm a se quebrar durante o processo de compostagem, e o pH sobe. Isto é causado por dois processos que ocorrem durante a fase termofílica: decomposição e volatilização de ácidos orgânicos, e liberação de amônia por micróbios enquanto quebram proteínas e fontes orgânicas nitrogenadas. Tardiamente no processo de compostagem, o pH tende a se tornar neutro enquanto a amônia se perde na atmosfera ou é incorporada no novo crescimento microbial (TRAUTMANN; KRASNY, 1998, p.8)⁴⁶.

Segundo Trautmann e Krasny (1998), as condições ideais para a compostagem termofílica estão relacionadas à observação dos fatores: i) quantidades relativas de carbono e nitrogênio; ii) equilíbrio entre oxigênio e compostos da mistura, e, pH. Complementarmente, em Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), é apresentado que a fase termófila tem início a partir dos 54 graus Celsius, com níveis ótimos e efetivos em valores entre 40 e 70 graus Celsius.

Em Bertoldi, Vallini e Pera (1982), os principais fatores que contribuem para influenciar no processo de compostagem são: i) oxigenação; ii) temperatura; iii) composição da mistura; iv) taxa de carbono e nitrogênio; v) nível de pH, e, vi) condicionamento nas etapas iniciais do processo. A fixação do nitrogênio no processo de decomposição é inibida na presença de amônia e em altas temperaturas, porém

⁴⁶ Tradução realizada pelo autor (2014).

são constatadas atividades altamente nitrogenadas em fases posteriores de decomposição.

A umidade ótima para o crescimento microbiano é considerada entre 50% e 70%, sendo considerada baixa demais para a atividade quando o valor é de 30%, e, alta demais quando acima de 70%. Por volta do valor de 70%, a água desloca o ar contido nos espaços livres, de forma que se reduza a transferência de oxigênio, tornando o ambiente anaeróbio (BUENO MÁRQUEZ; DÍAZ BLANCO E CABRERA CAPITÁN, 2008). Para um maior detalhamento acerca do deslocamento da água no ambiente de biodegradação da compostagem, consulte o tópico 'Biodegradabilidade no processo de compostagem'.

Consideram-se valores ótimos para pH o intervalo entre 5.5 e 8. O manuseio da leira de compostagem interfere diretamente na manipulação do pH do ambiente de biodegradação, uma vez que este fator possui tendência de queda após o processo de decomposição, dado o início de valores altos e resultado da perda de hidrogênio por volatilização da amônia (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982), como já verificado em Trautmann e Krasny (1998). Segundo Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), a produção de Amônia (NH_4) é resultado da autorregulação na proporção da relação entre C/N, necessitando de valores proporcionais em torno de 1: 20.

A composição da mistura na compostagem realizada em meio urbano não possui boa qualidade para biodegradar, em função de possuir partes de resíduos sólidos não-orgânicos e acrescentar grau de dificuldade nas atividades de separação, contribuindo para prejudicar a eficiência do processo de destinação, em uma ótica produtiva (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982).

Em fator desta constatação, é indicada a contribuição da adição de água de lodo no processo para fins de aceleração da biodegradação, com valores de 30% até 65%, ou 67% do volume total da massa (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982).

Acerca da implicação desta recomendação para um apontamento direto na taxa de emissões, é possível afirmar que a fração biodegradável dos resíduos sólidos orgânicos urbanos não é considerada fonte de poluição, e não é incluída entre as práticas que realizam emissões com fontes antrópicas, tal como apontado em Gómez Méndez (2009) e Vasileiadou, Heimeriks e Petersen (2011), anteriormente.

Porém, o lodo (que normalmente é oriundo de fontes industriais) misturado á frações orgânicas do resíduo sólido urbano, apresenta alta concentração de metais pesados, afetando a verificação de resultados positivos no processo de compostagem ao apresentar taxas de poluição com aumento na geração de CO_2 entre outros gases

(BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982), mesmo fora do quadro de mitigação (VASILEIADOU; HEIMERIKS E PETERSEN, 2011).

Além deste detalhe, Bertoldi, Vallini e Pera (1982) apontam que o resíduo sólido urbano, assim como o lodo, possui alta quantidade em microrganismos capazes de constituir perigo à saúde humana, conforme apresentado no Quadro 2, diante de uma infinidade de seres vivos que usam o lodo como habitat:

Quadro 2 - Microrganismos patogênicos isolados de resíduos sólidos urbanos e lodo

Vírus	Enterovírus Poliovírus Coxsackie Echovírus Vírus da Hepatite A Adenovírus Reovírus
Bactéria	Salmonella Escherichia coli Outras enterobactérias Yersinia Bacillaceae Listeria Vibrio Micobacterium Leptospira Campylobacter
Filamentos de fungo	Aspergillus fumigatus Phialophora richardsii Geotrichum candidum Trichophyton Epidermophyton
Lêvedo	Candida albicans Candida krusei Candida tropicalis Candida guilliermondii Cryprococcus Neoformans Trichosporon
Parasitas	Taenia saginata Ascaris lumbricoides Toxocara Echinococcus Toxoplasma gondii Sarcocystis Gastrointestinal nematodes

Fonte: Adaptado de Bertoldi, Vallini, Pera (1982) pelo autor.

A maximização da degradação do lodo em procedimentos de biorremediação e seus benefícios, pode ser conferida em pesquisas como a de Komilis et al(2011)⁴⁷, mediante um experimento de alteração das taxas de mistura do composto do lodo, enquanto que em Zurbrügg e Tilley (2008)⁴⁸, é apresentada uma perspectiva abrangente de reutilização do resíduo escoado em sistema sanitário.

Além do quadro dos tipos de populações bacteriais, fungi e parasitárias, apresentados em Bertoldi, Vallini e Pera (1982), os mesmos também contribuem ao apresentar uma tabela de dados contendo as comunidades de bactérias que povoam a fase termofílica da compostagem, como apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 - Comunidades de bactérias na fase termofílica

Termofílica	
<i>Absidia ramosa</i>	<i>Humicola lanuginosa</i>
<i>Allescheria terrestris</i>	<i>Lenzites sp.</i>
<i>Mucor pusillus</i>	<i>Penicillium duponti</i>
<i>Chaetomium thermophilum</i>	<i>Scytalidium thermophilum</i>
<i>Talaromyces thermophilis</i>	<i>Sporotrichum thermophile</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Thermoascus aurantiacus</i>
<i>Humicola insolens</i>	<i>Micelia sterilia</i>

Fonte: Adaptado de Bertoldi, Vallini e Pera (1982) pelo autor.

Porém como já exposto, a população de microorganismos muda de acordo com as máximas temperaturas. Em temperaturas acima de 40 graus Celsius, bactérias mesofílicas dão lugar às termofílicas, em sua maior parte membros de gênero *bacillus*. Verifica-se a permanência da alta diversidade das populações até uma temperatura de 50 a 55 graus Celsius, caindo drasticamente a partir de 60 graus Celsius, a ponto de restarem somente populações de endosporos altamente resistentes ao calor, frio e clima seco (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Tais populações presentes nesta etapa do processo de compostagem são também verificadas em condições críticas fora do processo, em ambiente termofílico de águas vulcânicas, e fontes hidrotermais nas profundezas oceânicas. Já na fase mesofílica, a população bacteriana é responsável pela oxidação de hidrogênio, enxofre, e fixação de nitrogênio, sendo encontrada inclusive na camada mais superficial da pilha, onde a aeração é maior (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

⁴⁷ KOMILIS, Dimitrios; EVANGELOU, Alexandros; VOUDRIAS, Evangelos. Monitoring and optimizing the co-composting of dewatered sludge: a mixture experimental design approach. Journal of environmental management, v. 92, n. 9, p. 2241-2249, 2011.

⁴⁸ ZURBRÜGG, C.; TILLEY, E. A system perspective in sanitation—Human waste from cradle to grave and reincarnation. Desalination, v. 248, n. 1, p. 410-417, 2009.

Qualitativamente, o benefício térmico aproveitado pelas bactérias do habitat termofílico, também é aplicado a outros seres vivos dentro do ambiente de biodegradação, dado que a população de fungos presentes no processo de compostagem se beneficia com a queda de temperatura, pH e alteração do conteúdo da mistura dos compostos químicos, durante o processo de compostagem. Esta característica do comportamento dos organismos vivos no ambiente de biodegradação vale para a população de actinomicetos, fundamental para a humificação da matéria orgânica (BERTOLDI; VALLINI e PERA, 1982).

Acerca das populações de microorganismos que habitam o ambiente de compostagem, segundo Nunes (2010), Calegari e Oliveira (2013, 2014), em uma pesquisa do campo biológico, os actinomicetos são descritos como agentes potenciais na decomposição da celulose, de forma a sintetizar enzimas capazes de decompor a celulase, possibilitando a biodegradação de polímeros celulósicos ao tornar a lignina solúvel. São encontrados no processo de compostagem durante fases termofíla e de maturação (retorno a mesófila).

2.2.1.3. Terceira fase: maturação e pico da atividade metabólica

A etapa de maturação é caracterizada por fazer referência a um composto produzido para suprir relações de mercado. Para tal é requerido oito semanas aproximadamente em ambiente fechado, de maneira gerar um produto natural humificado.

Esta etapa contribui também para diferenciar o processo total da compostagem de outras realizações utilizando biomassa, tal como no processo de biodigestão, dado as características: i) tipo de decomposição que a matéria orgânica realiza; ii) modelo tecnológico utilizado para o desenho da planta em nível industrial (GÓMES MÉNDEZ, 2009). O composto pode ser aplicado em terras de cultivo agrícola com propósito de realizar fertilização, proporcionando efeitos positivos ao gerar nutrientes e suplementos de carbono orgânico destinados ao uso comercial (GÓMES MÉNDEZ, 2009).

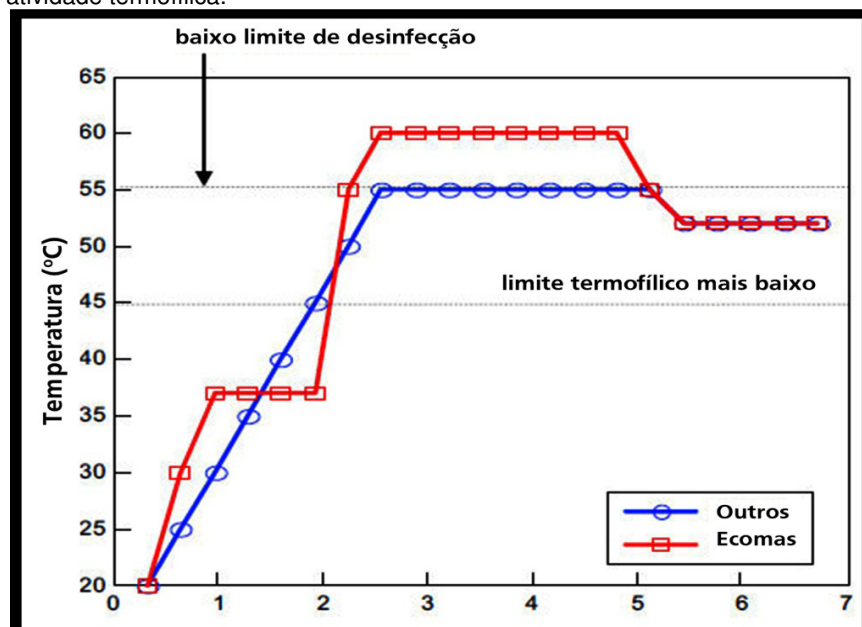
Sendo assim, na fase de maturação é caracterizado o retorno das populações microbianas verificadas no período mesofílico ocasionado ao início do procedimento, dada a redução da temperatura no ambiente de degradação. Tal regresso da caracterização do ambiente de degradação possui relação direta com o tipo de esporos e organismos, resilientes imediatamente após o término dos picos de

temperatura na atividade termofílica, de maneira promover a proliferação de microorganismos específicos, como fungos. No decorrer da atividade de maturação, a diversidade da comunidade microbiana aumenta gradualmente, simultaneamente ao processo de maturação do composto (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

A população *fungi* em sua maioria mesofílica presente no processo de biodegradação da compostagem, é responsável por atacar resíduos sólidos orgânicos mais secos, ácidos, ou com baixa taxa compositiva de nitrogênio voltado à decomposição. Tais seres vivos se localizam na superfície das pilhas, sendo estritamente aeróbicos e formando colônias difusas compostas por hifas na matéria orgânica, formando inclusive, cogumelos (TRAUTMANN; KRASNY, 1998).

Após a estabilização térmica que ocorre no ápice da atividade bacteriana, ocorre o processo de estabilização⁴⁹ do composto, onde há a mineralização do material e processual redução da atividade bacteriana, conforme apresentado na Figura 20, e já comentado anteriormente. O processo de estabilização é descrito em Giusti e Marsili-Libelli (2010) por: '*progressiva diminuição na temperatura devido a mineralização e queda na atividade microbial*'(GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010, p. 1)⁵⁰.

Figura 20 - Perfis de temperaturas típicas na primeira metade de um lote de compostagem. A prescrição da ECOMAS aponta uma temperatura mais alta de maneira a assegurar desinfecção. Na segunda semana ambas curvas coincidem e mantêm uma temperatura alta o suficiente para sustentar a desinfecção e atividade termofílica.



Fonte: Adaptado de Giusti e Marsili-Libelli (2010) pelo autor.

⁴⁹ Também podem ser encontradas descrições do mesmo processo como sendo denominado de processo de 'cura'. Segundo Sentelhas e Angelocci (2011), a condutividade térmica do ácido húmico é de 0,0030.

⁵⁰ Traduzido realizada pelo autor (2014).

A representação da curva neste gráfico tende a prescrever o ponto máximo que a atividade bacteriana verificada nos reatores da ECOMAS pode alcançar, dado um nível de temperatura ainda maior que o usual descrito pelos autores, mediante a pesquisa de casos similares do ramo (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010).

Segundo Bertoldi, Vallini e Pera (1982): é importante que a taxa de oxigenação nesta etapa do processo seja em torno de 18%, sendo considerado abaixo deste valor, insuficiente e demandando (de maneira a evitar a elevação demasiada de temperatura) a utilização de aeração forçada, induzida mecanicamente. O reviramento da leira é considerado de grande importância, porém não pode ser feito constantemente, dado o risco em anular algumas populações de fungos no processo, pois que trazem saldo positivo para a biodegradação.

Complementarmente, em Trautmann e Krasny (1998) é apontado que sistemas considerados ótimos para compostagem aeróbica possuem uma taxa de 10% em concentração de oxigênio. Abaixo desta taxa, é apontada a necessidade de aeração forçada através de buracos de ar, tubos de aeração e aeração mecânica. Percebe-se, portanto, que difusão (transporte de partículas de maneira a diminuir a concentração no meio) e convecção (transferência de energia térmica) são processos mecânicos primários no âmbito dos sistemas moleculares para a manutenção da atividade aeróbica da pilha, dado a prioridade da troca de calor, ao, por exemplo, precaver a pilha de esfriar na superfície.

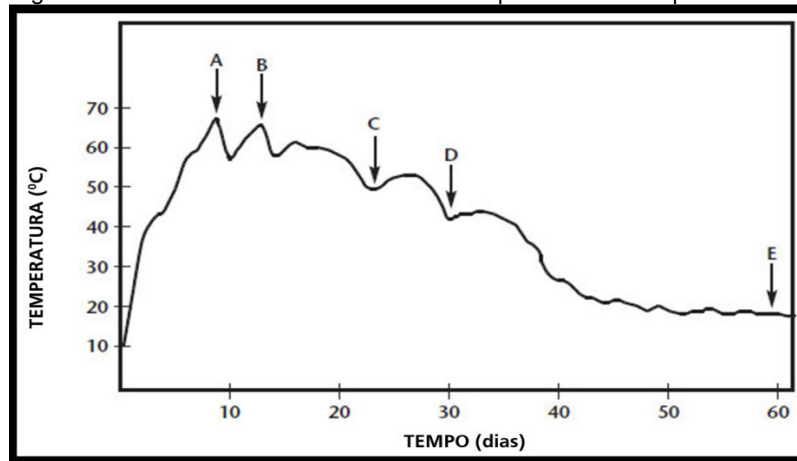
Com tal necessidade é afirmada a importância de que: antes mesmo de priorizar o revolvimento mecânico da leira, os processos relativos à manutenção da temperatura são de primeira ordem na sistematização. Complementarmente, Giusti e Marsili-Libelli (2010) apresentam como principais eixos de controle do processo os fatores: i) temperatura; ii) umidade; iii) pH e, iv) aeração, com maior ênfase à temperatura, dado a sua tendência a controlar a estabilidade do processo.

Complementarmente, o revolvimento é realizado quando a temperatura ultrapassa de 50 a 60 graus Celsius. A amostra do composto é retirada após 90 dias de compostagem finalizada, dado que não há alteração nas temperaturas das leiras: este é considerado um procedimento de avaliação de amostras físicas importantes para declaração do final do processo de compostagem, como apresentado por Costa et al. (2009), em uma pesquisa no setor de frigoríficos.

Trautmann e Krasny (1998) apontam que a prática de reviramento da pilha produz um novo pico de temperatura cada vez que é repetida durante o processo, exclusivamente na fase termofílica. Não se repete, portanto, tal comportamento

térmico durante a etapa mesofílica, dado a queda da temperatura no ambiente de biodegradação. Tal capacidade de interferir no processo é apresentada na Figura 21:

Figura 21 - Os efeitos de revolvimento na temperatura do composto



Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor

De forma a descrever a importância do fator aeração no processo de compostagem, Silva et al. (2008), a partir de um experimento visando medir a interferência do desempenho de turbinas de aeração sob o processo de compostagem, verifica uma mudança na proporção da relação de C/N a partir da avaliação do produto final, com resultados decrescendo até um valor de 20: 1, em um quadro total recomendado de 30: 1.

O Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), por sua vez, aponta que, quando a proporção entre C/N está situada abaixo da faixa de 10:1, é verificada a perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia (CH_4) (SANTOS, 2003). Em Orrico Junior et al.(2012), mediante uma contribuição apontada a partir de experiências de compostagem no setor de frigorífico, é apontada uma variação da perda de massa entre o marco inicial e final, chegando a uma taxa de 20,4 %.

De forma a descrever a necessidade por realizar uma manutenção ideal da taxa de C/N, Trautmann e Krasny (1998) expõem o fato de que a regulação ideal de valor 30:1 se deve ao fato de que, normalmente, a atividade microbiana é realizada em proporções pequenas relativas ao consumo de um mesmo composto (em torno de 6: 1). Ou seja, se tratando de metabolismo em conformidade com crescimento celular, é demandada uma maior quantidade de carbono para suprir a atividade estrutural biológica, sem gerar amônia de forma demasiada, e sem prolongar a biodegradação de forma significativa.

Santos (2003) contribui por reiterar a importância da aeração, considerada indispensável para o processo, dado a necessidade por reduzir a temperatura do composto ao nível desejado. Ao ser realizada também por meio de revolvimento, com consequente introdução de oxigênio na pilha, as vantagens segundo Santos (2003) de aplicação da aeração, são: i) elimina o gás indesejado; ii) homogeneiza a massa; iii) uniformiza a umidade e as comunidades de microorganismos; iv) desfaz torrões e as diferentes camadas estratificadas.

Por outro lado, a partir do tópico com simulação visitado em Bongochgetsakul e Ishida (2008), verifica-se que a importância do revolvimento das leiras de compostagem não se dá somente em virtude do fator agitação mecânica periódica do montante, mas também, diante da necessidade de liberação do vapor de água excedente gerado durante a decomposição, de forma a distribuir subprodutos das reações de biodegradação considerados altamente inibidores das reações de decomposição.

O processo '*windrow*', como Silva et al (2008) denomina o revolvimento das leiras, é caracterizado com prioridade, dado a importância do estudo do tópico aeração no processo de compostagem, em acordo com as relações entre: i) potência; ii) vazão do ar; iii) pressão estática, e, iv) eficiência do sistema de ventilação. É considerado procedimento de avaliação em Silva et al (2008), a necessidade por medir a incidência da aeração nos diversos pontos da superfície da massa.

O cálculo realizado no trabalho de Silva et al (2008), visa medir a pressão estática do ar no processo de compostagem durante os dois estágios de degradação bioquímica usualmente verificados por marcos térmicos (fase termofílica e fase mesofílica), de maneira possibilitar um valor a ser mantido pelo sistema de ventilação. A variabilidade dos valores encontrados pelo autor, indica que: o valor de potência a ser utilizado na aeração do processo de compostagem deve estar baseado no tipo de resíduo e suas características, bem como em acordo com os fatores ambientais, tal como a umidade relativa do ar.

Chandler et al (2008), em seu trabalho investigando a alteração da aeração no processo de compostagem comparando dois experimentos utilizando o bagaço da cana de açúcar, indica um período de aeração de duas horas diárias como suficiente para sustentar a boa realização do processo nesta etapa, dado a implicação direta do funcionamento do compressor para o quadro de práticas ecoeficientes, a resultar em menor consumo de energia e suficiência produtiva.

Em Bertoldi, Vallini e Pera (1982), verifica-se que temperaturas entre 30 e 55 graus Celsius incrementam a atividade microbiana, tornando tal fase um marco onde há maior consumo de oxigênio. Complementarmente, temperaturas muito altas inibem a atividade microbiana, e com esta, a atividade biológica, alterando processos de compostagem com resultados aplicáveis no âmbito prático. Poucas bactérias encontradas nesta atmosfera sobrevivem à temperatura acima de 70 graus Celsius: *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis* e *Clostridium sp* são algumas destas poucas. Após o estágio termofílico considera-se como ótima variação térmica, o intervalo de 45 a 55 graus Celsius.

Fialho et al (2010) descreve uma investigação no campo da compostagem, de forma a caracterizar as quebras dos lignocelulósicos⁵¹ ocorrida no processo. Em sua experiência, o teor de Carbono dos Ácidos Húmicos é obtido a partir de 1mg de amostra por meio de um processo de combustão a 1.000 graus Celsius, utilizando o método *Klason*, de maneira a remover os polissacarídeos do ácido húmico através de hidrólise, obtendo-se lignina como resíduo.

Os resultados analisados comprovaram a hipótese de que: para haver formação dos Ácidos Húmicos, os resíduos sólidos orgânicos dispostos no processo de compostagem devem apresentar boas condições quantitativas para efetiva ação de microorganismos (TRAUTMANN; KRASNY, 1998). Considera-se para uma boa proporção inicial de C/N, o valor de 1: 35 (FIALHO ET AL., 2010).

Bertoldi, Vallini e Pera (1982) afirmam que a compostagem atuando sob processo de aeração controlada, rende resultados inferiores àqueles obtidos por condução natural. Considerações críticas acerca do processo de compostagem apontam que não é possível otimizar o processo de compostagem de um período de um mês para um tempo de dias, dado que a compostagem está diretamente ligada a ciclos biológicos. Tais ciclos são constituídos essencialmente pelo tempo de replicação das populações bacterianas no processo, condicionadas pelo fator ambiental e genético, onde ambos possuem capacidade de interferência equivalente no processo.

2.2.1.4 Quarta fase: avaliação e aplicação do húmus

O odor característico de terra verificado como indicador olfativo de qualidade no produto resultante do processo de compostagem está diretamente relacionado à população de actinomicetos, já mencionados nesta seção.

⁵¹ Compostos responsáveis pela formação do húmus, ou ácido húmico, '*humic-like substances*'.

Actinomicetos são bactérias de papel importante na degradação de moléculas orgânicas tais como celulose, lignina, quitina e proteínas: a base proteica de detritos resistentes, presentes em materiais como madeira, cascas de material orgânico, ou folhas de jornal. As proporções dos filamentos dos actinomicetos chegam a possuir de 10 a 15 centímetros dentro da pilha, ou formam colônias circulares que expandem em direção radial de diâmetro (TRAUTTMAN; KRASNY, 1998).

Bertoldi, Vallini e Pera (1982) apontam que a avaliação do processo de compostagem é um campo que requer maior aprofundamento, dado as demandas por melhoria nos produtos deste nicho de mercado. O estado da mistura dos materiais a serem biodegradados (a reincidir diretamente no resultado do processo), está diretamente relacionado a forma com que o deslocamento do ar ocorre entre as partículas do material, contribuindo para a compressão ou dilatação do volume total da massa a partir do estado físico e tamanho das partículas (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982). Para mais detalhes, verifique o tópico acerca do tema 'Biodegradabilidade no processo de compostagem' neste trabalho, e a contribuição de Agostini, Sundberg e Navia (2012).

Melhores indicadores podem ser alcançados a partir da avaliação do ácido húmico (húmus), e de ácidos fúvicos⁵². Considera-se também um bom indicador, a verificação da evolução da população de microorganismos, possível ao medir-se o nível de fitotoxicidade presente no material estabilizado. Em tratamentos térmicos, no entanto, considera-se como compostagem efetiva⁵³ a indução do composto durante várias horas sob uma variação entre 65 e 70 graus Celsius, até a estabilização (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982).

Já segundo Santos (2003) a temperatura ideal se encontra na faixa de 45 a 65 graus Celsius. Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008) abordam que teores de pH de produtos de compostagem considerados aptos para uso, possuem valores entre 7 e 8, sendo valores mais baixos que estes considerados indicadores de que o composto final não está maduro e necessita ser submetido novamente em processo. Segundo Trautmann e Krasny (1998), ao final do processo de compostagem, geralmente a proporção entre os compostos orgânicos decai em torno de 10 a 15: 1, com ressalvas acerca das partes quantitativas de compostos assimilados no substrato, durante a formação da mistura, e do tamanho das moléculas nas quais os carbonos estão localizados.

⁵² Derivado de substância húmica.

⁵³ Procedimento caracterizado pelo início partir da biodegradação em fase mesofílica, até a estabilização do composto e formação de ácido húmico.

Afirma-se que os benefícios de ordem química da compostagem não resultam exclusivamente do enriquecimento dos elementos Nitrogênio, Fósforo e Potássio. Porém, advém ainda mais do papel de balanceamento bioquímico que o húmus realiza na estrutura do solo: tal balanceamento possibilita as alterações em nível de melhoria global na aplicação ao contribuir nos termos de: i) estabilidade física, química e biológica; ii) prevenção de aspectos fitotóxicos; e, iii) balanceamento mineral (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982).

O resultado direto de um processo de compostagem feito sem a observação de procedimentos técnicos como estes, implica diretamente na necessidade por avaliar resultados de composto caracterizados por fitotoxicidade, decorrido de sua não estabilização e má formação de ácido húmico: a implicar na não recomendação de aplicação em terrenos, dado que o metabolismo microbiano do material é considerado tóxico à atividade de plantio (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982).

Quando bem decorrida a compostagem, verifica-se que, devido à transformação química de nutrientes realizada pelas minhocas⁵⁴, as plantas são capazes de absorver nitrato, amônia, fósforo, potássio, cálcio e magnésio disponíveis em ambiente solúvel, levando-as a crescer mais rápido em tais ambientes (TRAUTMANN; KRASNYY, 1998).

Neste cenário positivo de resultado, considera-se uma quantidade de tempo de 1 a 3 semanas como tempo necessário para a matéria orgânica gerada por compostagem ser assimilada pelo solo e apresentar efeitos orgânicos de melhoria. Santos (2003) aponta ainda, que, depois de pronto e seco, o composto ainda pode ser armazenado durante seis meses, em local protegido do sol e umidade.

Em acordo com Agostini, Sundberg e Navia (2012), e outros autores explorados acerca da transferência de calor em meio poroso, verifica-se a necessidade em abordar tais temas na próxima seção, uma vez que a descrição da movimentação de fluido, diferenciação térmica e biodegradabilidade são tópicos que possuem relação direta com o processo que descreve a dimensão biofísica da ciência da compostagem.

2.3 Biodegradabilidade no processo de compostagem

Segundo Agostini, Sundberg e Navia (2012), a taxa de biodegradabilidade do resíduo é critério chave na elaboração de sistemas de tratamento tal como a

⁵⁴ Para uma descrição maior acerca da fauna habitante do processo de compostagem, verifique LEWIS, Wayne; LOWENFELS, Jeff. Teaming with microbes: a gardener's guide to the soil food web. Timber Press, 2010.

biorremediação, dependendo de vários fatores, tais como: i) comunidade microbiana inicial; ii) conteúdo da mistura; iii) oxigênio disponível; iv) tendência física a degradar (determinada principalmente pelo tamanho da partícula); v) temperatura; e, vi) composição química da matéria orgânica (amido, gordura, proteínas, celulose, entre outros).

Compreende-se que o item tendência física (iv), mencionado acima como importante critério para o fator biodegradabilidade, somado a descrição específica do estado físico da matéria a ser submetida ao processo de compostagem, possuem definição em: *'O meio poroso pode ser definido como uma matriz sólida contendo espaços vazios. A principal característica de tal meio é o raio entre os volumes dos vazios, e o volume total do meio, por exemplo, tal como a porosidade'* (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012, p. 4)⁵⁵.

Contribuição semelhante pode ser verificada a partir das experiências apresentadas em Trautman e Krasny (1998), que apontam acerca do tamanho das partículas no montante da leira de compostagem, bem como acerca das medidas totais da pilha: é necessário não reduzir as partículas do composto demasiadamente, de forma a evitar o entupimento dos buracos de aeração.

Ou seja, a tendência física de uma partícula a entrar em processo de biodegradação está diretamente ligada às dimensões dos espaços vazios entre as partículas ao seu redor. Acerca das possibilidades em medir tais superfícies internas em volumes particulados, tal como utilizar amostras presentes em leiras de compostagem, são apontadas em Agostini, Sundberg e Navia (2012): *'More sophisticated techniques include isothermal adsorption of a known fluid, X-ray diffraction and nuclear magnetic resonance (NMR) to determine the internal surface area of pores, as well as the pore volume and pore radius'* (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012, p. 4)⁵⁶.

O tamanho dos poros caracterizados no processo de compostagem segundo Agostini, Sundberg e Navia(2012), contribuem para a qualidade de transferência de gases e líquidos (que podem ocorrer inclusive entre os poros do composto), dado a relação direta com a permeabilidade de sua superfície externa, sendo apontado que a porosidade ideal do processo estaria acerca de 30%.

⁵⁵ Tradução realizada pelo autor (2014).

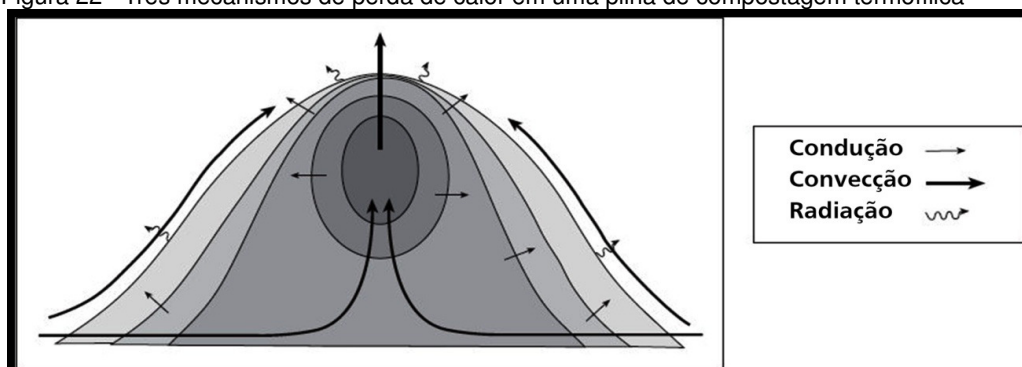
⁵⁶ Tradução realizada pelo autor: *Técnicas mais sofisticadas incluem absorção isotérmica de um fluido conhecido, difração de raio-X e ressonância magnética (NMR) para determinar a superfície interna dos poros, bem como volume e raio dos mesmos.*

A presença de água na biodegradação, além de ser imprescindível para o processo de hidrólise, se equivale em importância quanto à presença de oxigênio, uma vez que determina agregação das moléculas do composto e a geometria dos buracos. O parâmetro capaz de afetar diretamente a capacidade da superfície porosa de condução de água é a Condutividade Hidráulica, variável que não será modelada pelo sistema, pois que está diretamente relacionada aos níveis de saturação de água no meio.

Em Trautmann e Krasny (1998), o comportamento da transferência de calor em uma pilha de compostagem recebe resultados a partir de processo de condução, convecção e radiação na escala dos sistemas moleculares, em conformidade com a necessidade de provimento de água ao sistema, de maneira a compor um cinturão proporcional de partículas de oxigênio ao redor das partículas do composto.

Um corte longitudinal esquemático apresenta as três formas de trocas de calor, conforme apresentado na Figura 22:

Figura 22 - Três mecanismos de perda de calor em uma pilha de compostagem termofílica



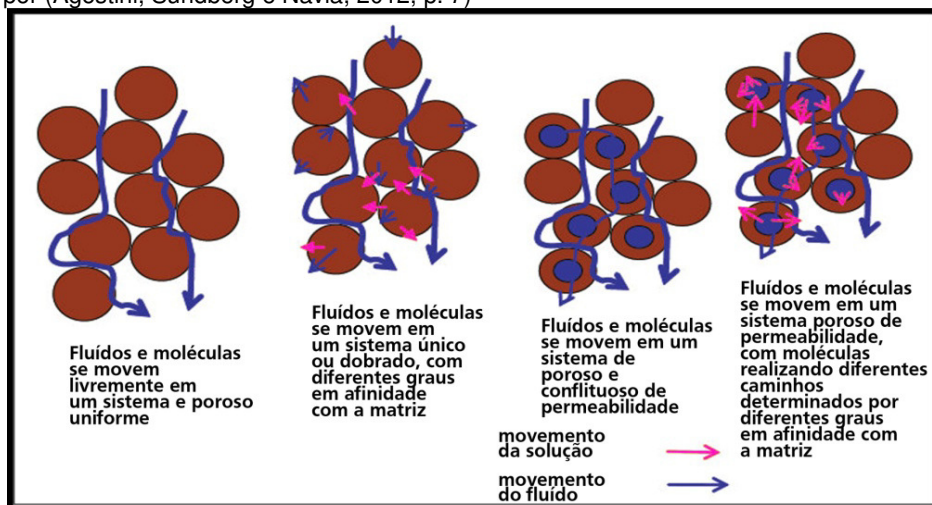
Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1998) pelo autor

Em termos de atributos ideais para avaliar os níveis de biodegradabilidade em um meio poroso, bem como em contrapartida às considerações acima apontadas, verifica-se, a correlação de tais aspectos com a fidelidade na descrição de modelos que simulem o meio poroso da compostagem na escala dos sistemas moleculares, tal como verificado em amostras de resíduos sólidos biodegradáveis.

Agostini, Sundberg e Navia (2012) contribuem para esta relação, apontando os obstáculos encontrados na pesquisa: '*A heterogeneidade no fluido e na matriz, acrescidos com da intrincada geometria interna de uma dada matriz de espaços vazios, não permite uma exata descrição espacial do fenômeno de transporte em um meio poroso*' (AGOSTINI; SUNDBERG E NAVIA, 2012, p. 9).

Tratando-se de aspectos de fidelidade da modelagem e representação do processo de compostagem, com relação aos aspectos microscópicos do processo tal proposta teria que descrever o controle do fluxo de gás e líquido no meio poroso a considerar todas as formas de controle, tais como: i) difusão molecular; ii) difusão capilar; e, iii) fluxo direcionado por alteração nos desníveis da pressão, como esquematizado na Figura 23:

Figura 23 - Possibilidades preferenciais para fluxo de fluido (como por exemplo, a água) junto a moléculas dispersas, em meio poroso insaturado (com modificações apontadas por (Agostini, Sundberg e Navia, 2012, p. 7)



Fonte: Adaptado de Agostini, Sundberg e Navia (2012)

Para mais detalhes acerca de tais processos, podem ser consultados Agostini, Sundberg e Navia (2012), bem como os programas MTDATA®, FEMlab®, COMSOL multiphysics®, KARDOS®, ANYS®, PHYSICA®, e programas voltados à simulação computacional das dinâmicas dos fluidos (*Computational Fluid Dynamics - CFD*), tais como CFX®, FLUENT®, FIDAO®, POLYFLOW® e PHOENICS®. As características que marcam a utilização de tais softwares são o alto custo e complexidade no uso, além das limitações de aplicabilidade, como no caso das simulações de fluxos não-turbulentos.

Os pacotes comerciais de CFD utilizam modelos de casos voltados ao cálculo, simulação do movimento da água (simulação hidrológica) e mistura, de maneira que não podem ser utilizados no caso da compostagem, dado que não conseguem descrever o característico fluxo não-turbulento representado pela Figura 24. Também é verificado que a maioria dos pacotes hidrológicos possui pouca, ou nenhuma habilidade em simular transferência de calor (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012).

Agostini, Sundberg e Navia (2012), apontam através de várias fontes (cf. p. 11), que a compostagem é reconhecida como um processo espacialmente não-homogêneo: *'é criado uma gradação de calor e solução de concentração junto à massa, então a abordagem da mistura é uma aproximação e simplificação da situação real'* (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012, p. 11)⁵⁷.

Os comentários de Agostini, Sundberg e Navia (2012) acerca das contribuições da pesquisa, finalizam com considerações acerca das dificuldades em realizar avaliações para atestar a qualidade efetiva dos modelos gráficos gerados e sua validade.

A disparidade entre os modelos gerados e o processo percebido nos Domínios Naturais, aponta a existência de mais de 25 parâmetros nos sistemas de equações para descrever a compostagem, de forma a possibilitar um novo afunilamento: *'mostrar as limitações dos desvios para um modelo completamente novo, ao invés de adaptar a ciência dos modelos dos fluídos dinâmicos da compostagem, em pacotes de compilação disponíveis'* (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012, p. 12)⁵⁸.

Também é apontado em Agostini, Sundberg e Navia (2012) que: o modo como a aeração ocorre, bem como as proporções físicas que os processos podem adquirir na compostagem, possuem a capacidade de afetar diretamente as diretrizes de modelagem. Tais mudanças do processo ocorrem de maneira a permitir a aplicação de modelos determinísticos gerais para a estruturação de marcos difusos, verificados como característica no processo de compostagem (cf. p. 12).

Esta afirmação aponta uma correlação verificada em incursões realizadas anteriormente, dado a constatação da similaridade do tipo de estruturação utilizada em Lorenz (1963), ao investigar a ordem não-linear no fluxo hidrodinâmico. Acredita-se que desta forma, é possível aproximar-se de uma estruturação das condições para apontar parâmetros de comportamento em uma modelagem de simulação realizada por desenho paramétrico.

Segundo Agostini, Sundberg e Navia (2012) há três abordagens recorrentes para modelagem de transporte de gases e líquidos em meio poroso:

⁵⁷ Tradução realizada pelo autor (2014).

⁵⁸ Tradução realizada pelo autor (2014).

i) modelos relativamente simples baseados em modificações nas equações Darcy/Richards, utilizados principalmente na investigação hidrológica e simulação de fluxos de fluidos não-turbulentos; ii) complexos pacotes de modelagem CFD baseados em equações Navier-Stokes aptas a simular com proximidade ao evento real qualquer condição de fluxo através do meio poroso; e (iii) modelos estocásticos ou parcialmente estocásticos que estão disponíveis somente no contexto do conjunto de dados experimentais das variáveis previstas coletadas em um dado meio (AGOSTINI; SUNDBERG E NAVIA, 2012, p. 13)⁵⁹.

De forma a apontar objetos a serem investigados em próximas iniciativas, e mesmo evitar aspectos adversos verificados pelos autores e pela pesquisa acerca do processo de compostagem, verifica-se a necessidade de ampliar conhecimentos no campo do(s):

- i) Detalhamento do percurso realizado pela biodegradação até a etapa de estabilização e formação do ácido húmico, contando com a descrição com marcos próximos a avaliação final do processo e caracterização bioquímica envolvida na reação;
- ii) Considerações acerca da compostagem no campo tridimensional de representação, contando com uma caracterização a relacionar condições do tipo forma-tamanho em acordo com o comportamento volumétrico da biomassa;
- iii) Realização destas avaliações mediante uma descrição detalhada dos componentes do substrato de uma massa específica a ser modelada e simulada, antecipadamente estudada no ambiente informacional de projeto.

2.4 Dados complementares para a modelagem de simulação do processo de compostagem

Dado a possibilidade da simulação em utilizar dados no campo da contenção espacial e aeração, neste tópico são apresentadas considerações gerais coletadas a respeito do assunto, para posterior utilização na atividade projetual após o tratamento dos dados gerados, conforme apresentado nos tópicos anteriores.

Trautmann e Krasny (1998) descrevem os parâmetros condicionais da compostagem em:

⁵⁹ Tradução realizada pelo autor (2014).

A pilha ou leira precisa ser grande o bastante para reter calor e mistura, e ainda assim pequena o suficiente para permitir a boa circulação de ar. O composto precisa ser misturado o suficiente para suportar o crescimento microbial, mas não tão úmido que se possa se tornar anaeróbico. Também, o tamanho da partícula dos materiais orgânicos precisa ser grande o bastante para manter uma mistura porosa, mas não tão grande a ponto da decomposição ser inibida (TRAUTMANN; KRASNY, 1998, p. 9)⁶⁰.

Também é considerado em um limite teórico para a modelagem de simulação, que a pilha de compostagem é feita de material não-deformável: Fialho et al (2010)⁶¹ induz a modelagem espacial das leiras através de um molde cônico de madeira com 2,10 x 1,40 x 1,22 m, onde os resíduos sólidos são misturados na parte de dentro.

As conclusões dos autores Bongochgetsakul e Ishida (2008) levam em conta que a liberação de inibidores do processo tal como a Amônia, contribuem para degradação e redução da temperatura da compostagem, sendo constatada uma degradação completa após 8 dias. A temperatura, por sua vez, leva em torno de 13 dias para retornar ao estado ambiente em condições de CNTP, condições normais de temperatura e pressão (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008). O processo de compostagem verificado como ideal pelos autores do experimento é descrito como:

Uma calha longa perfeitamente isolada (caixa) com comprimento de 14 m, a altura de 2 m, e a largura de 1 m é utilizada como um espaço de compostagem. O canal está aberto apenas para a atmosfera no topo e não há aeração. Ela está dividida em sete zonas (sete grupos). A compostagem opera com um ciclo de sete dias, com a massa de composto em cada zona revirada e separada para a direita todo dia. O adubo na zona mais à direita é despejado a cada dia e nova massa de composto é devolvida para o sistema a partir da esquerda. Os procedimentos reviramento, separação, depósito, e devolução do sistema é feita ao final de cada dia. A análise de parâmetros para o material de composto utilizado nesta análise são os mesmos dos exemplos anteriores. É proposto que a Amônia é completamente liberada e oxigênio é totalmente recuperado durante o revolvimento. No início da análise, o sulco é cheio com massa de composto com propriedades iniciais de: temperatura = 35 graus Celsius, o teor de água = 60 % w/w. A nova massa devolvida ao sistema todos os dias tem propriedades idênticas às propriedades iniciais de compostagem (...) Durante o primeiro dia, a temperatura um pouco abaixo da superfície superior aumenta gradualmente. Após o primeiro revolvimento e deslocamento para a direita, é fornecido oxigênio fresco. Esse oxigênio se esgota rapidamente, enquanto o calor de reação é gerado. Isto aumenta a temperatura de toda a massa do composto. À medida que o número de eventos que giram aumenta, os aumentos de contagem de microrganismos e ainda mais calor é gerado. O composto que foi revolvido mais vezes (e foi deslocado mais para a direita) tem a temperatura mais elevada. Como resultado, a massa de composto da direita possui uma temperatura mais elevada que a do lado esquerdo, onde a nova (e mais fria) parte do composto é devolvida. Um resultado analítico indica que o sistema atinge um estado estático de temperatura, após o dia 5 (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008, p. 11)⁶².

⁶⁰ Traduzido pelo autor (2014)

⁶¹ Interferência da lignina na quantificação de radicais livres no processo de compostagem (FIALHO et al., 2010)

⁶² Traduzido pelo autor (2014).

A parte externa das pilhas de compostagem devem possuir tanto oxigênio quanto o ar atmosférico (18-20% de ar), e as dimensões consideradas ótimas são apontadas em uma média entre 1 e 2,5 cm (para as menores medidas dos grãos), e em torno de 5 cm para o limite de tamanho (BUENO MARQUEZ; DIAZ BLANCO; CABRERA CAPITÁN 2008). Acerca do tipo de amostragem utilizada em etapas anteriores da pesquisa realizada pelo autor, verifica-se mediante a nota:

Tais amostras são denominadas leiras (...) de aproximadamente 4m², que dependendo do local da aplicação para medição térmica, a análise resultará em três temperaturas heterogêneas, dada a profundidade do local. Aparentemente, o envoltório que se forma em torno da região que apresenta temperatura mais alta, é o responsável pela qualidade do composto a ser gerado, dada por uma relação inversa de espaço/tempo. O desenvolvimento térmico da atividade da compostagem se dá mediante alguma indução espacial do pesquisador com a amostra, e sintetiza-se em duas fases: termófila, que têm seu desenvolvimento térmico de 40 a 55°C, e fase mesófila, que evolui de de 55 a 70^o Ctendo, portanto, entre sua temperatura inicial e final, 30 graus de diferença entre fase de aquecimento e processo de humificação diagnosticado na amostra final (PIMENTEL; RODRIGUES; SANTOS, 2011, p. 4).

A sistematização espacial de uma pilha de compostagem em Mendes (2012) denomina-se 'Sistemas de compostagem', subdividindo-se em: i) pilhas estáticas; ii) pilhas estáticas alongadas; iii) pilhas revolvidas; iv) pilhas estáticas arejadas; v) sistemas em reactor (MENDES, 2012, p. 50). As pilhas estáticas são comentadas por Mendes (2012) em:

Produção de composto numa pilha, com arejamento natural e viragens periódicas, de forma a restabelecer a porosidade da pilha. Uma vez que o arejamento é natural, as dimensões da pilha devem ser suficientemente reduzidas para permitir o movimento passivo do ar, impedindo a formação de zonas anaeróbias. O tipo de arejamento condiciona a duração do processo, implicando um período bastante longo, com a possibilidade de zonas anaeróbias e conseqüente desenvolvimento de odores. Implica uma reduzida utilização de tecnologia e um labor humano intermédio para a produção de um composto de média qualidade (GRAVES, 2000 apud MENDES, 2012, p. 51).

Os aspectos positivos e negativos da utilização de pilhas estáticas são listados em:

a) Vantagens: i) Podem ser maiores de que as pilhas revolvidas uma vez que ao contrário destas, o arejamento é forçado; ii) Não é necessário espaço para o equipamento de viragem; iii) O aumento no arejamento encurta o tempo de duração da compostagem; iv) O controlo dos ventiladores, por tempo de funcionamento ou temperatura da pilha, permite menores variações de temperatura e um produto final mais consistente; v) A elevada temperatura aumenta a eliminação de agentes patogénicos; vi) Requer um menor investimento de capital quando comparado com as operações do sistema em reactor que também utilizam arejamento forçado; b) Desvantagens: i) Quando a mistura é realizada de forma deficiente, no que concerne à porosidade e à estruturação da pilha, podem criar-se 'curto-circuitos' de ar que implicarão em uma desigual compostagem da pilhas e à produção de um composto de menor qualidade; ii) Os orifícios dos tubos de arejamento podem entupir-se, impedindo assim o correcto arejamento de toda a pilha. Esta situação é de difícil correcção uma vez que aqueles estão enterradas na base da pilha; iii) A instalação, remoção e os danos provocados nos tubos de arejamento durante a formação das pilhas pode constituir um problema; iv) O arejamento forçado tende a secar a pilha de composto. Quando em excesso, pode impedir a estabilização do composto (MENDES, 2012, p. 54)

Após a apresentação de alguns dados necessários para a compreensão na esfera técnica do processo, são acrescentadas neste referencial teórico as informações necessárias para apontar a modelagem algorítmica da simulação do processo de compostagem a partir da escolha das ferramentas de desenho para a realização da operação.

2.5 Simulação

Tendo em vista uma abordagem para possibilitar uma simulação do processo de compostagem utilizando Grasshopper® baseado na necessidade fortalecer a necessidade por previsão do comportamento do processo, uma caracterização geral de simulação é apresentada aqui, de maneira a explorar as características gerais da operação.

Em Ören (2009), é encontrada uma abordagem global para a definição de Simulação:

Simplesmente, simulação é a imitação da operação de um processo no mundo real ou de um sistema durante um período de tempo (ÖREN, 2009, p. 15)⁶³, e, ainda Modelagem e simulação acompanhadas da visualização, se referem ao processo de desenvolvimento do modelo de um sistema, extraindo informação de um modelo (através da simulação), e utilizando sua visualização para aprimorar a habilidade de entendimento ou interpretação daquela informação (ÖREN, 2009, p. 16)⁶⁴.

Há também uma abrangente definição para Simulação segundo Rütten (2006): *'a simulação é um processo completamente digital sem um componente*

⁶³ Tradução realizada pelo autor (2014).

⁶⁴ Tradução realizada pelo autor (2014).

mental (RÜTTEN, 2006, p. 30)⁶⁵. Complementarmente, há em Page Jr (1994) uma definição para Simulação Computacional: *‘É o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo em um computador digital com o propósito específico de experimentação’* (NANCE apud PAGE JR, 1994, p. 30)⁶⁶.

Os elementos a serem considerados componentes de um sistema simulado podem ser considerados discretos (onde as variáveis mudam simultaneamente em pontos separados, e em acordo com o tempo), e contínuos (onde as variáveis mudam continuamente em acordo com o tempo).

Estudos no campo de Modelagem e Simulação (M & S) podem, segundo Ören (2009), ser validados a partir da comparação entre solução analítica, e resultados no campo da solução obtidos pela simulação. Tal tipo de pesquisa está baseada na investigação dos tipos de questões capazes de afetar características de performance em sistemas de simulação.

Processos de M & S são vastamente utilizados em áreas como modelagem médica (tal como verificado no tópico 2.6), gestão emergencial, modelagem populacional, transporte, aprendizado baseado em jogo, e planejamento de projetos (REYNOLDS JR, 2008). É dito que há experimentação no processo de Modelagem e Simulação, quando o comportamento do modelo muda sob condições que excedem os limites de projeto do modelo (REYNOLDS JR, 2008).

Segundo Page Jr (1994), simulações que fazem utilização de processos estocásticos em um problema não-probabilístico são denominadas Simulações Monte Carlo, tornando-se categorias frente às tipologias de simulação computacional contínua, e de eventos discretos.

Simulações combinadas se referem à ambas formas de realizar-se uma simulação, com componentes discretos e contínuos. Simulações híbridas se referem ao uso de um submodelo analítico junto a um evento caracterizado com modelo discreto. Por último, estão as simulações do tipo *game*, que podem possuir os três processos atuando conjuntamente: i) uso de eventos discretos; ii) utilização de eventos contínuos; e, iii) contando com componentes de modelagem do tipo Monte Carlo (PAGE JR, 1994).

A partir de Page Jr (1994), é possível identificar ainda três categorias hierarquizadas acerca da relação entre modelo de representação e hierarquia de transformação, em acordo com os critérios de modelação em projetos de simulação:

⁶⁵ Tradução realizada pelo autor (2014).

⁶⁶ Tradução realizada pelo autor (2014). Publicado em Shannon, R.E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- i) Especificações geradas pelo modelador: são marcadas pela capacidade do modelador organizar, sistematizar, aplicar e avaliar modificações no objeto;
- ii) Especificações de transformação: abrangem várias formas de traduzir as implementações realizadas em acordo com critérios específicos;
- iii) Implementações: nível menor de modificações realizadas durante o trabalho com projetos de modelagem de simulação.

É importante frisar acerca de modelagem de simulações, que a capacidade em adquirir informações em nível a partir das avaliações dos modelos gerados é reflexo das características internas das diretrizes da simulação, descritas em termos da engenharia, como atributos do tipo: i) orientação do objeto (*object-oriented*); ii) entidade-relação (*entity-relation*); e, iii) baseadas em paradigmas de automação (*automation-based*), conforme apresentado em Page Jr (1994).

Acerca do potencial de previsão verificado como problemática na pesquisa no campo de Modelagem e Simulação (M & S), Reynolds Jr. (2008) descreve que:

Nem todas as simulações utilizadas para previsão sofrem desta sensibilidade em resultado, ao serem conduzidos os valores de entrada. Parte do uso de um modelo de previsão é desenvolver um entendimento sólido de quão sensível o mesmo é a mudanças em seus valores de entrada. Uma vez que o grau de sensibilidade é estabelecido, uma abordagem voltada ao uso efetivo da simulação pode ser estabelecida, como por exemplo, a modelagem do conjunto (*ensemble modelling*) (REYNOLDS JR, 2008, p.42)⁶⁷.

Em Perros (2003), é apresentada uma coleção de técnicas para a realização de simulações a partir da utilização de quaisquer linguagens de programação disponíveis ao pesquisador na investigação. Segundo o autor, modelos podem ser classificados como icônicos, análogos ou simbólicos: é considerado um modelo icônico quando, é produzida uma réplica exata a partir das propriedades de um sistema existente, tal como mapas, aviões, entre outros.

Modelos análogos são caracterizados pela possibilidade de transporte de uma plataforma a outra (como um modelo hidráulico transportado a um sistema elétrico para avaliação dos benefícios, por exemplo), e modelos simbólicos (PERROS, 2003) representam propriedades existentes em uma situação real a partir de símbolos, tal como realizado a partir da linguagem de computação. Modelos de simulação são categorizados como modelos simbólicos (PERROS, 2003).

Tais modelos simbólicos (PERROS, 2003) podem ser classificados como modelos determinísticos ou modelos estocásticos, diferenciando-se por conter o

⁶⁷Tradução realizada pelo autor (2014).

elemento probabilidade para serem descritos. Quando não os contém, são ditos determinísticos, enquanto que, quando os contém, são denominados de estocásticos, como verificado em Lorenz (1963).

Complementarmente, em Perros (2003), é verificada uma caracterização bem descrita entre sistemas de previsão apresentada por Sarewitz e Pielke (1999), e a prática projetual contando com simulação (AMARAL et al., 2006), mediante a correlação entre os fatores: i) quantificação da performance relacionada a critérios de decisão, e, ii) estudo dos parâmetros.

Segundo Ören (2009), definições de simulação variam em acordo com o método de implementar o modelo com o avanço do tempo;

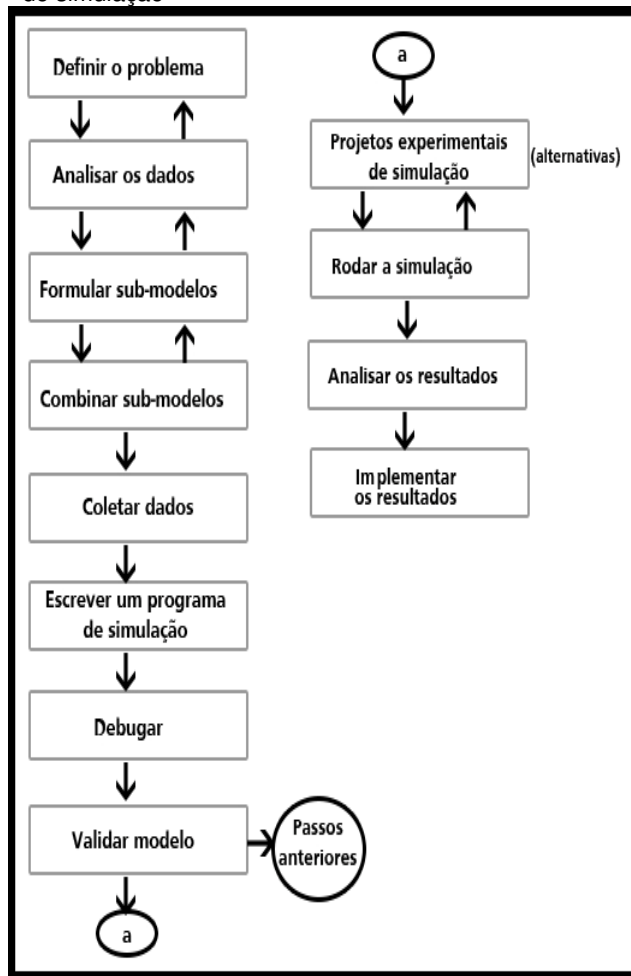
- i) Tal como a técnica a ser utilizada como teste, análise ou treinamento nos quais os sistemas do mundo real estão baseados - ou mesmo nos quais os sistemas conceituais, ou verificados no mundo real, são reproduzidos por um modelo;
- ii) Em acordo com a utilização de um método científico desobstruído de investigação envolvendo experimentos com um modelo, a partir de uma parcela da realidade que o modelo representa;
- iii) A partir da utilização de uma metodologia de extração de informação de um modelo ao observar o comportamento do modelo como é executado;
- iv) A utilização de um termo não-técnico, sem significado real, uma imitação.

As variáveis compreendidas em uma simulação estão correlacionadas ao controle do processo, de forma a encontrar uma solução para o problema definido, conforme pode ser verificado na Figura 24. Variáveis dependentes são denominadas endógenas, enquanto que independentes são denominadas exógenas (PERROS, 2003).

A compreensão da interrelação entre tais variáveis adquire uma configuração diferenciada neste escopo de projeto, dado um recorte teórico voltado à pesquisa em Design requisitos necessários para estruturar uma metodologia, como pode ser verificado no capítulo 'Desenvolvimento metodológico do estudo'.

Segundo Perros (2003), é verificada a possibilidade de avaliar dados endógenos gerados, a partir do cálculo estatístico do desvio padrão e porcentagem do fluxo através do tempo. Quando a variável tempo é desconsiderada, a avaliação pode ser realizada a partir de uma simulação dita em estado transitório, ou em estado estacionário.

Figura 24 - Passos básico no desenrolar de um estudo de simulação



Fonte: Adaptado de Perros (2003) pelo autor

É verificada, a partir de Perros (2003), a necessidade de descrever todos os eventos possíveis dependentes e independentes em parte do processo bioquímico de compostagem, de forma a conceituar uma sistematização. Esta descrição parte do princípio de que há congruência entre a situação real e o assentamento de decisões, como verificado a partir da figura anterior, bem como também é o tipo de raciocínio subjacente em etapas de *gates*, verificados no desenvolvimento de produto como apresentado por Amaral et al (2006).

Reitera-se que simulações como esta a serem implementadas como procedimento descrito nestapesquisa, são realizadas quando, segundo Sokolowski e Banks (2011), não é possível ou não é acessível o estudo do sistema real. Sendo assim, a partir desta necessidade o computador irá imitar as operações verificadas em uma situação do mundo real de forma a simulá-lo. Acerca dos modelos de simulação gerados por M & S, vale a nota:

The models may be used to replicate complex systems that exhibit chaotic behavior and so simulation must be used to provide a more detailed view of the system. Simulation also allows for virtual reality research whereby the analyst is immersed within the simulated world through the use of devices such as head-mounted display, data gloves, freedom sensors, and forced-feedback elements (ÖREN, 2009, p. 16)⁶⁸.

Programas de simulação são denominados *stand-alone*, dado a forma com que são utilizados por seus modeladores. *Stand-alone simulation* é uma noção apresentada por Simon (1996) e está diretamente ligada ao *learning by doing* (aprendizado por realização), onde pode contribuir para as áreas de: i) treinamento; ii) suporte para decisões; iii) entendimento; iv) educação e aprendizado; e v) entretenimento.

Após uma revisão conceitual e descritiva acerca da Simulação em um campo científico autônomo, e como operação relevante para investigação em uma infinidade de categorias científicas, verifica-se a necessidade em apontar sua correlação com o avanço tecnológico no campo do desenvolvimento de algoritmos utilizados na modelagem com desenho paramétrico.

2.6 Modelagem de Simulação (M & S)

A investigação no campo da simulação como foco na discretização de eventos até a ocasião da pesquisa realizada por Page Jr (1994), apresenta recorrência acerca de 30 anos. O estado da arte levantado pelo autor no campo da metodologia da modelagem de simulação verifica que o suporte para decisões no campo, até então, era adaptado às novas tecnologias, de forma que a pesquisa desenvolvida investiga: i) como as teorias de modelagem podem contribuir a este tipo de desenvolvimento; e, ii) como pesquisas no campo metodológico podem contribuir para o desenvolvimento tecnológico (PAGE JR, 1994).

O autor conceitua Modelagem de Simulação como o processo de descrever um sistema para produção: *'with the goal of experimenting with that model to gain some insight into the behavior of the system'*⁶⁹(PAGE JR, 1994, p. 33).

⁶⁸ Traduzido pelo autor: *Modelos podem ser utilizados para duplicar sistemas complexos que exibem comportamento caótico, e assim simulações são utilizadas para proporcionar uma verificação mais detalhada do sistema. A simulação também permite a pesquisa de realidade virtual através do qual o observador está imerso no mundo simulado através do uso de dispositivos, tal como um visor eletrônico, luvas de transmissão de dados, sensores de interação e elementos para forçar o feedback do modelo.*

⁶⁹ Tradução realizada pelo autor: *com o objetivo de realizar experimentações com este modelo, de forma a obter insight acerca do comportamento do sistema.*

Segundo Ören (2009), modelagem e simulação é uma disciplina também denominada de M & S (*modelling and simulation*), como é conhecida no meio científico. A partir do modelo (i), é criada uma simulação (ii), de forma a possibilitar uma repetida observação a ser avaliada em uma terceira fase (iii), possibilitando inclusive, testes das hipóteses reiteradamente diante da visualização constante do evento.

Em 2006, a *National Science Foundation* (NSF - Fundação Nacional da Ciência⁷⁰), publica uma edição que homologa a simulação como campo básico de estudo em engenharia, denominado '*Simulation-based engineering science*', constando de etapas e descrições sólidas acerca do assunto.

Um modelo não precisa ser considerado necessariamente discreto, mesmo quando todos os objetos atribuídos (que não sendo o tempo) são representados como mudando de valor apenas em números contáveis, ao longo de qualquer duração de turno da simulação. Permanece uma ressalva, a partir da possibilidade de que ao fim do turno uma condição possa ser encontrada eventualmente (PAGE JR, 1994, p.110), reiterando a noção de Ciclo de Vida de simulações (PERROS, 2003).

O enunciado principal da tese doutoral de Page Jr (1994), a partir de um alinhamento com a Simulação de Evento Discreto Paralelo, é: '*what is the nature of the ideal framework for simulation model development where the models may be used for a wide variety of purposes, and implemented on varying architectures?*' (PAGE JR, 1994, p. 24)⁷¹. Em sua contribuição, o autor afirma que a natureza fundamental da simulação como ferramenta ao suporte de decisão persiste, enquanto as investigações no campo das metodologias de modelagem possam prover um cenário de novas técnicas e requisitos para a aquisição da compreensão em tais sistemas.

Segundo Sokolowski e Banks (2011), os primórdios de ações verificadas como procedimento de modelagem e simulação remontam aos jogos militares coloniais, planos de guerra do exército romano, e projetos bélicos conceitualmente desenvolvidos por Da Vinci, sendo que, a partir do século XVIII, a modelagem de simulação realizada por cálculos feitos à mão ganha ênfase no planejamento tático militar escocês, a partir da criação de jogos de guerra.

Page Jr (1994) aponta a caracterização de revoluções verificadas na forma de realização das simulações, tais quais: i) avanços na tecnologia de computação, e ii)

⁷⁰ www.nsf.gov

⁷¹ Tradução realizada pelo autor: *Qual é a natureza do cenário ideal para o desenvolvimento de modelos de simulação onde tais modelos possam ser utilizados em uma ampla variedade de propósitos, e implementados em arquiteturas variadas?*

combinações entre processadores de computador e otimizadores de tempo, de forma a tornar o resultado de tais processos, compensatório do ponto de vista do custo efetivo - ao contrário do que fora realizado durante o período da guerra-fria em simulações desenvolvidas nas avaliações realizadas pela marinha americana.

Na década de 70, percebe-se uma mudança de prioridade no estudo de simulações (PAGE JR, 1994). Sendo assim, a atividade passa a ter como base a avaliação de resultados telemáticos, evitando procedimentos do 'feito à mão' (*handmade*). Na época, a programação de códigos disponíveis contribuiu a mudanças no perfil dos resultados, demandando (dado a incompatibilidade verificada entre os mesmos) a criação de novas interfaces voltadas à simplificação e otimizações das operações.

Em acordo com Page Jr (1994), o maior problema verificado na modelagem de simulação é a necessidade de caracterizar eventos que ocorrem dinamicamente, por meio de conceitos do campo estacionário. Mesmo ao aprimorar a complexidade do modelo ao submetê-lo em estruturas condicionais entre os processos de simulação, encontram-se os entraves: i) falta de sincronia entre os componentes relacionados; e, ii) efeitos de variada duração de processos considerados independentes.

Dado o delineamento dos benefícios da especificação de condições para um formalismo (CHOMSKY, 1956) presente em metodologias do Design Digital (RÜTTEN, 2006), verifica-se que usualmente modelos dinâmicos são tipificados em duas categorias: i) baseados em tempo, e, ii) baseados em estado, ou na mistura de ambos (PAGE JR, 1994).

Verifica-se que já em 1994 a partir de Page Jr, esforços no campo do desenvolvimento de softwares mostram a necessidade por investigar o campo da modelagem, de maneira reduzir o espaço restrito da atividade conduzida pela computação programada em texto, ou de forma a utilizar uma sintaxe de baixo nível para a especificação de condições (PAGE JR, 1994).

A capacidade da tecnologia em alterar o contexto e as características mais básicas do campo da simulação digital, advém segundo Page Jr (1994), do:

...discrete event simulation model development must be guided by recognition of the fundamental role of decision support and its relationship to model correctness. Motivating this effort is an observation that technology, and not the principles of decision support, is exerting major influences on the course of simulation research in many areas (PAGE JR, 1994, p. 256)⁷².

⁷² Tradução realizada pelo autor: *O desenvolvimento de simulação de eventos discretos precisa ser guiado pelo reconhecimento do papel fundamental do suporte de decisão e seu relacionamento com a completude do modelo. Motivado por este esforço, observa-se que é a tecnologia, e não os princípios do*

Além de apontar diretrizes para realizar prospecções acerca das novas tecnologias para um futuro da simulação, Page Jr (1994) indica a necessidade de avaliar a condição de especificação como eixo dos objetivos a serem alcançados por sua própria pesquisa, a partir da relação entre condição de especificação e relação com a metodologia cônica, de forma a estender suas diretrizes, tal como é realizado em Martino e Celani (2012) no campo dos Algoritmos Genéticos.

Em revisão literária, são apontados requisitos para o desenvolvimento de novos modelos de simulação como apresentado por Page Jr (1994)⁷³. A partir de tais diretrizes no campo da modelagem, Page Jr (1994) aponta o campo da Metodologia Cônica (CM) e a Especificação da Condição (CS), como áreas estratégicas. A Simulação de Evento Discreto Paralelo (PDES) apresenta uma demanda por aprofundamento nas áreas: i) relacionamento entre simulação e suporte de decisão; e, ii) foco no desenvolvimento.

O estabelecimento de uma Metodologia Cônica (CM) correlata à especificação de condições possui uma importância crucial para o estudo de modelagem de simulações i) (PAGE JR, 1994, p. 83), onde tal metodologia necessita apresentar alguns aspectos de benefícios-requisitos ao cientista:

- i) Ajudar o modelador na estruturação e organização do modelo conceitual;
- ii) Impor um desenvolvimento axiomático junto a um modelo de sistema de criação aparentemente livre, e irrestrito;
- iii) Utilizar um modelo de diagnóstico para avaliar medidas, tal qual a completude⁷⁴ e consistência, ao verificar propósitos de complexidade relativa mediante planejamento;
- iv) Produzir uma maior documentação em etapas de desenvolvimento de modelo, tal como um subproduto essencial, e especificá-lo ao permitir ao modelador expandir suas descrições quando necessário;

suporte de decisão, que está exercendo maiores influências no curso da pesquisa em simulação em várias áreas.

⁷³ Evolução literária no campo de pesquisa da simulação de eventos discretos, segundo Page Jr (1994) é dada por: Conway, R.W., Johnson, B.M. and Maxwell, W.L. (1959). "Some Problems of Digital Systems Simulation," Management Science, 6(1), pp.92- 110, October; Kiviat, P.J. (1967). "Digital Computer Simulation: Modeling Concepts," RAND Memo RM-5378-PR, RAND Corporation, Santa Monica, CA, January; Nance, R.E. (1993). "A History of Discrete Event Simulation Programming Languages," In: Proceedings of the Second ACM SIGPLAN History of Programming Languages Conference, Cambridge, MA, April 20-23, Reprinted in ACM SIGPLAN Notices, 28(3), pp.149- 175; Tocher, K.D. (1963). *The Art of Simulation*, Van Nostrand Company, Princeton, NJ; Tocher, K.D. and Owen, G.D. (1960). "The Automatic Programming of Simulations," In: Proceedings of the Second International Conference on Operations Research, pp.50-68.

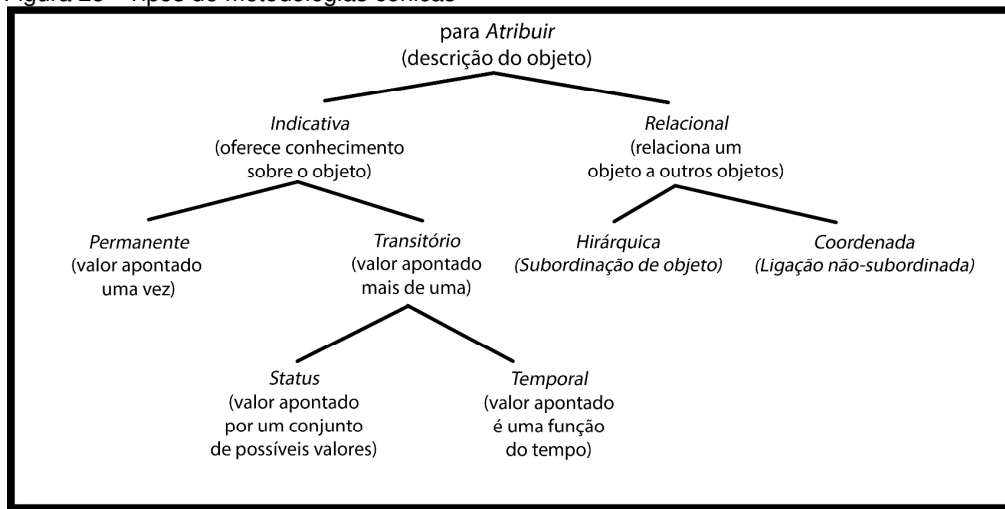
⁷⁴ A completude em Tong (1987) é verificada como critério de coesão entre conhecimento aplicado em projeto, e especificações de características de projeto, apresentado com maior detalhamento no tópico 'Conhecimento aplicado em projeto'.

- v) Promover uma organização experimental de projeto e monitorar a realização deste projeto no modelo experimental.

A inter-relação entre os entes modelados na simulação, tal como indicado por Page Jr (1994) entre práticas procedurais aconselhadas no desenvolvimento de modelagem de simulações, é indicado na Figura 25, de forma a simplificar a tipificação das características de um ente simulado, com base em fins didáticos.

A Metodologia Cônica segundo a apresentação por Page Jr (1994) encontra coesão com as propostas de Rütten (2006), ao distinguir diretrizes de metodologia frente a disparidades de estratégia de execução do projeto, denominadas em acordo com a abordagem figurativa axiomática: i) do topo-pra-baixo, e ii) de baixo-pra-cima.

Figura 25 - Tipos de metodologias cônicas



Fonte: Adaptado de Page Jr (1994) pelo autor

No recorte de pesquisa do presente trabalho, verifica-se a contribuição de Page Jr (1994) ao descrever os atributos da especificação de modelos, que no âmbito do comportamento do mesmo, beneficia tópicos de:

- i) A especificação de condições pode ser analisada para medir a complexidade e identificar potenciais problemas com a própria especificação;
- ii) A especificação de condições pode ser transformada de maneira a produzir representações adicionais, que, conformam a simulação tradicional com eventos observados;
- iii) Alguns aspectos podem permanecer sem especificação, sem prejudicar a análise e transformações identificadas na etapa anterior;

- iv) Um modelo é definido em termos que não prescrevem qualquer implementação particular de técnica, tais como mecanismo do fluxo de tempo.

Page Jr (1994) afirma que o centro de eficácia de uma simulação é dado pela relação entre teoria dos modelos e processo de modelagem, relacionados com o suporte de decisão e descritos pelas metodologias na área. São apontados avanços a partir da década de 90, a homologar a aplicação de simulações no campo da Arquitetura sob os eixos: i) mecanismo de fluxo de tempo; ii) frames conceituais; iii) linguagens de programação no campo da simulação; iv) análise estatística; e v) modelos do Ciclo de Vida das simulações.

Segundo Page Jr (1994), um modelo é uma: *'abstraction of a system intended to replicate some properties of that system* (PAGE JR, 1994 *apud* OVERSTREET, 1982, p. 44)⁷⁵. Portanto, como abstração, é verificada também a demanda por especulação, capacidade reflexiva, um conteúdo equivalente àquele verificado no campo de pesquisa da AI, Inteligência Artificial (SIMON, 1996), que pode ser constatado a partir do questionamento *'It may be fairly argued then that not all systems of interest are composed of clearly identifiable objects'* (PAGE JR, 1994, p. 13)⁷⁶.

Segundo o autor, abstração possui dois propósitos em projetos de simulação: i) aumentar o entendimento sobre os modelos e seus comportamentos; e, ii) oferecer modelos computacionalmente mais eficientes que os estudados.

A correlação crucial entre geração automatizada de solução para problemas e raciocínio humano (SIMON, 1996), segundo Stankovic (2011), é: segundo a psicologia cognitiva, seres humanos reagem de maneira similar frente a situações de certos tipos de problemas, usualmente resolvidos esquematicamente do topo-para-baixo, tal como descrito por Rütten (2006) anteriormente, e também apresentado por Page Jr (1994).

Frente a problemas deste tipo, é demandado o aprimoramento e otimização de resultados durante o desenvolvimento de soluções, bem como acerca da criação de ferramentas capazes de atuar no processo de desenvolvimento destas: este é o papel

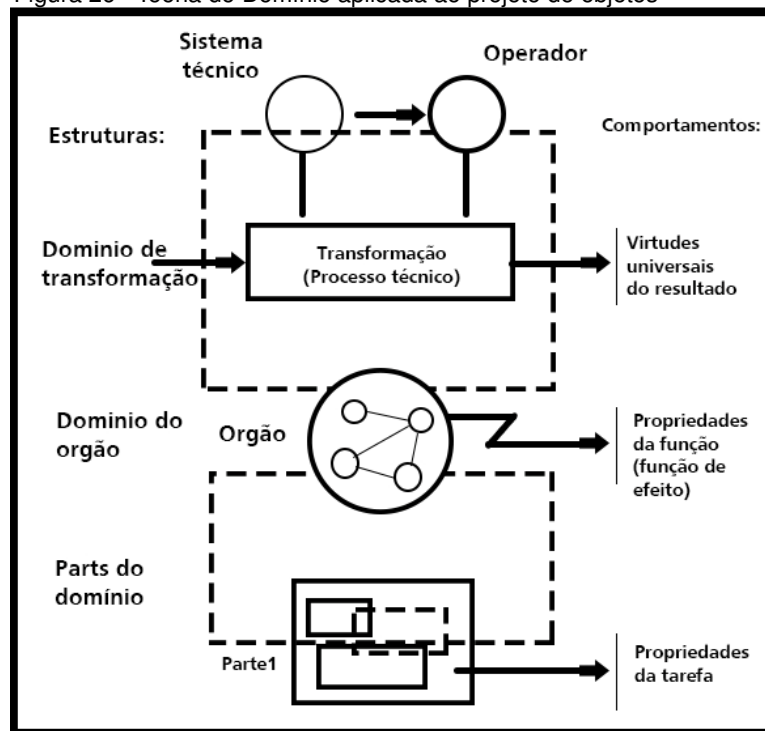
⁷⁵ Tradução realizada pelo autor: abstração de um sistema com o objetivo de replicar algumas propriedades daquele sistema. Trecho retirado por Page Jr (1994) de: Overstreet, C.M. (1982). *"Model Specification and Analysis for Discrete Event Simulation,"* PhD Dissertation, Department of Computer Science, Virginia Tech, Blacksburg, VA, December.

⁷⁶ Tradução realizada pelo autor: *Talvez seja corretamente argumentado que nem todos os sistemas de interesse possam ser objetos claramente identificáveis.* Tal comentário induz à caracterização de vários outros aspectos de problemas de projeto que não podem ser internalizados no aprimoramento do planejamento de produto, e contribuem desta forma para a má estruturação no percurso problema-solução, que pode ser compreendida a partir de Goel (1992).

descritivo das teorias e metodologias de Design, dado a verificação de um conjunto recorrente de regras verificadas na atividade de projeção (STANKOVIC, 2011).

Acerca das formas de descrever a utilização de abstração no processo de Design, a Teoria do Domínio é apontada segundo Stankovic (2011) como o conjunto de proposições no campo da Engenharia, que visam explicar as realizações intermediárias entre os sistemas para definição de características, e necessidades por avaliar e determinar o comportamento de um dado sistema. Ou seja, tal teoria prescreve os requisitos necessários para estudo e avaliação de sistemas através do uso de analogias, como apresentado na Figura 26:

Figura 26 - Teoria do Domínio aplicada ao projeto de objetos



Fonte: Adaptado Stankovic (2011) pelo autor

Em Page Jr (1994) é possível verificar a correlação entre a avaliação dos resultados de uma simulação, com ações implementáveis durante o Processo de Desenvolvimento de Produto, a partir da compreensão já apresentada anteriormente por Amaral et al (2006) no tópico 2.1. Em Page Jr (1994) a correlação é apresentada a partir do trecho: *'essentially, a simulation provides the basis for making some decision - this decision being based on the "answers" provided by the simulation. The relative*

importance of the decision, once made, and the subsequent action (or inaction) taken as a result of the decision are myriad' (PAGE JR, 1994, p. 36')⁷⁷.

Em Stankovic (2011), verifica-se que a utilização da fase de PC é mais intensiva frente às possibilidades de aplicação de estratégias utilizando conhecimento aplicado em projeto (*knowledge-based techniques*). Tal prioridade é apontada no trecho: '*a computational system that is able to process information and generate solution alternatives becomes a vital part of conceptual design therefore affecting both the technical system being designed and the process of designing*' (STANKOVIC, 2011, p. 42)⁷⁸.

Verifica-se, portanto, que a importância relativa à decisão (uma vez decretada), e a ação aplicada subsequentemente (ou inação), é verificada como resultado de possibilidades dentro em ambiente de projeto. Page Jr (1994) também utiliza o conceito de Ciclo de Vida para descrever a rede de relações existentes entre o assentamento de decisões, e avaliação de resultados simulados.

O tipo de decisão realizada como suporte à atividade projetual de modelagem, possui correlação direta com o tipo de Ciclo de Vida, paradigma e metodologia descritos, tal como é possível verificar a partir da Figura 73 presente no apêndice.

Complementarmente, Reynolds Jr (2008) descreve Calibração do Modelo, como: etapas desenvolvidas pelo processo de simulação multifásico (tal como ocorre no processo de design), em que é alcançado um nível no qual o modelo não precisa mais ser submetido à entrada de novos valores para simular a realidade do evento observado.

Em Reynolds Jr (2008) Incerteza Epistêmica é descrita como: capacidade de aumentar a robustez informacional (confiança informacional), ao avançar na descrição dos comportamentos investigados por meio da simulação, de forma a possibilitar a caracterização de eventos no patamar da incerteza aleatória. No caso de simulações de processos estocásticos [denominados em função de uma origem residida em eventos aleatórios, tal como é possível verificar em Lorenz (1963)], esse grau de incerteza - no caso da descrição coesa com o comportamento da simulação - pode não ser atingido, mas o fenômeno pode ter sua totalidade compreendida.

Em Terzidis (2006) é apontado um sumário de operações possíveis a partir do desenho paramétrico, bem como a busca estocástica: '*stochastic search is a process*

⁷⁷Tradução realizada pelo autor: *Essencialmente, uma simulação oferece a base para a realização de alguma decisão - esta decisão é baseada em 'respostas' apresentadas pela simulação.*

⁷⁸Tradução realizada pelo autor: *Um sistema computacional apto a processar informação e gerar alternativas de solução se torna parte vital do design conceitual, afetando contudo ambos o sistema técnico sendo projetado, quanto o processo de projeção.*

in which building elements are then evaluated against a set of constraints to be accepted if there is a satisfying fit' (TERZIDIS, 2006, p. 121)⁷⁹.

Mesmo que não haja uma aproximação ideal entre fenômeno verificado e redução da incerteza epistêmica, é possível alterar o grau da incerteza no ambiente de modelação de simulações, ao: i) identificar os meios de realizar a operação; ii) aceitar o risco, e declarar o fim da tarefa de simulação (REYNOLDS JR, 2008).

Segundo Reynolds Jr (2008), o objetivo em reduzir as disparidades percebidas no ambiente de incerteza da modelagem na realização de uma simulação com base em um evento real é: ganhar conhecimento acerca do objeto de estudo. Este é um objetivo normativo da investigação realizada pelo projetista: *'the designer is typically a scientist or other researcher who seeks to understand some phenomenon and capture this understanding in the form of a simulation'* (REYNOLDS JR, 2008, p. 47)⁸⁰.

Page Jr (1994) apresenta também que, de forma a contribuir no percurso de estruturação da relação problema-solução utilizando técnicas de resolução de problemas, são apontadas as seguintes características necessárias à investigação no campo da simulação: i) um entendimento adequado do problema a ser resolvido; ii) fomentar o desenvolvimento de modelos visando mimetizá-los com o evento real, desde o início de seu desenvolvimento; iii) fomentar a utilização do programa adequado para representar o modelo; iv) realizar projetos de experimentação; e, v) apresentar resultados.

Reynolds Jr (2008) frisa que simulações com foco no desenvolvimento de funções de solucionadores de problema, necessitam que o cientista possua quatro discernimentos acerca do processo: i) a simulação oferece ao cientista um melhor entendimento acerca do fenômeno de interesse; ii) alguns aspectos da modelação do fenômeno não podem ser validados; iii) o cientista deseja incorporar ou remover algum novo sistema da simulação; e, iv) é verificada a necessidade em alterar o contexto no qual a simulação está sendo realizada.

Em Stankovic (2011) é apresentado um trabalho que descreve a partir das experiências apresentadas no campo da arquitetura, a correlação entre Chomsky e a gramática da forma⁸¹, em conformidade com Celani et al. (2006), e Pimentel et al.

⁷⁹ Tradução realizada pelo autor: *busca estocástica é um processo no qual elementos construtivos são substituídos em locações randômicas no espaço, e que então são avaliadas diante de um conjunto de limites a serem aceitos, de modo a satisfazer uma necessidade.*

⁸⁰ Traduzido pelo autor: *O projetista tipicamente é um cientista ou outro pesquisador que procura entender algum fenômeno e captura esse entendimento na forma de uma simulação.*

⁸¹ Segundo Stankovic (2011) acerca do uso da gramática da forma no desenvolvimento de soluções em design, verifica-se que a solução resultante pode ser compreendida em acordo com a compreensão em linguística, tal qual uma expressão sintaticamente correta. O uso da gramática da forma é descrito pelo

(2014). Contudo, o maior objetivo do trabalho de Stankovic (2011), é apresentar suporte ao desenvolvimento conceitual na atividade de projeto, de maneira a sintetizar processos técnicos, no intento de obter variantes de transformação. Também é reconhecido o avanço na área de simulações em acordo com as variáveis tecnológicas, tal como apresentado anteriormente em Page Jr (1994).

O estudo do formalismo adaptado para o campo dos sistemas (no sentido técnico do termo), segundo Stankovic (2011), é apontado como sendo uma contribuição de Post⁸², a partir de incursões no campo da música durante a década de 30. Como contribuição no campo científico, Noam Chomsky (1956) é apontado por realizar contribuições na década de 50, como pode ser verificado no trecho:

In attempts to determine the basis and goals of linguistic theory he devised a formal model for the description of natural languages. Establishing of a formal bases was necessary to create a systematic approach to formation of scientific theory. Guided by the previous work of Post and others, Chomsky seeks out transformational model for language syntax as a mean for producing the sentences of the language under analysis (STANKOVIC, 2011, p. 94)⁸³.

O objetivo geral de estudos como o realizado por Stankovic (2011), visam integrar a síntese computacional em projeto com aplicações necessárias na indústria, como verificado em Oxman e Oxman (2010), mais à frente. Segundo o autor (STANKOVIC, 2011), a relação entre resolução de problemas em Design, desenvolvimento tecnológico, e novas diretrizes para o avanço na área, são denominadas de Síntese Computacional do Design (*Computational Design Synthesis, CDS*), com a devida revisão do estado da arte realizado pelo autor em seu trabalho.

Em sua pesquisa, são abordados Algoritmos Genéticos, matrizes de função-componentes, gramática gráficas, gramáticas da forma, gramáticas espaciais, e *Cambridge Advanced Modeller*. Para tal, o autor utiliza a GDT, a Teoria Geral do

autor como um desenvolvimento levado a cabo por uma produção do sistema, através de transformações demandadas para gerar um conjunto formal, denominado de língua. A adição de algoritmos estocásticos em tais processos, resultou na otimização de tais soluções. A adequação do desenvolvimento de algoritmos à abordagem estocástica gramatical evolucionária é apontada como otimizador de performance. Stankovic (2011) aponta que o uso pioneiro da gramática da forma em arquitetura é creditado a: Gips, J., Stiny, G.: *“Production systems and grammars: a uniform characterization”*, Environment and Planning B, Vol. 7, pp 399-408, 1980.

⁸² Post, E.: *“Formal reductions of the general combinatorial decision problems”*, American Journal of Mathematics 65, pp. 197- 268, 1943

⁸³ Tradução realizada pelo autor: *Na tentativa de determinar a base e os objetivos da teoria linguística, ele desenvolveu um modelo formal para a descrição das línguas naturais. O estabelecimento de uma base formal foi necessário à criação de uma abordagem sistemática para a formação de uma teoria científica. Guiado pelo trabalho previamente realizado por Post e outros, Chomsky procura modelos de transformação da sintaxe da língua como meio de produzir sentenças para submetê-la em análise.*

Design formulada por Tomiyama et al. (2009)⁸⁴ para descrever o processo de busca explanatória, verificado no processo de desenvolvimento do design.

Benefícios verificados por Stankovic (2011) acerca da pesquisa no campo de transformação dos processos de design em procedimentos para a resolução de problemas são apontados em: *'moreover, the transformation of a design process into a prescribed problem solving procedure enables activities such as planning, standardization of task solving process and utilization of past solutions, while providing the possibility to learn on account of prior experience'* (STANKOVIC, 2011, p. 39)⁸⁵.

2.7 Design Morfogenético, Algoritmos Genéticos e Embriogênese

Este tópico apresenta uma descrição acerca da utilidade dos avanços computacionais para o campo da Arquitetura e Design, baseados em um estreitamento com as concepções contemporâneas de evolução e genética, tal como descrito inicialmente partir da contribuição de Sachs (2007).

Os questionamentos a serem respondidos aqui são: o que é Design Morfogenético? Há correlação entre o Design Morfogenético, Bioinspiração e o desenvolvimento de Algoritmos Evolucionários, de forma a contribuir para o campo de desenvolvimento de soluções em design?

Segundo Fengtao (2012), a morfogênese cumpre um papel decisivo na formação de processos e condução do desenvolvimento de Design Generativo investigados pelo autor, onde é perseguida a correlação entre conhecimento para aplicação no campo morfogenético e estruturação de processos no campo da forma na área da Arquitetura. É ressaltada a transferência de conhecimento a partir das zonas de estudos realizados.

Günter (2010) afirma que as estratégias do Design Morfogenético emergente utilizam ferramentas desenvolvidas por profissionais de diferentes disciplinas, tais como teoria da Matemática, Engenharia de Materiais, Biomimética, estudos ambientais e tecnologias digital. Tais campos não precisam ser utilizados estreitamente a partir de uma aplicação digital, tal como o próprio autor (GÜNTER, 2010) propõe em um escopo de projeto arquitetônico baseado em três áreas segmentadas de projeto informacional, i) ecologia; ii) topologia, e, iii) estrutural.

⁸⁴ Conforme apresentado no tópico 'Conhecimento aplicado em ambiente de projeto'.

⁸⁵ Tradução realizada pelo autor: *Além disso, a transformação dos processos de design em problemas prescritos na forma de resolução de problemas, permite atividades como planejamento, padronização de processos, e utilização de soluções anteriores, enquanto provém a possibilidade de aprendizado por experiência prévia.*

De forma a contribuir para a investigação no campo da criatividade, Gero (1996) investiga perfis de emergência em um quadro de modelos de criatividade no ambiente computacional com geração de esquemas. Detalhes acerca dos procedimentos comportamentais descritos por Algoritmos Genéticos, bem como modelos de operações desenvolvidos por estes, podem ser encontrados em Gero (1996).

A utilização do computador como agente ativo na geração de melhores soluções em um percurso morfogenético, é apresentada em uma pequena contribuição de Sheldrake, McKenna e Abraham (1998):

This grassroots science need not to be seen as a rival to existing science, but as complementary to it ... The secret key to empowering the success of this new development is the communications aspect of the computer revolution (SHELDRAKE; MCKENNA; ABRAHAM, 1998, p. 7)⁸⁶

Grefenstette (1986) descreve Algoritmos Evolutivos como úteis no atendimento de uma demanda por otimização na função realizada por desenvolvedores de Sistemas Técnicos, onde uma classe de buscadores de soluções adaptativas procedurais, tal como o algoritmo genético, é aplicada de maneira a resolver um conjunto de problemas de otimização.

A realização do experimento apresentado pelo autor, visa identificar a eficiência da utilização de Algoritmos Genéticos na otimização de um conjunto de funções numéricas, em uma realização complexa da tarefa.

As contribuições de Roudavski (2009) advêm de seu principal objetivo: discutir as bases conceituais da morfogênese, correlacionando o objeto de pesquisa com perspectivas no campo de desenvolvimento de novas estruturas responsivas a partir de Bioinspiração, utilizando informações no nível de estruturas celulares. As diretrizes ultrapassam as possibilidades metafóricas no campo da analogia, como pôde ser verificado.

Tendo em vista esta relação direta com a Bioinspiração no campo do Design, verificamos a definição ampla de Morfogênese no campo deste estudo:

Procedural, parametric and generative computer-supported techniques in combination with mass customization and automated fabrication enable holistic manipulation in silico and the subsequent production of increasingly complex architectural arrangements. By automating parts of the design process, computers make it easier to develop designs through versioning and gradual adjustment. In recent architectural discourse, these approaches to designing have been described as morphogenesis (ROUDAVSKI, 2009, p. 2)⁸⁷

⁸⁶ Tradução realizada pelo autor: esta ciência caipira não necessita ser apontada como rival de uma ciência existente, mas como complementar a ela... o segredo em empoderar o sucesso neste novo desenvolvimento é o aspecto comunicativo da revolução computacional.

⁸⁷ Traduzido pelo autor de: Procedimentos paramétricos e técnicas generativas com suporte computacional combinados com customização massiva e fabricação automatizada, permitem

Em Cagan, Degentesh e Yin (1998), são apresentados resultados de experimentos com cálculo utilizando algoritmos para a geração de leiaute, a partir de uma aplicação automatizada no nível da decomposição geométrica do modelo, utilizando dados como: i) formas arbitrariamente apontadas; ii) alvos e objetivos espacialmente interconectados, e, iii) limites de performance. A formulação de algoritmos para a geração baseada em simulação por recozimento (*simulated annealing*), é realizada em resposta a demanda por otimizações na geração de soluções utilizando técnicas estocásticas, tal como apresentado no tópico 'Modelagem de Simulação (M &S)'.

Complementarmente, Oxman e Oxman (2010) apresentam suas considerações acerca da realização de pesquisas no campo da Arquitetura, a descrever um cenário de contribuições para uma nova estruturação na área, dada a participação de arquitetos e engenheiros de estruturas, propiciando subsídios emergentes para a organização estrutural lógica da atividade Design. Esta nova estruturação, segundo os autores, atua em um campo amplo a partir das áreas de infraestrutura, tectônica digital, materialização, produção e pesquisa, tornando a integração entre os profissionais possível.

Em Fengtao (2012), verifica-se a aplicabilidade da morfogenética, dado que é conceito utilizado em um número de disciplinas incluindo biologia, geologia, engenharia, cristalografia, estudos urbanos, arte e arquitetura. A etimologia da palavra remete à criação da forma (*beginning of the shape*), ou seja, a descrição dos processos biológicos que levam a um organismo a desenvolver sua forma (FENGTAO, 2012).

Em Arquitetura, a morfogênese é frequentemente utilizada como inspiração para a construção da forma a partir de uma coleção de métodos em meio digital, de forma a possibilitar a geração de geometrias complexas a partir da transmissão de informações de maneira consistente, contínua e dinâmica. Acerca da compreensão de geometrias complexas é apontada a utilização de novas topologias, geometrias não-euclidianas, curvas *nurbs*, curvas paramétricas, e utilização de dados de base genética (FENGTAO, 2012).

manipulação holística em sílica e a produção subsequente em crescente complexidade dos arranjos arquitetônicos. Ao automatizar partes do processo de design, computadores tornam mais fácil desenvolver designs através da geração de versões e ajuste gradual. No recente discurso arquitetônico, estas abordagens na projeção têm sido descritas como Morfogênese.

Verifica-se uma contribuição no campo de desenvolvimento de soluções em Design a partir da IA (SIMON, 1996), em uma recorrência sobre os temas emergência e criatividade. Em Gero (1996) é apontada a similaridade entre processos evolucionários no nível genotípico com a descrição de combinação e mutação na geração de soluções projetuais, área de investigação relacionada com o campo dos Algoritmos Genéticos.

Gero (1996) aponta que a adição de variáveis no processo de desenvolvimento de soluções implica diretamente a estruturação dos esquemas resultantes, portanto, com resultado direto dentro dos modelos mentais do desenvolvedor. A adição destas variáveis é caracterizada de forma recorrente como operando em etapas emergenciais de adição e subtração, apresentando maior alteração estrutural, contudo, a partir da adição de variáveis a partir da subtração operacional.

Acerca ainda dos modelos mentais constatados na atividade projetual em morfogenética, Günter (2010) compreende os requisitos na segmentação de projeto informacional na Arquitetura sob influência de um critério ecológico, como sendo: i) requisito ecológico de funcionamento da locação e ii) fluxo de usuários. Os requisitos de projeto compreendidos sob influência de um critério topológico são: i) definição de materiais; ii) definição de requisitos, parâmetros ambientais e pertencentes ao campo de recepção do evento visual do prédio. Requisitos de projeto compreendidos na segmentação sob influência de um critério estrutural: i) parâmetros para as acomodações dentro da estrutura; ii) definição de materiais; iii) suporte para a logística; iv) conforto nas acomodações e fluxo; v) iluminação, entre outros.

Gero (1996) aponta que mutação é a alteração de uma variável em um protótipo de solução, dado a interação com um processo externo, podendo ocorrer em dois níveis representacionais. Segundo o autor, a mutação:

Draws on an analogy with genetics where the structure in a design prototype maps onto the genetic concept of phenotype whilst there is a more fundamental coding representation at the gene level called the genotype. The genotype is expressed as the phenotype through process operations. The genotype represents structure at a covert level and mutations can also occur here. At this covert level it is possible to conceive of not only structure being represented but also behaviour and function with mutation operations occurring on all three of function, behaviour and structure (GERO, 1996, p. 14)⁸⁸

⁸⁸ Tradução realizada pelo autor: é baseada em uma analogia com a genética, onde a estrutura em um protótipo de design mapeia o conceito genético do fenótipo, enquanto há uma representação da codificação mais fundamental no nível do gene, chamado o genótipo. O genótipo é expresso como fenótipo através de operações processuais. O genótipo representa a estrutura em um nível de cobertura e mutações podem também ocorrer aqui. Neste nível secreto, é possível conceber não só a estrutura que está sendo representada, mas também o comportamento e a função com operações em mutação, ocorrendo em todas as três funções, comportamento e estrutura.

Cagan, Degentesh e Yin (1988) apontam que até a data da pesquisa em 1998, não havia uma abordagem geral de descrição de ferramentas computacionais de componentes 3D com o intuito de apresentar considerações acerca da utilização geração de soluções baseadas em Simulação por Recozimento (*Simulated Annealing-Based*) na criação de leiaute, de forma a gerar bons resultados em geometrias, e satisfazer as demandas espaciais no ambiente de solução de projeto (CAGAN; DEGENTESH E YIN, 1998).

A ação do algoritmo se dá como descrito na nota:

in summary, within the algorithm an initial (design) state is chosen and the value of the objective function for that state is evaluated. A step is take to a new state by applying a move, or operator, from an available move set. This new state is evaluated; if the step leads to an improvement in the objective function, the new design is accepted and becomes the current design state (CAGAN; DEGENTESH; YIN, 1998).⁸⁹

Outras características acerca da operação de Algoritmos Genéticos tal como o Simulado por Recozimento (*Simulated-annealing*) são consideradas gerais a partir da descrição de Grefenstette (1986), em: '*often the choice of parameters can have significant impact on the effectiveness of optimization algorithm*' (GREFENSTETTE, 1986, p. 1). Acrescenta-se a esta constatação, alguns requisitos para a utilização de Algoritmos Genéticos, tais como:

- i) O tamanho da população (Algoritmos Genéticos geralmente são aplicados em populações pequenas);
- ii) Raio de cruzamento (quanto maior o raio de cruzamento, mais rápida a geração de resultados);
- iii) Raio de mutação (garante a procura randômica e permanente de troca na posição dos fatores por novos resultados);
- iv) Lacuna generativa (controla a porcentagem da população a ser substituída durante cada geração), entre outros.

Segundo Martino (2014) o algoritmo Simulado por Recozimento (*Simulated Annealing*) disponível no ambiente de Grasshopper® não pode ser caracterizado como algoritmo evolutivo, dado que é uma ferramenta que age no campo das melhorias do

⁸⁹ Tradução realizada pelo autor: Em resumo, a partir do algoritmo em um estado (fase de design) inicial, é escolhido o valor de uma função objetiva para que esse estado seja avaliado. Um passo é então dado para um novo estado via aplicação, movimento, ou operador, a partir de um conjunto de movimentos disponíveis. Este novo estado é avaliado; se o passo induz a uma melhoria na função objetivamente, o novo projeto é aceito e se torna o estado do design atualizado.

processo de geração de soluções, visto que não busca outras possíveis soluções, tal como preconizado acerca da ação de Algoritmos Evolutivos.

Alguns teóricos inclusive sugerem o trabalho conjunto dessas duas técnicas: tal sugestão indica o Algoritmo Evolutivo para uma busca global em um primeiro momento, seguido da aplicação de um solucionador do tipo Simulador por Recozimento (*Simulated Annealing*) para o refinamento da solução encontrada. Complementarmente, Webb (2013) descreve a partir de sua pesquisa a compreensão, que simulações com abordagem morfogenética (ou morfogeradora) - tal como a própria atividade computacional digital - em um recorte de entronização tecnológica (BÜRDEK, 2006), necessitam de revisionismo teórico.

Webb (2013) descreve que, em acordo com a capacidade de intervenção tecnológica na produção arquitetônica, uma gama maior de conhecimentos é demandada em análises por mais especialização, reivindicando dos realizadores de tais tarefas mais tempo aplicado na investigação, e menos executando operações: o autor considera tal aspecto um sintoma, uma contradição da apropriação da simulação como componente da metodologia no Design Morfogenético.

Dado a desproporcional busca dos Sistemas Técnicos frente à necessidade de controlar uma multiplicidade de variantes de projeto (tal como irradiação, temperatura, umidade, tempo, entre outros) os resultados obtidos em atividades de simulação computacional estão - e sempre estarão - aquém do evento original analógico (WEBB, 2013).

Sendo assim, no estágio tecnológico verificado no desenvolvimento de Design Digital, os atributos da Morfogênese possibilitam ao projetista se concentrar na representação do *simulacrum*, baseado nos atributos do evento virtual, como denominado por Webb (2013), em: '*architectural effects lead the morphogenesis, not the construction of a dynamic system*' (WEBB, 2013, p. 369)⁹⁰.

Webb (2013) verifica que a inclusão da simulação no processo de Design Morfogenético possui marco a partir da contribuição de Kolarevic (2013)⁹¹, no recorte teórico a contribuir para o campo profissional: porém, com descompasso verificado em processos de ensino da operação, de forma demandar um maior esforço na simplificação nos setores de instrução.

⁹⁰ Tradução realizada pelo autor: *Efeitos arquitetônicos lideram a morfogênese, não a construção de um sistema dinâmico.*

⁹¹ Kolarevic, B. (2003). *Digital Morphogenesis Architecture In the digital age: Design And manufacturing*, 12---28.

Webb (2013) apresenta considerações acerca da necessidade de suavizar o ambiente computacional de simulação ao diferenciar abordagens, do tipo: i) utilizando simulacro; e, ii) utilizando a simulação como computação de eventos mais próxima ao evento analógico. No desenvolvimento de simulação utilizando suavização do ambiente informacional na opção por simulacro, o Teorema de Bayes é utilizado como método de quantificação de variáveis (WEBB, 2013).

Os problemas de projeto utilizados por Webb (2013) para averiguar os resultados da aplicação do método em atividades de ensino, utiliza a descrição de eventos do campo da complexidade na física, a partir de uma suavização em abstrações por simulacro, de maneira a reduzir as descrições complexas dos eventos em processos de Design Morfogenético. Os eventos utilizados pelo experimento foram: i) termodinâmica; ii) sistemas de força verificados no cone de um furacão, entre outros.

Em Bentley et al. (2001) são apresentadas as considerações de um trabalho que na época da publicação se encontravam em estágio inicial, ao descrever a caracterização introdutória da utilização de Algoritmos Evolutivos em problemas mal-definidos no Design Digital. O processo de geração de ferramentas computacionais dentro do quadro dos Algoritmos Evolutivos é denominado Embriogênese (BENTLEY, 2000).

A definição de Algoritmos Evolutivos segundo Martino e Celani (2012), é descrita como:

São algoritmos inspirados na teoria evolucionista de Darwin apresentando como principais características a reprodução com herança genética, a variação aleatória em uma população de indivíduos e a aplicação de seleção natural para gerar as próximas gerações. Esses métodos foram desenvolvidos por cientistas da computação nas décadas de 1950 e 1960, originando a área de pesquisa denominada de Computação Evolutiva (MARTINO; CELANI, 2012, p. 1).

Segundo Stankovic (2011), Algoritmos Evolucionários são: *'are population based stochastic optimisers that are build on mimcking the notions from the natural evolution'* (STANKOVIC, 2011, p. 105)⁹². Sua aplicação possui como objetivo forçar um aprimoramento ao desenvolvimento de soluções, ao oferecer um acirramento no afunilamento durante o desenvolvimento utilizando princípios centrais da evolução natural.

⁹² Tradução realizada pelo autor: *populações baseadas em otimizadores estocásticos que são construídos mimetizando as noções da evolução natural.*

As vantagens verificadas pela aplicação com Algoritmos Evolutivos, segundo Bentley (2000), são: *'the advantages of such freedom of search are plain: the evolved solutions now resemble inventions rather than improvements'* (BENTLEY, 2000, p. 2)⁹³.

As possibilidades de desempenho oferecidas pela ação dos Algoritmos Evolutivos são descritas por Bentley (2000), em: *'a better term is actually "satisfacer". Evolution never tries to find globally optimal solutions. It merely propagates improvements through the population. In doing so, evolution walks a mysterious and winding path though the search space'* (BENTLEY, 2000, p. 4)⁹⁴.

Acerca do desenvolvimento de Algoritmos Evolutivos verifica-se, que, em acordo com Bentley et al. (2001): *'But some researches are beginning to argue that evolution is not a natural optimiser. In nature, evolution propagates change through populations that exist in dynamic, interacting and ever-changing environments'* (BENTLEY et al. 2001, p. 1)⁹⁵.

Neste recorte, verifica-se uma contribuição a área de pesquisa que utiliza a lógica difusa durante o processo de desenvolvimento de soluções, utilizando Algoritmos Genéticos. Bentley (2000) aponta os créditos deste trabalho à John Gero e Michael Rosenman⁹⁶.

Martino e Celani (2012) apontam que a utilização de Algoritmos Evolutivos é realizada em recortes de desenvolvimento de Design, onde há a verificação de mais de uma solução satisfatória. O experimento realizado pelos autores é direcionado ao desenvolvimento de soluções de projeto visando otimização de formas, e reforço de estruturas.

Segundo os autores, a estrutura básica de tais algoritmos conta com: i) a caracterização de populações de indivíduos; ii) operadores de diversidade, e, iii) funções de aptidão dos indivíduos. A diferença entre ambos é marcada pela seleção e maneira com que são geradas. O detalhamento acerca de como ocorre o cruzamento entre os 'cromossomos' de maneira a possibilitar uma maior diversidade no processo de geração de soluções, pode ser verificado em Martino e Celani (2012).

⁹³ Tradução realizada pelo autor: *As vantagens de tal liberdade de procura são planares: a solução evoluída agora remonta à invenções mais que melhorias.*

⁹⁴ Tradução realizada pelo autor: *um termo melhor é realmente 'satisfazer'. A evolução nunca tenta encontrar soluções globalmente otimizadas. Ela meramente propaga melhorias através da população. Ao fazer isso, a evolução caminha em um misterioso e sinuoso caminho pela busca de espaço.*

⁹⁵ Tradução realizada pelo autor: *Mas alguns pesquisadores começam a argumentar que evolução não é um otimizador natural. Na natureza, evolução propaga mudança através das populações que existem em ambientes dinâmicos, interatuantes, e sempre em mudança. A nota reflete a necessidade de caracterizar melhores soluções a partir de um conjunto de atributos capazes de descrevê-la fora do determinismo genético, mas dinamicamente.*

⁹⁶ Gero, J. S. & Kazakov, V., 1996. *An exploration-based evolutionary model of generative design process.* Microcomputers In Civil Engineering 11, 209-216.

A explicação acerca do que ocorre a partir dos eixos estruturais do Algoritmo Evolutivo, pode ser encontrado em Stankovic (2011, p. 105): *'the design process modelled using EA's can be viewed as a shortcut to a satisfying technical product using knowledge and experience of designing in order to accelerate the technical development which naturally should occur evolutionary'* (STANKOVIC, 2011, p. 107)⁹⁷.

Martino e Celani (2012) apontam ainda acerca dos processos estocásticos que: *'esses operadores de seleção envolvem algoritmos que utilizam técnicas determinísticas ou probabilísticas como os da roleta, do torneio, do ranking, o bi classista ou o elitista'* (MARTINO; CELANI, 2012, p. 2).

Stankovic (2011) frisa acerca da importância em utilizar o Algoritmos Evolutivos, que: *'Stochastic change of parameters which is measured over populations during the search process can be utilized both the evolutionary operators and the fitness function tailoring them to best fit thus successfully guide the evolution process'* (STANKOVIC, 2011, p. 108⁹⁸).

Abaixo, uma descrição esquemática do ciclo de geração de resultados através de Algoritmos Evolutivos na Figura 27:

Figura 27 - Estrutura típica de um algoritmo evolutivo considerando uma iteração



Fonte: Adaptado de Martino e Celani (2012) pelo autor

⁹⁷ Tradução realizada pelo autor: *O processo de design modelado utilizando Algoritmos Evolutivos pode ser visualizado como um atalho para uma produção tecnicamente satisfatória utilizando conhecimento e experiência da projeção de maneira a acelerar o desenvolvimento técnico que naturalmente deveria ocorrer de forma evolutiva.*

⁹⁸ Tradução realizada pelo autor: *Mudanças estocásticas de parâmetros sobre populações durante o processo de busca, podem utilizar ambos operadores evolucionários e a função de fitness conduzindo-as ao melhor desempenho ao guiá-las no processo de evolução*

Um modelo geral de Algoritmo Evolutivo, segundo Stankovic (2011), possui as seguintes características (STANKOVIC, 2011, p. 108):

- i) Apresenta um processo de aprendizado coletivo;
- ii) Os pontos descritos durante o processo de desenvolvimento de solução através do algoritmo podem ser utilizados em outros processos da pesquisa;
- iii) Um intercâmbio entre as populações de soluções geradas dado a emergência das amostras, é verificado;
- iv) Erros na simulação da transcrição de uma informação podem ocorrer randomicamente, de forma a introduzir mutação no processo;
- v) Indivíduos são avaliados de forma a introduzir uma função de melhor performance, assinalando valor a cada população individual de forma a responder como resolver a cada problema dado.

Este presente tópico iniciou a descrição das possibilidades de transferência que os Sistemas Técnicos fazem a partir dos Domínios Naturais, dado a necessidade por aprofundamento em nível conceitual acerca dos benefícios na área, ocasionada pela investigação do objeto de pesquisa compostagem.

O próximo tópico irá investigar este universo de possibilidades no campo especulatório da relação entre Sistemas Artificiais e Domínios Naturais, visto que ambas grandes áreas recebem benefícios da transferência de conhecimento aplicado em projeto.

2.8 Domínios naturais

Sendo assim, antes de realizar um direcionamento acerca da importância do estudo dos Domínios Naturais para a realização de simulações bioinspiradas e projetos de produto tal como uma composteira, é necessário primeiramente caracterizar as demandas por produção científica e tecnológica na área, dado a contribuição para o avanço e melhoria das atividades humanas.

A explosão da cultura empreendedora somada ao avanço contínuo do desenvolvimento em tecnologia digital resulta em um estado de necessidade interdisciplinar, proporcional ao crescimento de uma economia com base no avanço da alta tecnologia (ARDAYFIO, 2000): estas são as características gerais das demandas apresentadas às áreas de pesquisa e desenvolvimento de Design.

Em contrapartida, a fonte apontada para suprir tal necessidade é a inovação, junto a um conjunto de fatores sinérgicos, com foco na liderança da competitividade, mercadologicamente bem aceitos, e desenvolvidos por produção com tecnologia de ponta, gerada através da pesquisa direcionada ao desenvolvimento de novas maneiras para o fomentoda economia dos países (FRASCATI MANUAL 2002,).

Segundo Nagel e Stone (2012), é verificado que o processo de inovação a partir do Design bioinspirado nos Domínios Naturais ocorre na forma da etapa de geração de conceito, a partir da utilização de analogias, metáforas e conexões com múltiplos domínios como apresentado inicialmente no tópico 'Conhecimento aplicado em projeto.

Verificado em sistemas de desenvolvimento da indústria holandesa, a correlação entre design e tecnologia encontra seu apogeu na aplicação em nanotecnologia, e em três grandes áreas: i) suporte tecnológico; ii) inovação em produtos para a criação de novas tipologias de produtos em uma categoria, e, iii) emprego de metodologias de Design (ARDAYFIO, 2000).

A contribuição verificada diante da menção das informações apontadas em Ardayfio (2000) é realizada pela descrição de uma investigação acerca da aplicação do termo inovação como ferramenta da competitividade no campo da engenharia. Tal vínculo se dá devido seu uso para a liderança em desenvolvimento de produtos como indutor de excelência no ramo, a partir da pesquisa do processo de inovação, e de exemplos gerados em Design por meio de contribuições realizadas com institutos de pesquisa e instituições de treinamento.

Na investigação realizada em campo (ARDAYFIO, 2000), os setores pesquisados foram o automotivo, de motocicletas, aplicações domiciliares, terraplanagem, telefonia, e indústrias plásticas, apresentando ao final da pesquisa uma maior recorrência da utilização do Design ligado ao processo de inovação, em atividades de:

- i) Melhoria das ferramentas produtivas básicas;
- ii) Incentivo ao aprimoramento dos métodos e ferramentas técnico-científicas para expansão da aplicação básica ferramental;
- iii) Habilitação de interações multidisciplinares, de forma a investigar outras maneiras de interagir com base em variáveis produtivas recorrentes, tais como risco, tempo e custo.

Sendo assim, como no campo das novas tecnologias, a investigação no Design pode utilizar a transferência de conhecimento para o aprimoramento de novos e melhores produtos, se apresentado na forma de paradigmas tal qual a biônica (centrado na pesquisa com tecnologia de ponta), biomimética⁹⁹ (centrado na compreensão das contribuições dos domínios naturais, e aplicação dos saberes), e biodesign¹⁰⁰ (centrado no método científico a partir da organização do conhecimento estudado nos domínios naturais).

Porém, a partir de Sachs (2007), verifica-se uma recorrência de indagação desta articulação, tal como:

- i) Quais são as razões por detrás deste Design inspirado na natureza?
- ii) Com exceção daqueles que atrelados ao projeto funcional, por que nos últimos tempos verifica-se a criação de ambientes inspirados por topografia ou vegetação, ou ainda, projetos tomando a forma de corpos humanos ou animais?
- iii) Que efeito tais influências possuem em nosso posicionamento sobre problemas do campo ambiental?

Neste quadro, é verificável e recorrente o seguinte questionamento apresentado por Sachs (2007): a bioinspiração é uma contrapartida frente à crise constatada na interação com o ambiente, e que o uso de formas orgânicas se dá de maneira a assegurar a reconciliação com o mundo externo?

Se esta idéia é confirmável, este essencialismo orgânico poderia oferecer uma diretriz geral em evitar o uso do excesso, uma pista para a sustentabilidade que deve ser um requisito substancial dos processos de concepção em todos os campos da vida. A base para essa evolução é a pesquisa nas áreas de Design e Arquitetura, bem como para a pesquisa em materiais e formas de utilização do conhecimento em vários produtos e processos (SACHS, 2007), como será apresentado neste tópico.

Acerca destes questionamentos, Benyus (1997) apresenta a contribuição do entendimento da biomimética em três níveis: i) a natureza como modelo para inspiração; ii) a natureza como medida em termos evolutivos, e, iii) natureza como fonte de ensinamentos.

Benyus (1997) aponta ainda, que, acerca do entendimento dos problemas recorrentes em contingências pós-modernas de vida, e crescimento populacional, tais

⁹⁹ Campo de pesquisa em design biologicamente inspirado (NAGEL et al., 2010).

¹⁰⁰ ÉGIDO VILARREAL, J. Biodiseño: Biología y Diseño. D. R. Editorial Designio. Teoría y Práctica, 2012.

problemas podem ser cruciais pontos de contribuição, em: *'The new sciences of chaos and complexity tell us that a system that is far from stable is a system ripe for change. Evolution itself is believed to have occurred in fits and starts, plateauing for millions of years and the leaping to a whole new level of creativity after crisis'* (BENYUS, 1997, p. 5)¹⁰¹.

De maneira direta, verifica-se que agricultura e medicina são consideradas áreas importantes para serem utilizadas como domínios de aplicação no processo de transferência de conhecimento (SACHS, 2007). Vários processos de engenharia genética tiram proveito do aprofundamento na área, dado o objetivo em alterar a informação genética de uma célula ou de um organismo de tal modo: que determinadas qualidades são reforçadas ou características adicionais, somadas (morfogenética).

Outro ramo de pesquisa é a biotecnologia, que lida principalmente com técnicas de biologia molecular e engenharia genética, com atual grande foco de atenção do público. Ele não só recebe inspiração do modelo da natureza, como também intervém em sua estrutura afim de manipulá-la (SACHS, 2007).

Benyus (1997) afirma que, tendo em vista a necessidade de mimetizar a capacidade natural de sintetizar novos materiais a partir da matriz descrita pelos Domínios Naturais através de bioprocessamento, um investimento no campo da engenharia genética mediante a compreensão de seu funcionamento natural é demandado, tendo em vista inclusive, limitações e riscos verificados a partir de resultados fenotípicos aplicados na transferência biotecnológica.

Em complementaridade com as contribuições dadas por Sachs (2007), Benyus (1997) apresenta perspectivas de processamento genético em um quadro de biomimética, como verificado em: *'The proteins can be anything the biomimic might imagine - proteins that would nucleate an even harder coating than abalone, or perhaps a thin film of crystals with electrical or optical qualities'* (BENYUS, 1997, p. 108)¹⁰².

¹⁰¹ Traduzido pelo autor: As novas ciências do caos e complexidade nos dizem que um sistema que está longe da estabilidade, é um sistema amadurecendo por mudança. A evolução em si mesma é descrita como ocorrendo em encaixes e começos, escalando ao longo de milhões de anos, e pulando completamente a outro nível de criatividade após crises.

¹⁰² Traduzido pelo autor: as proteínas podem ser qualquer coisa que a biomimética possa imaginar - proteínas que sintetizariam ácidos nucleicos ainda mais entrelaçados que os da abalone, ou talvez cristais de filme fino com qualidades elétricas ou ópticas.

Dimas (2009) investiga a inspiração no Design a partir dos Domínios Naturais, apresentando compreensões no campo do Design e da Biologia, além de disciplinas de categorias estética, tecnológica e científica, de maneira a mapear o campo. O desafio desta pesquisa se dá mediante a ação interdisciplinar da atividade do designer, dado que suas criações fomentam as trocas de fundo artístico-expressivo, sociocultural e tecnológico-expressivo, como também verificado em Bandoni (2012), em atividades de workshop.

Nagel et al. (2010), aborda que a bioinspiração diferencia-se da novidade e da inovação, uma vez que nesta, a inspiração se dá por dedicação intelectual: por utilização de técnicas de criatividade e desenvolvimento.

É verificado que as contribuições de uma inspiração biológica foram assimiladas pela Teoria do Design na forma de diretrizes para a investigação científica em Design, tais: i) dispor de facilitadores de inspiração úteis no processo de transferência; ii) contribuir ao interagir com os métodos de representação existentes; e, iii) ser útil em técnicas de geração de conceito (NAGEL et al., 2010).

Nagel e Stone (2012) apresentam considerações acerca da verificação dos benefícios alcançados pela investigação em Design (*engineering design*), a partir da inspiração que os domínios naturais podem oferecer para a geração de alternativas. É verificado que, dada a extensão dos conhecimentos demandados para a investigação no campo de transferência dos domínios naturais ao desenvolvimento de projetos, é demandado do especialista um extenso conhecimento no campo de pesquisa na área.

De forma a beneficiar o processo de transferência, é proposta a utilização de softwares de maneira a formalizar a identificação da informação gerada e transferida. Isto possibilita o desenvolvimento de projetos inspirados biologicamente. Os resultados da pesquisa contam com apresentação do algoritmo descoberto para o desenho de software realizado (NAGEL; STONE, 2012). No tópico 'Casos de conhecimento aplicado dos domínios naturais no Design', tal contribuição será abordada com maior profundidade.

Em Nagel et al. (2010), a demanda apresentada pela pesquisa em biomimética é apresentada pelos fatores: i) a partir das contribuições em modelagem funcional de sistemas em desenvolvimento com tecnologia de ponta; ii) ao prover bons resultados a partir de técnicas sistemáticas em Design, baseadas em modelagem funcional; iii) ao contribuir para a criação de técnicas de geração inspirada em sistemas biológicos, organismos, fenômenos e estratégias. Tais etapas são avaliadas por critérios como a necessidade por redução de tempo, e sistematização em todo o processo.

Em Dimas (2009), o Design denomina uma atividade que muda em acordo com as eras, levado pela capacidade reflexiva e criativa da produção humana. Apresentado como uma atividade que demanda um ambiente compartilhado com outras disciplinas, aos designers é atribuída a necessidade em atravessar as ligações entre as disciplinas do conhecimento por uma habilidade que pode ser verificada com mais detalhes em Jantsch (1972), geralmente denominada de interdisciplinaridade.

A preguinância da interdisciplinaridade entre Design e Biologia se daria, portanto, de forma análoga, tal como uma ciência natural paralelamente verificável a uma das Ciências do Artificial (SIMON, 1996), onde o Design e outras áreas correlatas estão situadas conceitualmente.

Segundo Dimas (2009) dentro do universo de possibilidades a serem utilizadas na transferência de conhecimento dos Domínios Naturais às aplicações tecnológicas, suas fontes de inspiração poderiam ser encontradas em: i) cores, ii) estruturas, iii) formas, iv) funções, v) mecanismos e comportamentos, podendo reunir compreensões do Design e Biologia em disciplinas de ordem estética, tecnológica e científica.

As aplicações do conhecimento gerado para transferência, segundo a autora, se dão a partir da observação do processo biológico voltado à inspiração criativa, sob cinco âmbitos: i) forma; ii) estrutura; iii) funcionamento; iv) relação do objeto de estudo com a investigação no campo da história natural (no campo da ontogenia e filogenia), e, v) a partir de sua relação com a configuração ambiental no sentido ecológico (DIMAS, 2009).

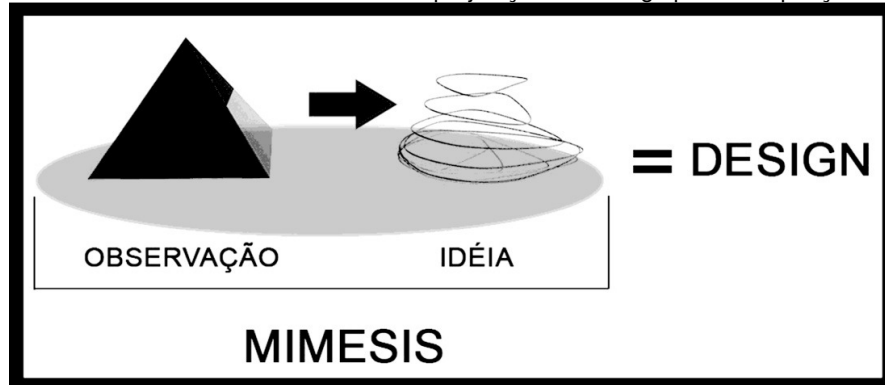
Roudavski (2009) acrescenta acerca dos benefícios do estreitamento entre arquitetura e biologia a partir da bioinspiração para a transferência de conhecimento:

1) architectural designing aims to resolve challenges that have often already been resolved by nature; 2) architectural designing increasingly seeks to incorporate concepts and techniques, such as growth or adaptation, that have parallels in nature; 3) architecture and biology share a common language because both attempt to model growth and adaptation (or morphogenesis) in silico. In a reverse move, architecture and engineering can inform the studies in biology because 1) components of organisms develop and specialize under the influence of contextual conditions such as static and dynamic loads or the availability of sun light 2) in biology as in architecture, computational modeling is becoming an increasingly important tool for studying such influences; 3) architecture and engineering have developed computational tools for evaluating and simulating complex physical performances (such as distribution of loads, thermal performance or radiance values); and 4) such tools are as yet unusual or unavailable in biology (ROUDAVSKI, 2009)¹⁰³.

¹⁰³ Tradução realizada pelo autor: i) a projeção em arquitetura almeja resolver desafios que são frequentemente resolvidos pela natureza; ii) projeção em arquitetura demanda buscar a incorporação de conceitos e técnicas, tais como o crescimento e adaptação, que possuem paralelos na natureza; iii) arquitetura e biologia compartilham uma língua comum porque ambos possuem resguardos acerca do

Em síntese, a partir de Dimas (2009), como também observado em Bandoni (2012) tal processo se dá a partir da relação esquematizada na Figura 28:

Figura 28 - Esquema conceitual para descrever o processo de transferência de conhecimento dos Domínios Naturais à projeção em Design por Bioinspiração



Fonte: Adaptado por Pimentel e Silva (2013) a partir de Dimas (2009, p. 44)

A emergência do tema de transferência de conhecimento dos Domínios Naturais para a pesquisa tecnológica se dá em um cenário de crise econômica tal como a de 2008 (PADUAN, 2009), levando a questionamentos pertinentes para o desenvolvimento de novas metodologias em Design (MORELLI, 2007), como apontado no tópico 'Conhecimento aplicado em ambiente de projeto', com base no paradigma da sustentabilidade.

A abordagem dos Domínios Naturais no ponto de vista de Nagel e Stone (2012), parte do princípio de que o mundo natural oferece uma fonte poderosa de casos, alcançáveis por processos analógicos dentro do desenvolvimento de Design, a partir da utilização de referências de organismos biológicos, fenômenos e estratégias.

A partir da nota, esta posição é reiterada: *'Biological organisms, phenomena, and strategies, herein referred to as biological systems, provide insight into sustainable and adaptable design and offer engineers billions of years of valuable experience, which can be used to inspire engineering innovation* (NAGEL; STONE, 2012, p. 161)'.

Em Morelli (2007) é investigada a emergência do tema das preocupações sociais na pesquisa e exercício da profissão do designer, e é verificado que: uma abordagem

modelo de crescimento e adaptação (ou Morfogênese) in silico. Em movimento reverso, arquitetura e engenharia podem informar os estudos em biologia porque i) componentes de organismos desenvolvem e se especializam sob influência de condições contextuais tais como estática e processamento de dinâmicas ou a avaliação da luz do sol ii) em biologia como na arquitetura, modelagem computacional está se tornando cada vez mais uma ferramenta importante para estudar tais influências; iii) arquitetura e engenharia têm desenvolvido ferramentas computacionais para avaliar e simular performances físicas complexas (tais como a distribuição dos processos, performance térmica e valores de radiação); e iv) tais ferramentas são incomuns e não-disponíveis em biologia.

social utilizada como método avaliativo em Design comumente recebe lugar secundário frente às principais diretrizes produtivas, tais como a variável de custo, tempo, risco, qualidade, e aspecto ambiental.

De modo a complementar à descrição de mudança no aspecto mercadológico verificado em Paduan (2009), acerca do comportamento de um consumidor distante da passividade e adquirindo um perfil de auditor, Morelli (2007) aponta uma espécie de realinhamento em novos cenários mercadológicos, dado a caracterização de novas demandas de consumo. Designers são então verificados como protagonistas de um cenário de inovação, aptos a investigar, novamente, como delinear uma metodologia para atender tais diretrizes (MORELLI, 2007).

Em Morelli (2007) são apontadas as seguintes diretrizes a serem perseguidas na correlação do Design com a inovação, com base nesta abordagem tendo em vista uma participação na investigação social:

- i) Percepções públicas acerca da atividade de designer, e de agenciamento dos designers;
- ii) Dinâmicas da economia a partir da intervenção social direta nos mercados;
- iii) Taxonomia desenvolvida para a tipologia de novos produtos;
- iv) Dinâmicas da economia para a fabricação de produtos socialmente responsáveis;
- v) Maneira com que tais produtos e serviços são recebidos por populações em situação de precariedade.

Para um maior aprofundamento acerca da retomada das preocupações sociais nas diretrizes de projeção em Design, e outras tendências para atividade, é indicado verificar Pimentel et al. (2013a).

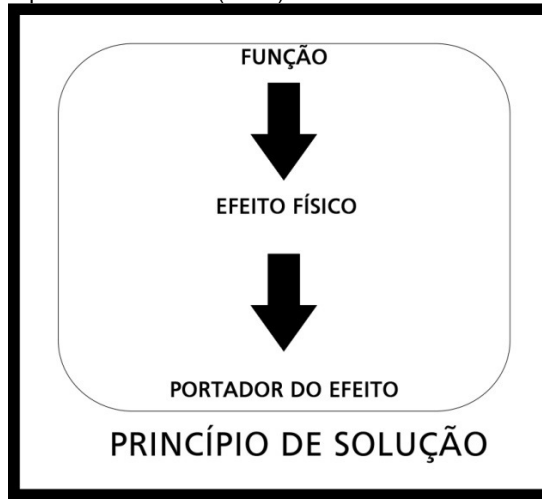
No campo da taxonomia desenvolvida para a tipologia de novos produtos, é verificada a necessidade de distanciamento do âmbito conceitual, dado a necessidade de simplificação e afunilamento de conhecimento na forma de projeto, a partir da *'decomposição da função total em funções de menor complexidade'* (DETANICO, 2011, p. 35), com resguardo acerca das aplicações e descrições dentro do âmbito conceitual e sua representação, organização e descrição da sistematização funcional.

A descrição da transição do percurso de abstração ao concreto que poderia dar-se a partir do desenho (DORCZI, 2012), é apontado em Detanico (2011) como parte do processo de desenvolvimento do princípio de solução:

em resposta à criação da estrutura funcional do produto, e dando continuidade ao processo de geração de alternativas, é necessário realizar a passagem do abstrato ao concreto, da função à forma. A cada uma das funções da estrutura funcional definida na etapa anterior podem ser atribuídos um ou mais princípios de solução (DETANICO, 2011, p. 36).

Tal procedimento é sistematizado na Figura 29:

Figura 29 - Constituição de um princípio de solução apresentado em Gomes Ferreira (1997)¹⁰⁴ apud Amaral et al. (2006):



Fonte: Adaptado de Detanico (2011)

Em Nagel e Stone (2012) é proposta uma formalização para a identificação da informação gerada na transferência de conhecimento, que possibilite o desenvolvimento de projetos inspirados biologicamente a partir da utilização de analogias, metáforas e conexões de outros domínios durante a geração de alternativas de projeto (denominadas biossoluções), dado a verificação dos benefícios alcançados pela inspiração em planejamento de Design, a partir dos Domínios Naturais.

O modelo Thesaurus (NAGEL; STONE, 2012) atua na investigação de funções e fluxos para o desenho funcional do projeto, a partir de terminações que utilizam uma correlação entre sistemas de engenharia bem-sucedidos, e Domínios Naturais. A correlação é feita a partir de uma estruturação linguística (léxica), baseada em uma gama de verbos da matriz de necessidade do desenvolvimento de produtos, com funções a serem realizadas e uma lista em correlação com os Domínios Naturais.

O critério de aplicabilidade das biossoluções escritas como resultado a partir da utilização do modelo Thesaurus obedece a um parâmetro a ser decidido pelo usuário.

¹⁰⁴ GOMES FERREIRA, M. G. Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual. 1977. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1977.

Uma vez que tais soluções são direcionadas ao incentivo de idéias criativas, obtêm-se conexões no ambiente virtual de projeto a serem implementadas parcialmente (ou totalmente) a partir da mimetização da natureza (NAGEL; STONE, 2012).

Verifica-se, portanto, que tal operação realizada por tais aplicativos visa uma descrição da complexidade presente nos Domínios Naturais na forma de classes, subclasses e sistemas, de maneira classificar o conhecimento útil diretamente à etapas de geração de conceito. Considera-se benefício também diante da sistematização automatizada, a redução de possíveis problemas no campo da teoria e prática, dado a demanda apresentada por Morin (2001), presente em: *'portanto, nesse sentido, é evidente que a ambição da complexidade é prestar contas das articulações despedaçadas pelos cortes entre disciplinas, entre categorias cognitivas e entre tipos de conhecimento'* (MORIN, 2001, p. 177).

O enfoque neste estudo é o de permitir mediante fundamentação teórica e experimentação com base na simulação, que a atividade da compostagem seja estudada por bases de pesquisa em Design de maneira atualizada, de forma a contribuir para o desenvolvimento de novas estratégias sustentáveis, onde, por uma terminação, é verificado no termo *'nature design'*, o qual:

The term nature design therefore encompasses a series of practices that intervene directly in the control and shaping of human life, such as genetic engineering, climate control, birth control, the organization of states, the distribution of risk in insurance and pension plans, as well as politicians' election strategies and the advertising campaigns of fashion concerns (URSPRUNG, 2007, p. 182)¹⁰⁵.

Portanto, verifica-se que qualquer intervenção humana sobre a natureza pode ser considerada *'nature design'*: seja a exploração de matérias-primas, desmatamento das florestas tropicais, sobrepesca dos oceanos, ou outra manipulação que acelereum processo natural.

Há outros resultados do *'nature design'* que despertam interesses museológicos acerca do fundamento arqueológico da relação da natureza com construções e bens de consumo criados pelo homem, tal a influência no ambiente humano construído. O conteúdo apresentado por Sachs (2007) não se refere apenas à maneira com que pessoas se organizam em um determinado ambiente, ou à maneira de reagir ou se

¹⁰⁵O termo design da natureza engloba uma série de práticas que intervêm diretamente no controle da modelagem da vida humana, tais como a engenharia genética, controle climático, controle de natalidade, a organização dos estados, a distribuição do risco de insegurança e planos de pensão, bem como as eleições das estratégias dos políticos e as campanhas publicitárias voltadas à moda' - Traduzido pelo autor.

proteger de cataclismas ambientais: mas acerca da investigação em bioinspiração, dado a verificação da contribuição em formas, estruturas, e organização de princípios da natureza, e suas tipologias e caracterização, como também apontado por Dimas (2009).

Em Roudavski (2009) é possível complementar tal colocação, uma vez que, tal como preconizado acerca da contrapartida nas trocas entre Domínios Naturais e Design, complementarmente as contribuições oferecidas na forma de dados com a compreensão da ferramenta de transporte (e, portanto, sobre a necessidade de utilização em ambas áreas sincronizadas), resultam diretamente em resultados informacionais objetivos na delimitação de requisitos de projeto em Design, e sua capacidade adaptativa.

É possível concluir mediante os trechos acima de Ursprung (2007), que o termo *'nature design'* pode englobar conceitualmente, portanto, o tripé de a) Domínios Naturais; b) compostagem, e, c) modelagem de sistemas. Isto se dá mediante o fato de que o termo abrange práticas que intervêm diretamente na organização da vida humana, por atuar com diretrizes no campo do controle de clima¹⁰⁶, e outras preocupações onde as atividades desenvolvidas por designers podem contribuir.

Além desta relação direta no campo da modelagem, o termo pode conter também diretrizes vinculadas à internalização do fator ambiental em decisões de projeto, conforme pode ser encontrado em Costa et al. (2010), em um quadro voltado à investigação das relações entre Design e Naturalismo.

Em tal trabalho são investigados tópicos tais quais Ecodesign e Design Sustentável, onde é apresentada uma compreensão da contribuição da grande área de pesquisa naturalista para o design, verificada em práticas tais quais a Biônica e Ecodesign, ao apresentar uma validade descrita em termos de evolução cultural a partir de um vínculo interdisciplinar com sistemas complexos, tal como percebido nos Domínios Naturais como fonte de conhecimento (COSTA et al., 2010).

Em retrocesso, desde o início dos anos 1990, têm-se assistido a um progressivo retorno da importância em investigar tais formas de inspirar projetos, sendo relevante notar que alguns dos objetos mais importantes foram ser caracterizados como: i) ícones do Design orgânico; ii) utilização de modelos antropomórficos, ou, iii) simplesmente uma expressão abstrata da natureza (SACHS, 2007).

É assentada a possibilidade de constatação da presença do princípio de transferência dos Domínios Naturais na forma de aplicações reais, em áreas da

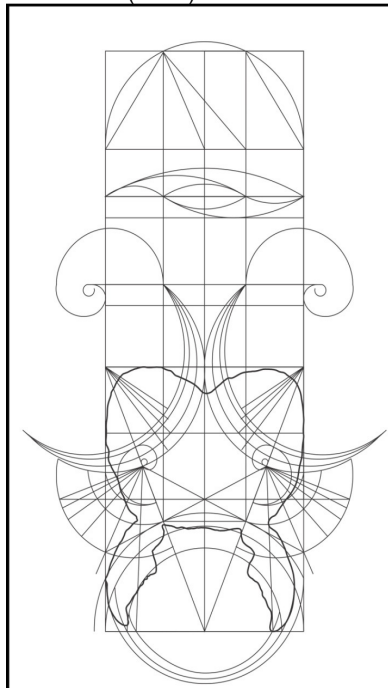
¹⁰⁶ Verificar a seção Introdução.

arquitetura e Design. Isto é percebido tanto na concepção quanto na execução de construção dos ambientes, onde é verificada uma correlação entre observação e a organização da complexidade na natureza, ou, nas palavras de Schinckel: *'Architecture is the continuation of nature in her constructive activity. This activity is conducted through that natural product: Mankind'*¹⁰⁷ (SCHINCKEL apud BERGDOLL, 2007, p. 49)¹⁰⁸.

Nesta sentença trazida por Bergdoll (2007), torna-se evidente que há uma continuidade na linha evolutiva que posiciona a natureza como ponto de origem, às criações e construções miméticas humanas a partir da experiência com seu meio natural. Verifica-se assim, a importância da validade de sua prática nos setores tecnológicos, bem como sua participação no processo de inovação (DIMAS, 2009).

Através da investigação do Design no campo da transferência de conhecimento, é possível apontar a contínua pesquisa na área acerca da relação com os Domínios Naturais, conforme pode ser verificado com mais detalhes em Pimentel e Brito (2013), e representado na Figura 30:

Figura 30 - Análise da construção da seção áurea sob a anatomia da cabeça da formiga *Atta sp.* com base no conceito de Dinergia apresentado em Dorczy (2012)



Fonte: Pimentel e Brito (2013)

¹⁰⁷Arquitetura é a continuação da natureza em sua atividade construtiva. Esta atividade é conduzida através de seu produto natural: humanidade – Traduzido pelo autor.

¹⁰⁸Schinkel, Karl Friedrich. Das Architektonische Lehrbuch (O livro da arquitetura); Tradução de Goerd Peschken. München/Berlin 1979.

Do ponto de vista do Design, o objeto de pesquisa investigado está intrinsecamente ligado aos Domínios Naturais, não podendo ser analisado sem os devidos conceitos e entraves da área, de forma a apontar uma compatibilidade projetual com necessidades humanas e a sustentabilidade, através de uma afirmativa focada na investigação dos problemas da geração de resíduos sólidos orgânicos submetidos ao processo de compostagem.

Ao propor uma concepção de diretrizes baseada na investigação das contribuições dos Domínios Naturais ao Design, a aproximação conceitual nesta pesquisa se dará com a grande área da bioinspiração (DIMAS, 2009), a onde está aportado o *'nature design'* (URSPRUNG, 2007), conforme apresentado anteriormente, não de forma a delimitar um atrelamento definitivo, mas de maneira a abrir procedência para pesquisas futuras mediante a fundamentação teórica.

Ao lidar com o *'nature design'* (URSPRUNG, 2007), percebe-se a estreita relação conceitual da área com o objeto de pesquisa, ao realizar o empréstimo para transferência de conhecimento a ser aplicado na forma de projeto, em etapas da prática de projeto. Tal relação se dá a partir da intrínseca estruturação do paradigma da artificialidade, em um modelo conceitual que divide as realizações circundantes oriundas, em: i) geradas pelas Ciências do Artificial, e ii) produzidas e organizadas em outras formas de sistematização (SIMON, 1996).

Porém, resta a indagação (SACHS, 2007): se fôssemos incapazes de lidar com a natureza como a encontramos, e sem causar danos permanentes, como podemos manipulá-la melhor?

Tal forma de organizar o modelo conceitual para transferência de conhecimento com base em organização e sistematização de dados está diretamente ligada à maneira com que as metáforas utilizadas no desenvolvimento de projetos são aplicadas durante o exercício e investigação do processo de Design, sendo o tema a ser perseguido pelos dois próximos tópicos a seguir, um no âmbito teórico e outro, analítico.

2.8.1 Casos de conhecimento aplicado dos domínios naturais no design

Com o objetivo de retomar as contribuições a partir do estreitamento dos Domínios Naturais para o campo do Design, serão apresentados neste capítulo atuais benefícios recorrentes da ênfase desta relação para a melhor compreensão do objeto de pesquisa compostagem, a partir do exame das possíveis articulações na

automatização do processo de geração de solução em Design biologicamente inspirado.

As considerações apresentadas neste tópico visam contribuir para a validação das decisões de projeto a serem tomadas a partir de fundamentos no campo da teoria entre Domínios Naturais e Sistemas Artificiais, dado um acúmulo informacional a partir do tópico 'Conhecimento aplicado em ambiente de projeto'.

Assim, pretende-se exemplificar a correlação analógica ou metafórica presente no tópico anterior, embasada pela Teoria da Artificialidade (SIMON, 1996). As contribuições dos autores pesquisados advêm de resultados apontados no campo do desenvolvimento de softwares e contribuições no processo de projeto, a partir da geração sistematizada de soluções no processo de Design, e da prática do Design Morfogenético no campo da Arquitetura e Design.

Para tal aquisição, é preciso compreender a reiteração da contribuição básica de Simon (1996) para o campo do desenvolvimento de algoritmos, e, portanto, diretamente pertinente às pesquisas na área de desenvolvimento automatizado de soluções, e para a atividade projetual adicionada de softwares com computação generativa.

Segundo Roudavski (2009), a partir da verificação das várias correntes que utilizam de alguma forma o recurso da bioinspiração em fases dos processos de síntese e Design, é possível categorizar tais correntes bioinspiradas em áreas visuais, conceituais e computacionais. Apesar desta contribuição, o autor aponta que: frente à complexidade conferida na descrição taxonômica dos Domínios Naturais, o desenvolvimento de algoritmos computacionais de morfogênese em biologia ainda apresenta pouca contribuição para a geração de novas abordagens para a pesquisa no campo.

Em Vattam, Helms e Goel (2010) é investigada a questão da analogia durante a transferência de conhecimento em situações de Design biologicamente inspirado. Segundo o autor, a busca por bioinspiração no Design se dá em parte pela necessidade de desenvolvimento sustentável, e reconhecimento da possibilidade de inovação a partir da inspiração na natureza, em um cenário de contínuo desenvolvimento de práticas projetuais tecnológicas, apresentando, contudo, pouca sistematização e transferência de conhecimento.

Com contribuições voltadas à necessidade geração de soluções automatizadas, em Nagel e Stone (2012) é proposta a utilização de *softwares*, de forma a oferecer uma formalização da informação gerada, com objetivo de aprimorar a transferência de

conhecimento que possibilite o desenvolvimento de projetos inspirados biologicamente.

A pesquisa apresenta considerações acerca da verificação dos benefícios alcançados pela investigação em planejamento de Design, a partir de inspiração oferecida pelos Domínios Naturais para a geração de alternativas no desenvolvimento de projeto. É verificado, que, dado a extensão dos conhecimentos necessários para a investigação no campo de transferência dos Domínios Naturais ao desenvolvimento de Design, é demandado do especialista um extenso conhecimento no campo de pesquisa na área (NAGEL; STONE, 2012).

Em Nagel et al. (2010), são apresentadas considerações da contribuição à atividade do designer, mediante o uso de analogias aplicadas a partir de inspiração biologicamente inspirada em Domínios Naturais. Para isso são utilizadas, de forma a estudar a transferência entre ambas as áreas, técnicas que utilizam informação biológica, e conhecimentos da engenharia e geração automática de alternativas por *software*, de maneira a contribuir para o preenchimento de requisitos funcionais de projeto. A metodologia utiliza a geração de conceitos a partir da análise de casos do líquen.

Já em Roudavski (2009), é caracterizada a descrição de uma abordagem híbrida de operacionalização de projetos com bases bioinspiradas (com abordagem morfogenética), mediante a constatação de que a automação computacional com condução humana provém resultados coesos ao desafio projetual. Tal contribuição advém para determinar saídas para situações de projeção consideradas complicadas, em que a partir deste hibridismo, os resultados de difícil compreensão (e, portanto, considerados adversos) são balizados por critérios em nível cultural, social e estético.

Em Vattam, Helms e Goel (2010), verifica-se a correlação direta da presente discussão para o âmbito do desenvolvimento de Design, a partir da automatização de etapas de projeto e desenvolvimento de software, a lidar portanto, diretamente com teorias no substrato do campo computacional.

Segundo o autor, as dimensões dos tipos de analogias são descritas na esfera abstrata do *'porque'*, *'o que'*, *'como'* e *'quando'*. A questão *'porque'* refere-se à tarefa a que a analogia é feita; a questão *'o que'* pertence ao conteúdo do conhecimento na fonte, sendo transferida ao problema-alvo; a questão *'como'* está voltada aos métodos para retribuição analógica, mapeamento e transferência; a questão *'quando'* pertence

à fase da resolução de problemas onde a analogia ocorre (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010).

No processo investigado por Vattam, Helms e Goel (2010), é verificado que o processo de utilização de analogias em Design está baseado em duas fases gerais: i) decomposição do problema, e, ii) analogia. Durante a investigação utilizando um grupo experimental, o alvo proposto voltado à solução de problemas projetuais por meio da bioinspiração, constata que: a utilização de formas multimodais de representação, tais como fotos, diagramas, modelos, gráficos, e equações matemáticas, colaboram durante o processo, contribuindo para compreender a interrelação entre os múltiplos níveis de abstração utilizados durante as etapas conceituais de projeto.

Em uma síntese do processo de Design obtido a partir da análise do escopo de projeto, verifica-se que as atividades do grupo durante o processo experimental de pesquisa se deram em fases, tais quais: i) elaboração e definição do problema; ii) pesquisa por analogias biológicas; iii) redesign; e iv) análise do design obtido (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010).

Esta síntese do desenvolvimento vai além da geração de Design ao redesenhá-lo e avaliá-lo, ou seja, admite etapas comumente verificadas no processo de desenvolvimento de design, contribuindo para a reflexão da atividade, mesmo que não haja compreensão e declaração total acerca do uso de analogias bioinspiradas (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010).

Ao realizar uma análise do processo desenvolvido, as etapas utilizando analogias durante a transferência de conhecimento a partir de Vattam, Helms e Goel (2010), foram:

- i) Mecanismo de analogias: analogias geradas no qual um mecanismo é transferido de uma fonte a outra, de maneira a solucionar um dado problema;
- ii) Analogias para decomposição do problema: analogias geradas onde a transferência produz um conhecimento de como fragmentar um problema complexo em pequenos sub-problemas;
- iii) Analogias de avaliação: utilizadas para inferir se um projeto funciona ou não;
- iv) Analogias explanatórias: considerado um espaço para interlocução e compreensão durante a explanação da hipótese realizada na forma de projeto, dado por comparações da atividade com outras formas de pesquisa

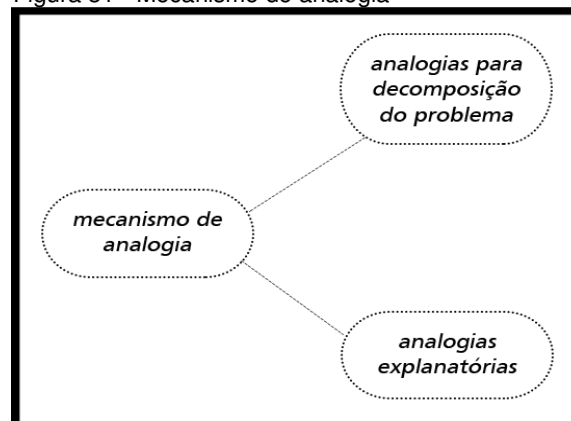
realizada, tal como papers e teorias, servindo diretamente à justificação da hipótese central da pesquisa e construção teórica.

Especificamente para o acompanhamento da etapa de transferência de conhecimento (VATTAM; HELMS; GOEL 2010), foram verificadas formas de contribuição para a investigação da aplicação de analogias em Design durante os projetos desenvolvidos, a partir de:

- i) Método de transferência direta: adaptando soluções de um problema-fonte a um problema-alvo;
- ii) Modelo de direcionamento de esquema: onde a transferência é verificada na elaboração esquemática de problemas, a partir da verificação de tecnologias existentes, por exemplo;
- iii) Modelo de transformação do problema: dado a necessidade em re-estruturar o problema mediante análise de casos e estratégias, de forma a planejar um novo método analógico;
- iv) Modelo de alvo deferido: quando o problema de projeto é hibernado, dado a percepção de que o mesmo carece de compreensão, sendo acionado mediante futuras comparações com teorias já existentes;
- v) Modelo de analogia compositiva: aplicado em função da necessidade de representar o problema a partir de modalidades diversas.

Acredita-se que a possibilidade de correlação entre as práticas essenciais para o uso de analogias apontadas em Vattam, Helms e Goel (2010), pode ser descrita segundo a articulação esquemática na Figura 31:

Figura 31 - Mecanismo de analogia



Fonte: O autor (2015)

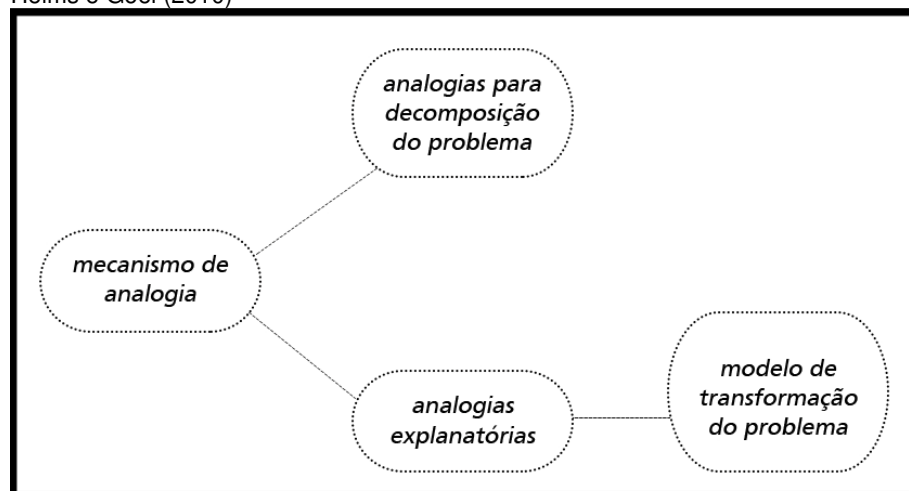
A importância destas práticas para o quadro da presente pesquisa se dá mediante o estudo do objeto de pesquisa investigado, nas estâncias:

- i) Mecanismo de analogia (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), de forma a reiterar a afirmação do benefício da utilização da compostagem em práticas de destinação final de resíduos sólidos orgânicos;
- ii) Analogias para decomposição do problema (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), de forma a organizar e descrever o sistema vivo da compostagem para uma utilidade na prática de projeção;
- iii) Analogias explanatórias (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), de maneira a possibilitar o intercâmbio entre os modelos teóricos estudados a partir das diversas áreas, tais como os saberes de sistematização da prática projetual e os de ordem do Domínio Natural, descritos por teorias do campo biológico.

Como a realização do sumário de atividades de pesquisa requer a utilização de outras teorias dentro do universo das necessidades apresentadas para o desenvolvimento do projeto, considera-se a inclusão de um quarto recurso: iv) modelo de transformação do problema (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010).

A inclusão deste recurso é necessária dado sua relação direta com a utilização de analogias explanatórias (iii) (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), de forma a contribuir para reestruturar o problema mediante análise de casos e estratégias, conforme apresentado na Figura 32, e de modo a possibilitar um planejamento alternativo a ser útil em uma futura fase de modelagem, a ser apresentada.

Figura 32 - Mecanismo de articulação entre as analogias a partir de Vattam, Helms e Goel (2010)



Fonte: O autor (2015)

Mediante incursões mais aprofundadas na utilização do software em etapas automatizadas de projeto, em Nagel e Stone (2012) é constatada a necessidade de uma base bem-sucedida de fontes de soluções desenvolvidas no campo da engenharia, a ser indexada para consulta em etapas de planejamento da função, como verificado na utilização do modelo Thesaurus, baseado em dados estruturados sob validação científica.

Os benefícios da utilização de modelos como o Thesaurus seguem a linha da otimização de soluções, ao estreitar a interação do usuário (projetista) com as fontes pesquisadas durante a consulta a partir de uma base de dados de conhecimentos retirados dos Domínios Naturais, de maneira a aumentar a probabilidade de criação de projetos inovadores. As áreas contempladas pela aplicação compreendem inspiração em Design, compreensão da informação biológica, modelagem das funções, Design criativo, e geração de conceito (NAGEL; STONE, 2012).

Segundo os autores, o trabalho na área do Design computacional inspirado biologicamente, envolve necessidades por desenvolver a criação de base de dados, software, e métodos de busca. Dentre as áreas particulares verificadas na pesquisa para o desenvolvimento, verificam-se: repositório de Design, lógica descritiva, sub-conceituação, mecanismos de inferência, e pesquisa em bases biológicas utilizando palavras-chaves (NAGEL; STONE, 2012).

O desenvolvimento de modelagem voltada à representação funcional, demanda, segundo as bases pesquisadas por Nagel e Stone (2012): *'In the functional basis lexicon, a function represents an action or transformation (verb) being carried out, and a flow represents the type (noun), material, signal, or energy, passing through the functions of the system'* (NAGEL; STONE, 2012, p. 163)¹⁰⁹.

Tal necessidade de especificação de fluxos e funções investigadas no processo de transferência baseada na relação verbo-nominal verificados por Nagel e Stone (2012), recebe organização similar a práticas de desdobramento de requisitos de projeto como pode ser analisado em Tomiyama et al. (2009), Pimentel, Santos e Silva (2012), dado a necessidade de especificação de conhecimento em nível secundário e terciário, conforme pode ser verificado na Quadro 4. Tal quadro será diretamente útil para aquisição das especificações acerca dos processos inerentes a compostagem:

¹⁰⁹ Traduzido pelo autor desta pesquisa: *uma base léxica funcional, onde a função representa uma ação ou transformação (verbo) sendo levada a cabo, enquanto fluxo representa o tipo (nome), matéria, envio de sinal ou energia, passando através das funções do sistema.*

Quadro 4 - Termos funcionais de base

Termos funcionais de base			
Classe	Secundária	Terciária	Correspondentes biológicos
Material	Líquidos	Objeto	Ácido, auxina, cytoquinina, glicerol, piruvato
	Sólidos		Cílios, rim, melatonina, néfron, xilema
Energia Ramificação	Mistura	Comósito	Enzima, nucleotídeo, procariotes, simplasto
	Químico	Sólido-líquido	Célula, lipídeo, fotocromo, pigmento, plastídeo
	Separar	Dividido	Glucose, glicogênio, mitocôndria, açúcar
Conectar Controlar magnitude	Dupla		Aneuploidia, divagem, citonese, metáfase
	Regular		Ligação, construção, associação, fosforilato
			Entrada, eletroforese, respiração

Fonte: Adaptado de Nagel e Stone (2012)

Segundo Nagel et al. (2010), para a modelagem informacional dos domínios biológicos, compreende-se a necessidade de caracterização de seus âmbitos em categorias tais como a fisiologia, morfologia, estrutura, ou aprendizado de um novo comportamento, de forma a obedecer ações instintivas de proteção, reprodução e sustentabilidade, dado a interação do organismo vivo de maneira adaptativa com seu meio.

As tais categorias são destinadas para as seguintes áreas de pesquisa:

- i) Fisiologia: funções vitais e atividades de um organismo;
- ii) Morfologia: forma e estrutura de um organismo e associações entre as estruturas do mesmo;
- iii) Comportamento: soma das respostas de um organismo a um estímulo externo ou interno;
- iv) Estratégia: comportamento genérico exibido ao longo dos níveis biológicos para atingir objetivos relacionados à sobrevivência.

O detalhamento dos níveis biológicos contribui para delimitar o modelo funcional de um sistema biológico completo, dado sua implicância no nível conceitual para as ferramentas do planejamento em Design (NAGEL et al., 2010). Os modelos biológicos, segundo verificado pelo autor da pesquisa, seguem a seguinte ordem:

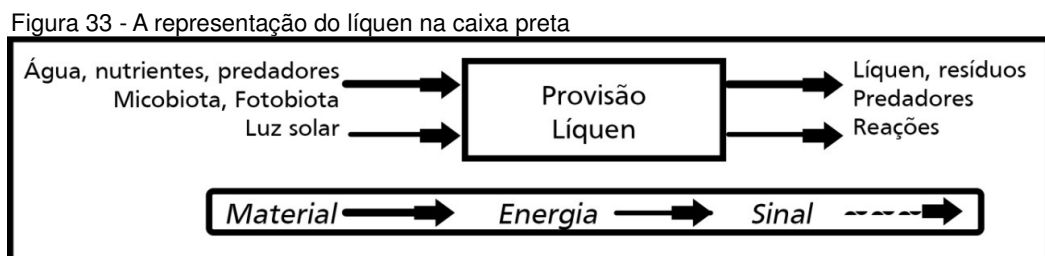
- i) Atômico;
- ii) Molecular;
- iii) Complexos moleculares;
- iv) Subcelulares;
- v) Celulares;

- vi) Sistemas multicelulares;
- vii) Tecidos;
- viii) Órgãos;
- ix) Sistemas;
- x) Organismos;
- xi) Populações;
- xii) Comportamento.

Em acordo com o levantamento de dados realizado, é possível afirmar que a proporção da representação a ser utilizada na descrição do modelo biológico do processo de compostagem na fase de modelagem, utiliza uma configuração na ordem de complexos moleculares (iii), dado as considerações acerca do tema realizadas entre os capítulos 'Compostagem' a 'Dados complementares para a modelagem de simulação do processo de compostagem'. É verificada a possibilidade em utilizar apenas uma escala biológica nas diretrizes de projeção, sem correlacionar-se todas (NAGEL et al., 2010).

A relação simbiótica pesquisada pelo modelo analógico do líquen por Nagel, et al. (2010), é caracterizada em termos gerais mediante a relação entre organismo (fotobiota e microbiota), órgão (produção e retenção de carboidrato), e escalas biológicas das interações realizadas por estes seres vivos, para que sejam apontados conceitualmente os produtos a serem desenvolvidos e sua forma de interação, por exemplo.

Desta forma, é delimitado um modelo conceitual da relação funcional a ser perseguida pelo desenvolvimento de produto, conforme apresentado por Nagel e Stone (2012) no gráfico da Figura 33:



Fonte: Adaptado de Nagel et al.(2010) pelo autor

A descrição do fluxo de sinal, material e energia pode ser verificado em Amaral et al. (2006), a partir da referência:

Sinal pode ser considerado como a forma física na qual a informação é transportada. Os sinais podem ser preparados, recebidos, comparados, combinados, transmitidos, mostrados ou gravados. Material possui propriedades de forma, massa, cor, condições etc. Materiais podem ser misturados, separados, mudados quimicamente. A energia é a responsável pelo transporte ou transformação de matéria e sinal; normalmente é considerada em suas formas manifestas, tais como: elétrica, cinética, magnética, calor e óptica. Para que algo ocorra, deve existir um fluxo de energia entrando e saindo no sistema. Ainda, a energia deve ser conservada, ou seja, a energia que entra em um sistema deve sair ou armazenada (AMARAL et al., 2006, p. 241)

Amaral et al. (2006) apresenta ainda diretrizes a servirem de roteiro para a elaboração da função total, a partir de especificações-meta do produto, como já abordado no tópico ‘Conhecimento aplicado em ambiente de projeto’:

1) Localizar, dentre as especificações-meta, aquelas que dizem respeito às funções do produto; 2) Detectar, nessas especificações funcionais, as principais entradas e saídas do sistema em termos de fluxos de energia, material e sinal; 3) Estabelecer os estados das principais entradas e saídas listadas no item anterior; 4) Detectar, dentre os fluxos listados, quais os fluxos principais de entrada e de saída do sistema; 5) Do relacionamento entre os fluxos principais de entrada e de saída do sistema (e de seus estados), tentar expressar a função total em termos de um par verbo + substantivos; 6) Representar dados levantados nos itens anteriores na forma de um diagrama de blocos (AMARAL et al., 2006, p. 240).

Na pesquisa realizada por Nagel, et al.(2010), são verificadas etapas importantes para o delineamento de realização para uma metodologia a ser apresentada em etapas posteriores nesta realização, de forma a explicitar a utilização do conhecimento em tomadas de decisão, em que é necessário:

- i) Um alinhamento teórico com estudos no campo da engenharia, de forma a apresentar boa compreensão do assunto no campo da estratégia, comportamento, psicologia e morfologia do sistema biológico em questão: verifica-se que este desenvolvimento avançado estaria voltado a futuras implementações a serem realizadas no campo de pesquisa em questão;
- ii) Uma investigação do sistema biológico a partir das fontes pesquisadas, por meio de análise feita em campo, análise de literatura, e em estudos de investigação na área do planejamento funcional de produto, como verificado a nas informações acerca do modelo Thesaurus;
- iii) O apontamento de uma questão teórica fundamental, capaz de nortear o problema de engenharia em direção a uma solução no planejamento funcional do produto: a ser verificada a partir do próximo capítulo deste relatório ‘Considerações iniciais para compreender a simulação’;

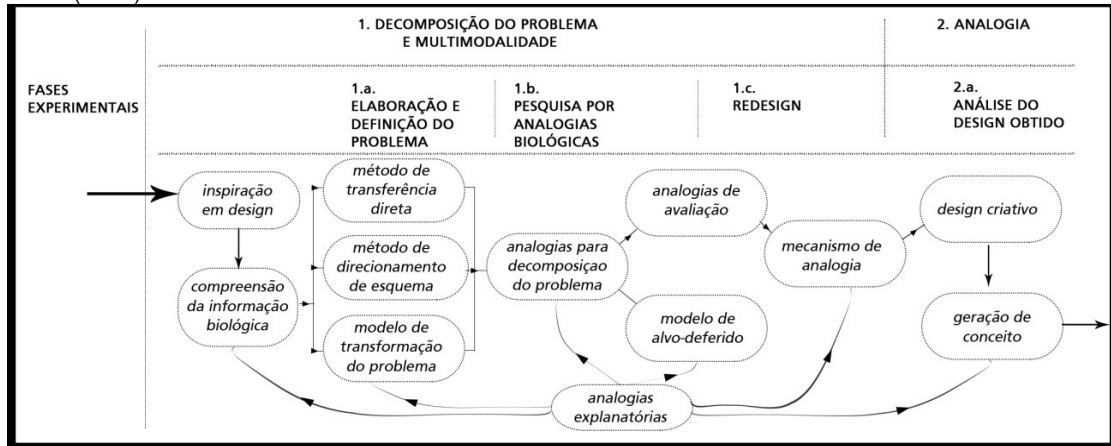
- iv) A definição da categoria conceitual do modelo funcional, a partir de uma comparação com diferentes pontos de vista avaliados com base em análise de literatura, de forma a determinar quais teorias respondem à pergunta de Design de forma apropriada: tal contribuição será verificada nesta pesquisa, dado a relação imbricada entre as áreas de investigação na intersecção entre Domínios Naturais, Sistemas Artificiais, simulação e compostagem;
- v) Definição da escala desejada para o modelo, a partir da modelagem funcional da caixa preta, e mediante compreensão da base léxica. Tal diretriz demanda uma investigação conceitual acerca do que ocorre na escala biológica, assim como os eventos sequenciais e paralelos concomitantes ao marco do processo principal para a investigação funcional do produto, de forma a atingir a funcionalidade conceitual apontada pelo modelo;
- vi) Desenvolvimento de um modelo funcional do sistema biológico delimitado pela questão teórica norteadora, categoria biológica e escala biológica; utilização de modelos de investigação na área tal como o Thesaurus, para definição das funções mais representativas ao sistema biológico; verificação das funções implicadas em ações de transferência, transmissão e condução; evitar mesclar função da estrutura de suporte com centro da funcionalidade de interesse do modelo funcional; utilização de software que permita rápido rearranjo dos blocos de forma a tornar o processo mais rápido;
- vii) Validação do modelo funcional contra a questão norteadora apresentada pelo modelo da caixa preta: etapa a ser verificada em fases de investigação do campo funcional a ser apresentada em etapas posteriores desta pesquisa.

Para esquematizar este percurso na geração de design biologicamente inspirado, são apresentados dois esquemas: Quadro 9 (Apêndice) e Figura 34, de maneira a sintetizar as contribuições de Vattam, Helms e Goel (2010) e Nagel e Stone (2012). O primeiro abrange a locação das práticas de utilização de analogias e sua relação com a pregnância metafórica, enquanto o segundo possui uma abordagem voltada à simplificação, útil em fins de descrição e voltado ao ensino e entendimento.

Mediante a contribuição dos autores verificada, é possível comentar que os tipos de analogias apontadas para a utilidade em estruturação de problemas na forma de analogias para decomposição do problema (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), e analogias de avaliação (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), estão baseadas diretamente

na articulação com a abstração, a partir da preguinância verbo-nominal fundamentada na esfera metafórica de tais processos, na forma de *'como'* estes se dão:

Figura 34 - Esquema sintético da contribuição de Dimas (2009), Vattam, Helms e Goel (2010) e Nagel e Stone (2012)



Fonte: O autor (2015)

Em suma, é possível apontar que a terminação utilizada para apontar a definição de 'mecanismo de analogia', abrange dimensões, modelos, métodos, tipos de analogias: enfim, um apanhado de possibilidades úteis durante o processo de desenvolvimento de geração de soluções, a partir da utilização de metáforas.

Em termos de processos gerativos formalizados durante o desenvolvimento de Design a partir de Nagel e Stone (2012), como exemplo da aplicabilidade verificada a partir da utilização do modelo Thesaurus na pesquisa, são verificadas as marcas no processo:

- i) Ocorre a necessidade por definir e converter necessidades do usuário em termos de projeto;
- ii) Houve o desenvolvimento de um modelo conceitual ou novo produto desejado, sendo submetido a um processo de redesign com base no fundamento léxico já descrito;
- iii) No novo modelo funcional, há a representação de vários pares de função-fluxo: tais pares podem servir de material para a investigação no campo da bioinspiração a partir do fundamento léxico.

As probabilidades de sucesso na geração de alternativas conceituais a partir da utilização do Thesaurus no campo de Design biologicamente inspirado são avaliadas através de uma comparação e validação por meio de uma base de dados

posteriormente pesquisada, de forma que a taxa de acerto alcança 33% para o caso pesquisado por Nagel e Stone (2012).

A continuar com a descrição dos benefícios de utilização de conhecimento dado o recorte aplicado neste trabalho relacionado aos Domínios Naturais, verifica-se que complementarmente na Arquitetura, a Morfogênese Computacional é entendida como um grupo de métodos aplicados no meio digital que não correspondem somente à utilização de ferramentas do campo visual, mas também aplicam ferramentas generativas para a derivação da forma e transformação, com certo grau de relação com a aspiração da expressão na forma construída (ROUDAVSKI, 2009), inspiração.

Complementarmente, são percebidos em sua constituição os benefícios de estruturação em um quadro funcional complexo e simultâneo, contando também com abordagens responsivas, obtendo-se assim, resultados mais flexíveis e ambientalmente coesos (ROUDAVSKI, 2009).

Roudavski (2009) aponta os benefícios no campo da arquitetura a partir da aquisição da compreensão da Morfogenética:

- i) Aumento da pesquisa no suporte por extra complexidade;
- ii) Aumento dos benefícios da ordem da criatividade, incluindo a criação de algoritmos com visualização;
- iii) Criação de ambiente para experimentação a salvo, e com flexibilidade;
- iv) Integração procedural com simulação ambiental, avaliação e ferramentas de design;
- v) Possibilita uma habilidade de ajuste do Design em diferentes pontos da cadeia de procedimentos, sem dissociações e com grande flexibilidade;
- vi) A utilização de estruturas celulares adaptáveis possui benefícios na arquitetura, tal como a utilização dos padrões 3D Voronoi.

Roudavski (2009) descreve que o potencial de investigação no campo da morfogênese aponta diretamente ao controle genético, apesar de estar mais vinculada à investigação no campo de desenvolvimento de modelos conceituais, que descrevem a locação correta em termos de métodos com contribuições estruturais e funcionais corretas.

De modo a finalizar este tópico que descreve as possibilidades de utilização de conhecimento aplicado em projeto, a partir de uma contribuição de Oxman e Oxman (2010), a ferramenta generativa Grasshopper® é caracterizada junto ao Generative Components® de Bentley Systems® como ferramenta capaz de desenhar processos

que prescindem das transferências para a realização de Design Morfogenético, como verificado na nota abaixo, dos autores:

Media for the generative and iterative design of structuring that can produce the geometric representation of topological evolution. In recent years the Smart Geometry Group has done much to promote these innovative design techniques through its international conferences and teaching workshops (OXMAN; OXMAN, 2010)¹¹⁰.

A próxima seção pretende delimitar a aplicação da coleta de dados realizada até esta presente etapa da pesquisa, de forma a apresentar contribuições e considerações relevantes para o processo de simulação da compostagem, a partir da modelagem algorítmica do desenho paramétrico e posteriores etapas de projeção.

2.9 Considerações iniciais para compreender a simulação

A partir deste tópico, e terminando no tópico ‘Desenvolvimento metodológico do estudo’, o acúmulo de informações realizado pela revisão realizada na fundamentação teórica será sintetizado para melhor aplicar um delineamento em etapas de exame das teorias propostas neste relatório, bem como para formação de critérios de decisão na atividade projetual.

Compreende-se que a simulação a ser proposta como atividade projetual neste relatório, é descrita como sendo conduzida por agentes híbridos, dada a interação entre o processo automatizado e decisões humanas de projetos, como caracterizado em Nardelli (2007), e Ören (2009). Roudavski (2009) aponta que a automação computacional com condução humana provém resultados coesos com o nível de dificuldade verificado na relação entre estruturação do problema e desenvolvimento de soluções.

Em Nagel e Stone (2012), os autores apontam a otimização do processo de desenvolvimento de soluções de não eliminar a contribuição da incursão do profissional de Design na atividade investigativa, mediante a nota:

Contudo, para sintetizar conceitos seguindo esta abordagem, o designer precisa voltar-se às soluções para inspiração. Fenômenos biológicos são caminhos naturais relevantes à função de detecção dos designers, de maneira a formular conexões e inspirar uma solução sensível na engenharia (NAGEL; STONE, 2012, p. 172).

¹¹⁰ Traduzido pelo autor: meios de estruturação do design generativo e interativo que podem produzir a representação geométrica da evolução topológica. Em anos recentes, o Grupo Smartgeometry tem realizado muito para promover estas técnicas inovadoras de design através de conferências internacionais e workshops de ensino.

Simulações tais estas a serem implementadas como procedimento descrito a partir deste relatório, por Sokolowski e Banks (2009) são descritas como realizações de aplicação quando se tornam impossíveis ou mesmo inacessíveis aos estudos do sistema na escala real de eventos. Tal realização é plausível também, dado possibilidades em verificar e avaliar as questões teóricas pertinentes ao ambiente de simulação, inúmeras vezes, e mesmo decretar o fim ou o limite da operação de modo afunilar etapas derivativas de pesquisa a outros processos de avaliação (SOKOLOWSKI; BANKS, 2009).

Sendo assim, a partir desta necessidade, o computador será utilizado para operar através da modelação algorítmica do desenho paramétrico, no desenho de representações do comportamento simulado do processo de compostagem. Acerca de softwares que realizam modelagem paramétrica como o Generative Components® e o Grasshopper®, Pimentel et al. (2013a) frisa que:

O desenho paramétrico apresenta um contínuo desenvolvimento de benefícios ao desenho digital de design, engenharia e arquitetura, que gradativamente, se aproxima dos artefatos de uso cotidiano, encontrando na modelagem de representação uma ferramenta didática, reflexiva, discursiva, investigativa, e para todos os casos, complexa, apta a ser posta á prova como potencial desenvolvedor de bons resultados na descrição de conhecimento pelo design (PIMENTEL et al., 2013a, p. 11)¹¹¹.

Complementarmente é verificado a partir de Perros (2003), a necessidade em descrever marcos detalhados dos processos bioquímicos que caracterizam a compostagem, conforme apresentado nos tópicos descritos a partir de 'Compostagem' a 'Biodegradabilidade no processo de compostagem', para possibilitar a organização conceitual dos dados levantados para o desenvolvimento da simulação, como pode ser verificado no Quadro 8 deste relatório.

Tal descrição parte da necessidade em haver congruência entre a situação real e o assentamento de decisões no ambiente de projeto, como verificado no tipo de raciocínio subjacente em etapas de *gates* verificados no desenvolvimento de produto, apresentado por Amaral et al. (2006), no tópico 'Conhecimento aplicado em projeto'.

O recurso do modelo de transformação do problema como descrito por Vattam, Helms e Goel (2010), é verificado na estruturação conceitual para modelar a simulação da compostagem, a partir dos dados utilizados para descrever o comportamento do processo.

¹¹¹ Traduzido pelo autor.

Tais dados também apresentam acordo com a contribuição de Nagel et al. (2010), acerca das categorias de pesquisa com base na Bioinspiração em uma contribuição inicialmente descrita em Dimas (2009) no tópico 'Domínios Naturais'. Um resultado de síntese gerado a partir da correlação entre ambos esquemas será apresentado em etapas posteriores.

Tal capacidade em transformar o problema (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010) de um processo do campo da biodegradação para uma possível descrição utilizando operações que um designer realiza, possibilita descrever o comportamento biofísico e metabólico compreendido, bem como aspectos relacionados à compreensão da forma, estruturas e associações, contribuindo no nível informacional para a formação de requisitos utilizados em projeto, como já apontado na contribuição de Amaral et al. (2006) em 'Conhecimento aplicado em projeto'.

2.9.1 Tipologia da simulação

Caracterizada uma proposta projetual com agentes híbridos conforme a revisão proposta no tópico 'Simulação', a partir da contribuição de ÖREN (2009), será proposta a utilização de um processo de Modelagem e Simulação também, denominado por 'M & S' entre as atividades compreendidas em um sumário projetual. A calibração de um modelo de simulação, em Reynolds Jr (2008), é descrita como processo multifásico com reiterada entrada de novos valores, de maneira aprimorar a qualidade realista do processo simulado.

É dito haver experimentação no processo de M & S, quando o comportamento do modelo é alterado sob condições que excedem os limites de projeto da simulação (ÖREN, 2009, REYNOLDS JR, 2008). Segundo os autores a M & S compreende a execução das etapas:

- i) Criação de um modelo de simulação;
- ii) Calibração, repetição e observação do modelo;
- iii) Geração e teste de hipóteses, a partir da observação repetida;

Utilizando a contribuição de Webb (2013) a partir da possibilidade da entrada de grande quantidade de dados, é considerada a aplicação de suavização e simplificação do ambiente computacional de simulação, diferenciando abordagens do tipo: i) utilizando simulacro; e, ii) utilizando a simulação como computação de marcos processuais mais próxima ao processo analógico original.

A escala apropriada utilizada para descrever determinadas fases do processo de compostagem na etapa de modelagem, utiliza informações da ordem dos sistemas moleculares, possível por uma procedência aberta por Nagel et al (2010) no campo de escalas estudadas na Bioinspiração, verificada como útil em procedimentos de ensino no campo da telemática, segundo uma compreensão de Giordan e Góis (2004) e Buttigieg (2010).

A possibilidade desta interação entre as áreas conceituais de ensino e projeção nesta pesquisa, em função de uma recorrência com o tipo de descrição verificada na revisão teórica a partir da contribuição correlata dos autores Rütten (2006), Agostini, Sundberg e Navia (2012), Sabin, Peters, Peters, 2013.

No tópico a seguir é descrito o tipo de procedimento elaborado para a realização da modelagem de simulação.

2.9.2 Estruturação da relação entre dados e problema

Mediante as informações coletadas na fundamentação teórica, é verificado que a descrição do processo de compostagem em correlação com as etapas práticas de processamento organiza de forma progressiva as fases: i) contenção da compostagem e consecutivo aumento de temperatura; ii) maturação e pico da atividade metabólica, e, iii) avaliação e aplicação do húmus (BUENO MÁRQUEZ; DÍAZ BLANCO; CABRERA CAPITÁN, 2008, GÓMES MENDÉZ, 2009).

Na criação de um modelo de simulação do processo de compostagem, onde são descritos processos controlados visando um resultado total para observação e avaliação (ÖREN, 2009), balizados por uma demanda relacionada com a geração e validação de hipóteses voltadas a promover uma destinação final sustentável de resíduos sólidos orgânicos [Nespolo (2004), Bridi (2008), Gómes Méndez (2009), Puig Arnavat (2011)], consideram-se os:

- i) Elementos discretos (variáveis que mudam independentemente do tempo): controle na proporção da taxa C/N e C/P, granulometria e pH;
- ii) Elementos contínuos (variáveis que mudam continuamente em acordo com o tempo): temperatura, umidade, oxigenação, e, portanto, a biodegradabilidade.

Complementarmente, como marco conceitual inicial, é considerado compostagem a sucessão nas fases do processo com início a partir da biodegradação em fase Mesofílica, com percurso até a estabilização química do composto e formação

de ácido húmico, conforme verificado na fundamentação teórica. Os fatores que incidem com maior contundência no resultado do processo de compostagem em uma primeira análise, são:

- i) Possibilidades de intervenções mecânicas e contenção espacial a incidir diretamente na biodegradação, relacionadas à prática para delimitação do marco inicial do processo [Bertoldi; Vallini; Pera (1982); Trautmann e Krasny (1998), Bongochgetsakul e Ishida (2008), Bueno Márquez; Diaz Blanco; Cabrera Capitán (2008); Jha et al. (2008); Silva et al. (2008); Gómes Méndez (2009); Fialho et al. (2010); Pimentel; Rodrigues; Santos (2011); Mendes (2012); Junior Orrico et al. (2012)];
- ii) Alteração nas proporções dos reagentes do processo: compreendem alteração na taxa de oxigenação, composição da biomassa, taxa de carbono e nitrogênio, portanto, interferem na regulação da taxa de pH [Bertoldi; Vallini; Pêra (1982); Trautmann e Krasny (1998), Santos (2003), Bueno Márquez; Díaz Blanco; Cabrera Capitán (2008); Jha et al. (2008); Gómes Méndez (2009), Pimentel; Rodrigues; Santos, 2011, Orrico Junior et al. (2012)];
- iii) Alteração na composição atmosférica do ambiente: compreende alterações na taxa de oxigenação diretamente percebida na superfície do meio poroso, contribuindo para influenciar o desnível entre as temperaturas interna/externa, e contribuindo para interferir na taxa de pH (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1982; TRAUTMANN; KRASNY, 1998; SILVA et al., 2008).

Porém, a revisão da organização da prioridade no controle de variáveis no processo de compostagem/biodegradabilidade a partir da fundamentação teórica [Bertoldi, Vallini e Pêra (1982); Trautmann e Krasny (1998), Bueno Márquez, Diaz Blanco, Cabrera Capitán (2008); Giusti e Marsili-Libelli (2010), Agostini, Sundberg e Navia (2012); Mendes (2012)], verificou que a demanda pelo controle na proporção da taxa C/N e C/P lidera a lista de prioridades dos experimentos, seguido dos tópicos: i) oxigenação; ii) temperatura; iii) granulometria; iv) pH; v) umidade; e vi) biodegradabilidade.

O quadro 5 apresenta o ranking do tipo de controle utilizado na organização dos estudos no campo da compostagem, visitados pela fundamentação teórica:

Quadro 5: Relação entre frequência e tipo de controle

	Temperatura	Oxigenação	Proporção C/N e C/P	Granulometria	pH	Umidade	Biodegradabilidade
Marques et al (2008)	0	0	2	1	0	0	4
Mendes (2012)	2	2	1	5	4	3	0
Trautmann e Krasny (1998)	0	2	1	0	3	0	0
De Bertoldi et al (1982)	2	1	4	3	5	0	0
Giusti e Marsili-Libelli (2010)	1	4	0	0	3	2	0
Agostini et al (2012)	4	3	6	2	0	0	4

Fonte: O autor (2015)

A tabela apresenta a frequência com que as recomendações para melhor controlar o processo de compostagem são citadas no periódico ou tese, por meio da qual o autor contribui para esta pesquisa. Sendo assim, verifica-se que alterações em nível mecânico na taxa de proporção C/N e C/P são apresentadas com grande relevância no quadro da Biodegradabilidade (AGOSTINI, SUNDBERG E NAVIA, 2012), seguido de alterações das amostras em nível de granulometria (MENDES, 2012), e alteração do pH da reação (BERTOLDI, VALLINI E PÊRA, 1982).

Constatações como esta, servem como critério ao apontar diretrizes que podem ser utilizadas para o balizamento de decisões no processo de projeto com agentes automatizados e humanos, frente a difíceis etapas de avaliações de procedimentos tal como apontado a partir de um marco teórico anterior.

No entanto, ao serem definidos os entraves fundamentais para a realização de uma simulação do processo de compostagem, tal apresentação de critérios apresenta divergência diante do tipo de controle de variáveis apresentada em um exame ampliado da revisão teórica sobre o tema compostagem, uma vez que está baseada em etapas de pesquisa que utilizam o exame de amostragem em análise, ao longo dos marcos no escopo de trabalho.

Ao avaliar amostras oriundas da compostagem em termos de granulometria, oxigenação, temperatura, PH e umidade, é caracterizada a liderança do atributo Controle Mecânico e Contenção Espacial a preconizar diretamente resultados nos atributos de Biodegradabilidade do composto, e portanto, no sucesso do processo de compostagem.

Na simulação virtual do processo de compostagem, no entanto, a avaliação do resultado pode ser apontada diante de processos tais quais a: i) Especificações de transformação do modelo a considerar a inclusão de um sistema descrevendo marcos temporais; e ii) comparação do conjunto de dados com o bom prognóstico da atividade. Os resultados são então acusados frente a uma avaliação prescrita no tópico 'Metodologia'.

Em atividades acadêmicas realizadas anteriormente, Pimentel et al (2013)¹¹² verifica-se que tais marcos decisórios em projeto são similares ao tipo de investigação acerca do desenvolvimento de produto sob a abordagem de PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto), a partir de um afinamento por meio de pontuação, ranqueamento e avaliação.

Em coerência com a demanda pelo controle de modelagem e sua necessidade de alinhamento com o campo de estudo sobre aspectos espaciais da reação, um aprofundamento maior no campo da geometria e investigação da otimização na relação da taxa C/N e C/P [Bertoldi, Vallini e Pêra (1982); Trautmann e Krasny (1998) Santos (2003); Bueno Márquez; Dáz Blanco; Cabrera Capitán (2008); Silva et al., 2008; Fialho et al. (2010)] é demandado.

Complementarmente, a partir de Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008), a organização de dados para a realização de procedimentos de controle e possibilidade de previsão do comportamento do processo de compostagem pode ser realizada da seguinte forma:

- i) Parâmetros de seguimento (podem ser medidos, seguidos e adequados): temperatura, umidade, oxigenação;
- ii) Parâmetros relativos à natureza do substrato (podem ser adequados de forma correta ao início do processo): controle na proporção da taxa C/N e C/P, granulometria, pH e biodegradabilidade.

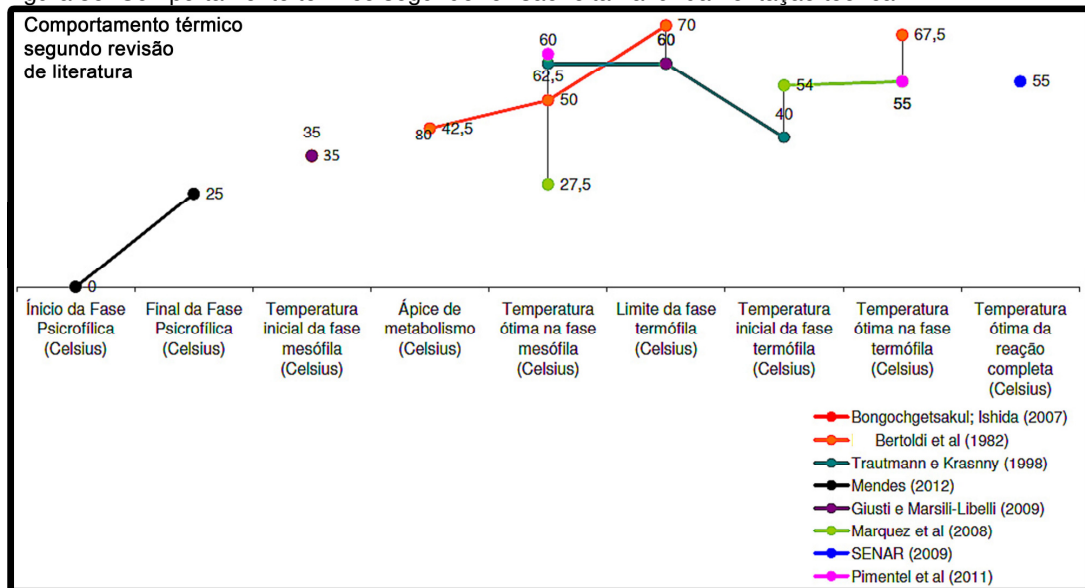
Porém, mediante a revisão realizada, compreende-se que maiores considerações são apresentadas para descrever o comportamento térmico da reação: ao início (GIUSTI-MARSILI-LIBELLI, 2010) e decorrer da etapa Mesófila (BONGOCHGETSAKUL; ISHIDA, 2008); temperatura no início da etapa Termófila

¹¹²PIMENTEL, B.G. S. DEMARCHI, G. S. SILVA, R. P. SILVA, T. L. K. TEIXEIRA, F. S. Descrevendo o percurso de ideação em um experimento em PDP: da geração à avaliação de alternativas. Artigo desenvolvido em Concepções de projeto, orientação Prof. Régio Silva Pierre, Tânia Luisa Koltermann da Silva e Fabio Teixeira. Departamento de Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Design: Mestrado e Doutorado com Concentração em Design e Tecnologia, 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2013.

(TRAUTMANN; KRASNY, 1998, BUENO MÁRQUEZ; DÍAZ BLANCO; CABRERA CAPITÁN, 2008), ápice da atividade metabólica, limite térmico e temperatura ótima na fase mesófila e termófila [Bertoldi, Vallini e Pera, (1982); Trautmann e Krasny (1998), Bueno Márquez, Diaz Blanco e Cabrera Capitán (2008); Gisuti-Marsili-Libelli (2010), Pimentel, Rodrigues e Santos (2011); Mendes (2012)], e temperatura ótima da reação completa de compostagem (SANTOS, 2003).

A figura 35 apresenta um gráfico com tais dados:

Figura 35: Comportamento térmico segundo revisão feita na fundamentação teórica



Fonte: O autor.

Sendo assim, percebe-se que mediante a quantidade de dados no campo térmico, as descrições coletadas na revisão teórica, marco teórico e incursões anteriores no campo de pesquisa, habilitam o direcionamento da modelagem de simulação a partir de um perfil no comportamento térmico do processo de compostagem.

A interligação dos dados sobre o ambiente de degradação com marcos térmico-temporais específicos voltados a descrição do processo de geração do ácido húmico, possibilita determinar ações gerais para contribuir na estruturação descritiva do processo de compostagem.

Tal interligação estrutural para a modelagem da simulação a partir de um critério térmico-temporal se dá mediante a compreensão de uma relação entre as variáveis do tipo endógena-exógena, dependente-independente, e de seguimento-natureza do substrato, da seguinte forma:

- i) Variáveis exógenas são utilizadas como parâmetros de seguimento, pois são variáveis dependentes e podem ser induzidas em qualquer etapa do procedimento. São estas: i) temperatura; ii) umidade; iii) oxigenação e iv) biodegradabilidade;
- ii) Variáveis endógenas são utilizadas como parâmetros de natureza do substrato, segundo a caracterização de independência em conformidade com o tempo e possibilidade de alteração somente no início da reação. São estas: i) controle na proporção da taxa C/N e C/P; ii) granulometria e iii) pH;
- iii) Mediante a compreensão de Perros (2003) acerca da discretização do tempo como um sub-sistema, e a partir da descrição do controle sob as variáveis exógenas em função da temperatura, a simulação pode ser modelada em estado estacionário, pois que não é considerado um progresso das reações em função do tempo. Isto pode ser verificável em outras propostas de simulação, como no *Biomodel* de Bongochgetsakul e Ishida (2008), onde as variáveis de massa, energia, temperatura, composição de água e hidrogênio são descritas em repouso.

Tal estruturação possibilita o apontamento de uma questão projetual fundamental, também utilizada em Nagel et al. (2010): *como o comportamento térmico da compostagem simulado por modelagem algorítmica do desenho paramétrico, contribui para uma compreensão do processo real, de maneira a serem descritos benefícios a partir das contribuições em termos de transferência de conhecimento entre Domínios Naturais e Sistemas Artificiais?*

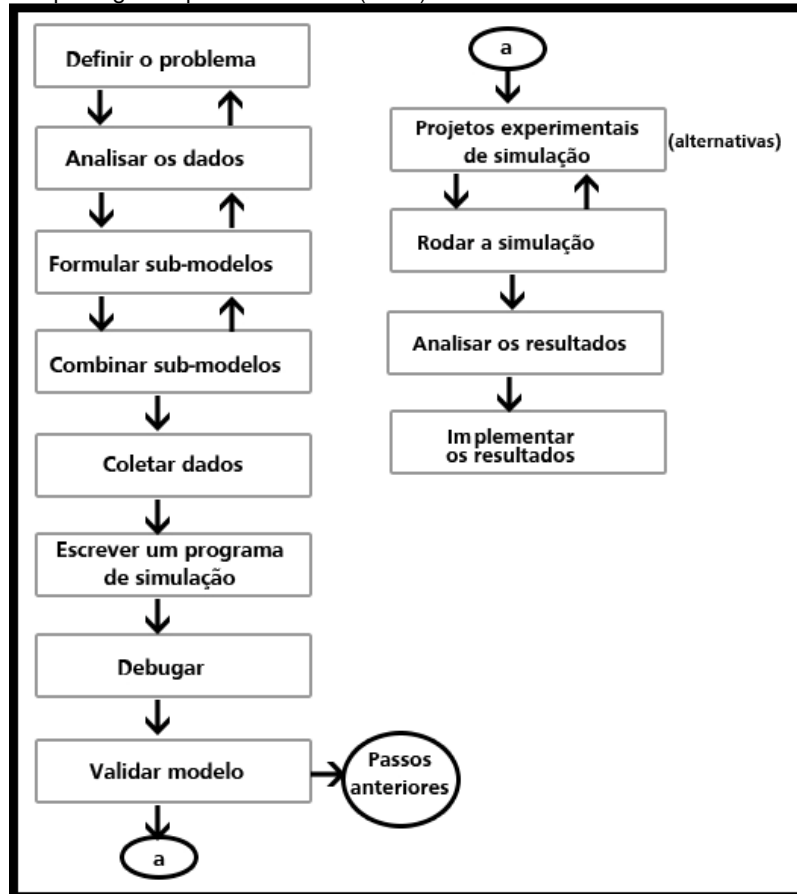
A resposta desta questão a partir da modelagem de simulação são as seguintes: contribuirá para a definição da escala desejada do modelo, contando também para tal com a modelagem conceitual em caixa preta (i), com a descrição dos termos funcionais de base (ii), com a utilização a Bioinformática para resolver pequenos percalços no desenvolver do projeto (iii), e almejando uma compreensão do fundamento conceitual para transferir conhecimento (iv), a partir do processo de compostagem.

O tópico a seguir apresenta considerações sobre as incursões anteriores por simular o processo de compostagem, de forma a apresentar posteriormente uma reflexão aprofundada a partir da calibração da simulação com os dados tratados.

2.9.3 Desenvolvimento metodológico do estudo

Como parte da caracterização deste estudo com atividades desenvolvidas por M & S, reitera-se que o escopo de projeto é delineado em acordo com passos básicos para o desenvolvimento de uma simulação conforme apresentado por Perros (2003) na figura 36:

Figura 36: Desenvolvimento de um estudo de simulação do processo de compostagem a partir de Perros (2003)



Fonte: Adaptado pelo autor.

No recorte contextual apresentado para esta presente pesquisa é verificada a utilização da modelagem paramétrica com Grasshopper®, dentro das funcionalidades oferecidas pela Geometria Inteligente (PETERS, 2013), possibilitando realizar modelagens com nível intermediário de expertise.

Em uma análise para a simulação, é verificado que além da importância Lorenz (1963) para o campo de simulações, o autor pode ser utilizado sob uma ótica da Bioinspiração no campo das Analogias Explanatórias (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), ou seja, de forma não-atrelada ao roteiro das etapas de pesquisa, mas contribuindo para a compreensão do controle de variáveis no ambiente de simulação

no nível da questão norteadora (apresentada ao final do tópico anterior), possibilitando assim o entendimento das necessidades de uma simulação de elementos nos meios porosos, tal como verificado em amostragens de estudo da compostagem (GIUSTI; MARSELI-LIBELLI, 2009; AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012).

É também, verificada em Lorenz (1963) a possibilidade de alguma similaridade com as descrições feitas para a modelagem dos marcos temporais em eventos no campo hidrológico. A utilização de Lorenz (1963), como Analogia Explanatória (VATTAM; HELMS; GOEL, 2010), abre procedência para discutir os benefícios verificados em contrapartidas da utilização de analogias, conforme descrito ao final do tópico 'Casos de conhecimento aplicado dos domínios naturais no design'.

Tal contribuição ajuda a formular questões do tipo: *qual é o tipo de controle que deve ser usado para descrever o comportamento ideal em um processo de compostagem? O apontamento de uma configuração ideal demandaria uma expertise maior para exibir uma condição paramétrica nas etapas das atividades da simulação, possibilitando-a servir como ferramenta de previsão, a partir do controle do processo?*

Dado o acúmulo de informações na área, e alinhamento conceitual para a aquisição da compreensão no nível de problema de projeto, verifica-se uma dificuldade na descrição de um perfil simplificado do comportamento dos marcos temporais em nível de sistema para a modelagem do processo de simulação. Tal dificuldade é verificada também na escolha das variáveis de controle, métodos e ferramentas elencados para realizar a operação.

Complementarmente como verificado também em Cáceres et al. (2013)¹¹³, verifica-se a possibilidade em utilizar um referencial de imagens frente à tomadores de decisão no processo de projeto, de maneira que a formação do critério de decisão voltado à homologar tomadas de decisão no desenvolvimento de projeto seja balizado por um conjuntos de saberes, trazidos à tona pela compreensão de sua modelagem.

Ou seja, uma coleção de dados e descrições multimodais de utilização verificada em Cáceres et al. (2013) no desenvolvimento de projeto, oportuniza o assentamento e entendimento das necessidades perseguidas pelos requisitos de projeto.

Complementarmente, durante a revisão teórica e a partir da compreensão das necessidades do estudo no campo da Bioinspiração (DIMAS, 2009), a compostagem foi investigada para uma compreensão assentada no campo do Design a partir de sua

¹¹³ CÁCERES, Alex González; CENCI, Laline; MUÑOZ, Cristian. Impacto de la Visualización de Información e Interpretación de Gráficas de Herramientas de Simulación Energética en la Toma de Decisiones de Diseño. Anais do XVI Congresso da Sociedade Ibero- - Americana de Gráfica Digital – sigradi (pp. 369- - 372), 2013.

relação com a configuração ambiental no sentido sustentável (BENYUS, 1997, DIMAS, 2009).

Também em Dimas (2009) é apontada nas etapas iniciais da investigação, uma necessidade de descrever uma tipologia no campo cromático e formal para a parametrização do processo, utilizando os critérios: i) cores, ii) estruturas, iii) formas, iv) funções, v) mecanismos e comportamentos. As tipologias formais para a elaboração geométrica escolhida em Pimentel, Bueno e Silva (2013) é apresentada mediante a nota:

sistemas de partículas (nível de complexidade de regras de modelagem alto); ii) pirâmide de base hexagonal (nível de verificação muito baixo); e iii) poliedro (de teor discursivo). A escolha da semi-esfera é apontada por uma razão entre superfície e acumulação de energia, resiliência e entropia (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Com uma importante priorização acerca da base da geometria, onde é verificada a maior necessidade de acumulação de calor, relacionada com a concentração prioritária da atividade metabólica, requisito essencial para os bons resultados em processos de compostagem (NESPOLO, 2004) (PIMENTEL; BUENO; SILVA, 2013)

Complementarmente, ao desenhar um modelo de representação do meio poroso (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012) para simular a biomassa entrando em degradação, é convencionado como marco uma codificação com tipologia usando formas primitivas do desenho digital, onde: '*Carbono = Cubo; Nitrogênio = Pirâmide; Oxigênio = Esfera*' (PIMENTEL; BUENO; SILVA, 2013, p. 8)'. A correlação entre a dificuldade encontrada pelos modelos para descrever o comportamento da transferência de calor distribuída nos meios porosos, reatividade desta superfície, e a avaliação destas informações para realizar uma simulação mais próxima ao processo analógico da compostagem, podem ser verificados anteriormente.

A opção escolhida para controlar a modelagem de simulação a partir do perfil térmico com simplificação, é descrita pelos autores em:

As distribuições normais, também chamada de curva de Gauss, são usadas nas ciências naturais para trabalhar com valores reais de variáveis aleatórias, cujas distribuições não são conhecidas. Uma razão para o seu uso é o teorema do limite central (CASELLA; BERGER, 2001)¹¹⁴, que verifica que a média de um grande número de variáveis aleatórias desenhadas independentemente, é distribuída de forma gaussiana, ou seja, independente da forma da distribuição original (normal) (PIMENTEL; SILVA; BUENO, 2013, p. 6).

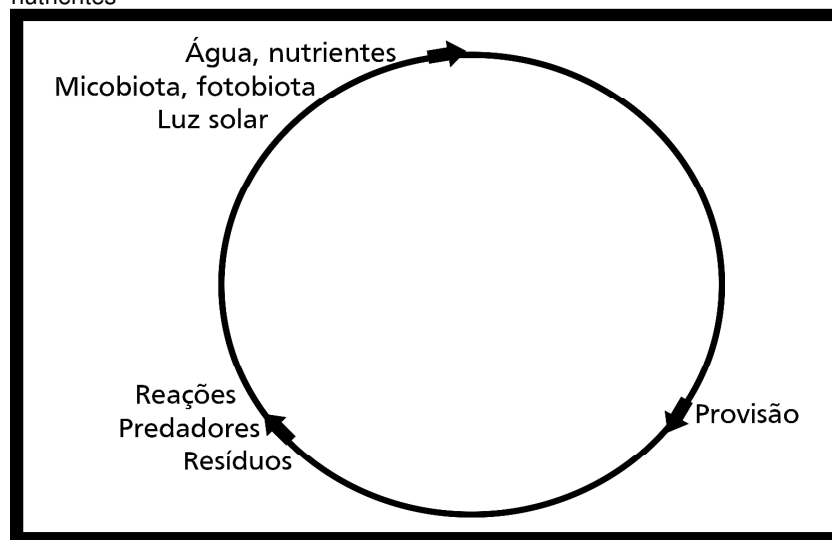
Dado a recorrência de sua utilização por vários autores [Bertoldi, Vallini e Pera (1982); Trautmann e Krasny (1998); Amaral et al (2006); Bongochgetsakul e Ishida (2008); Bueno Márquez, Díaz Blanco e Cabrera Capitán (2008); Costa et al (2009); Gómez Mendéz (2009), Tomiyama et al. (2009) e Nagel et al. (2010)], verifica-se a

¹¹⁴ CASELLA, G; BERGER, R. L. Statistical Inference (2nd ed.). Duxbury: 2001.

necessidade de uma descrição geral do processo de compostagem utilizando o *modelo da caixa preta*, apontando a transformação do fluxo de energia em sinal e matéria, semelhante a realizações no campo do desenvolvimento de produto durante etapas iniciais de projeto.

Um modelo que represente o retorno do sinal e matéria na forma de nutrientes para o início da transformação no sistema, de forma bem compreendida a partir do entendimento acerca da compostagem mediante a revisão teórica (PIMENTEL; RODRIGUES; SANTOS, 2011), é proposto na figura 37:

Figura 37: Modelo do retorno do sinal e matéria na forma de nutrientes



Fonte: O autor.

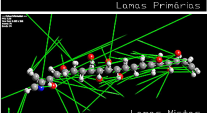
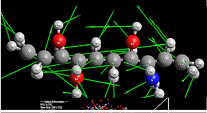
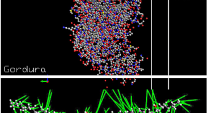
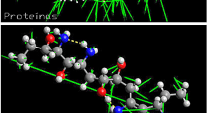
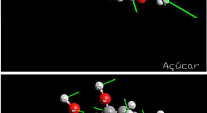
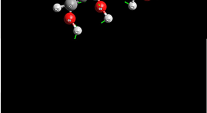

Tais modelos como o descrito acima, contribuem para compreender as diretrizes do sistema e avaliar outros semelhantes no campo conceitual, tal como o *Biomodel*, atualizado em Bongochgetsakul e Ishida (2008). A compreensão de tal descrição geral para o processo da compostagem é detalhada a partir da descrição dos Termos Funcionais de Base, para a compreensão dos marcos do processo apresentado no Quadro 6 a partir da revisão em Nagel e Stone (2012).

Neste quadro o processo é esquematizado a partir da compreensão dos processos bioquímicos atuantes, que metabolizam insumos encontrados através de reações capazes de quebrar ácidos, lamas, madeira, gorduras, proteínas e carboidratos em partes moleculares menores durante a degradação do material orgânico, especialmente conduzido pelo processo de compostagem durante semanas.

No quadro 6 a esquematização é apresentada com auxílio do campo da modelagem molecular, a partir da leitura dos compostos químicos utilizados para

realizar a compostagem. Utilizando o software Avogrado, o resultado pode ser verificado a seguir:

Quadro 6: Declaração dos termos funcionais de base para o processo de compostagem¹¹⁵

Classe	Secundária	Terciária	Correspondentes biológicos	Subprodutos ¹	Subprodutos ²	Visualização	
Material	Líquidos		Ácidos	Amônia	NO ₃ ⁻ , OH ⁻		
			Lamas primárias (pH de aprox. 5)		CaCO ₃ , N, P, K, Al, As, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Se, Zn		
	Sólidos	Objeto	Lamas mistas (pH de aprox. 12)			C, P, K, Ca, Mg	
			Madeira	Celulose	Hemicelulose, Lignina		
Energia	Gasosos		Gorduras	Ácidos graxos, óleos	Lipídeos, óleos, açoís		
			Proteínas	Carboidratos	Amido, glicogênio, celulose, quitina		
			Aminoácidos				
Ramificação	Quebra	Glicólise, ATP, Ciclo de Krebs	Carboidratos	Glicose, Galactose, Fosfato	ATP		
Conectar	Dupla	Microagregação					
Controlar magnitude	Otimização na relação da taxa C/N e C/P	Revolvimento, aquecimento, aeração					

Fonte: O autor.

Verifica-se que a compreensão dos termos descritos neste quadro possibilitará a busca de conhecimentos que estão ausentes na coleta de dados desta pesquisa, e podem preencher necessidades e auxiliar no apontamento de requisitos para a modelagem de simulação em etapas posteriores.

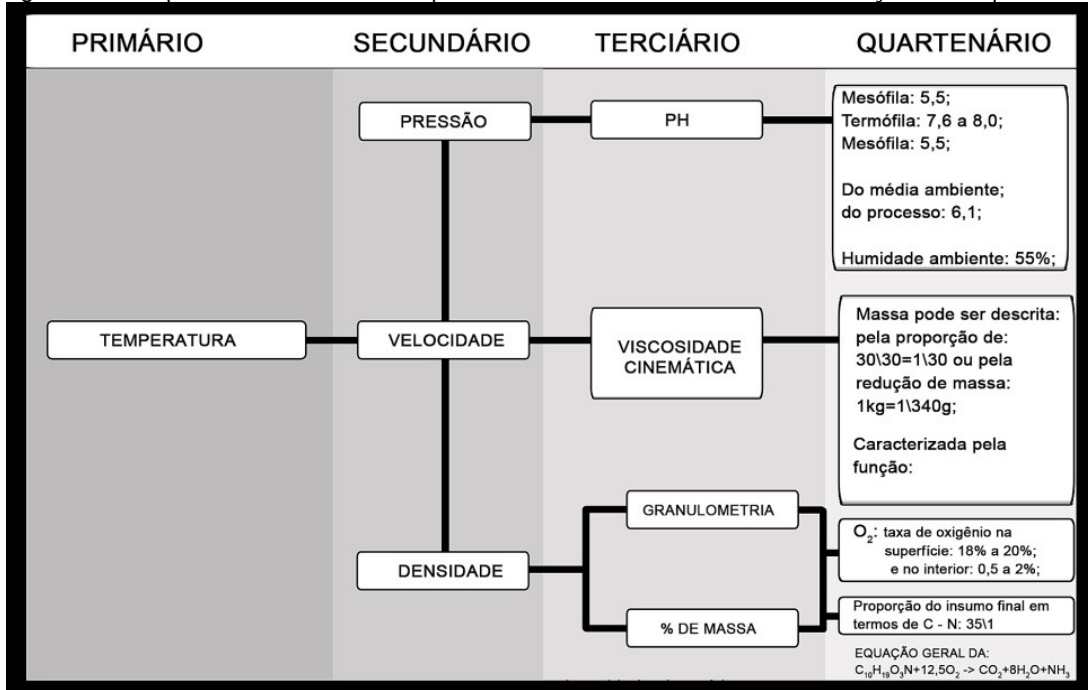
A recorrência do tipo de controle descrito anteriormente possibilitado pela estruturação e ranqueamento de dados, também pode ser visualizada na apresentação do esquema na Figura 38, com organização similar.

Complementar ao Quadro 6 esta figura correlaciona conceitualmente variáveis físicas diretamente envolvidas no comportamento da compostagem, aonde a

¹¹⁵ A visualização do modelo para a molécula de madeira é um download da database de DOMÍNGUEZ, Roberto et al. The crystal structure of a family 5 endoglucanase mutant in complexed and uncomplexed forms reveals an induced fit activation mechanism. **Journal of molecular biology**, v. 257, n. 5, p. 1042-1051, 1996.

temperatura adquire função de controle sobre processos secundários como pressão, velocidade e densidade, de maneira esquematizar de forma simplificada a evolução térmica da reação e a redução volumétrica realizada pela degradação:

Figura 38: Compreensão do processo – Controle das variáveis em função do tempo



Fonte: Pimentel, Bueno e Silva (2013)

Sendo assim, ao apresentar tais modelos intermediários a partir da aplicação do conhecimento adquirido com a fundamentação teórica desenvolvida neste relatório, é verificada a possibilidade de geração de dados para avaliação por modalidades diferentes de representação e organização (WEBB, 2013), com a finalidade de estruturar e contribuir para o processo de simulação da compostagem, a ser apresentado após o próximo tópico.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

De forma a delimitar uma orientação para as etapas de pesquisas que foram realizadas, realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca do tema processo de compostagem, a investigá-lo do ponto de vista do desenvolvimento de projetos.

Para tal, foi verificado um total de oito publicações entre livros e dissertações [Trautmann e Krany (1998), Peluso (2002), Nespolo (2004), Bridi (2008), Manzini e Vessoli (2008), Gómes Méndez (2009), Puig Arnavat (2011), Mendes (2012)], onze artigos de periódicos com importância internacional [Lorenz (1963), Bertoldi, Vallini e Pêra (1983), Grefenstette (1986), Bongochgetsakul e Ishida (2008), Bueno Márquez, Diaz Blanco, Cabrera Capitán (2008), Giusti e Marsili-Libelli (2009), Nagel et al., 2010, Agostini, Sundberg e Navia (2012), Campani, 2012, Nagel e Stone (2012), Guerrero, Maas e Hogland (2013)], nove publicações de caráter público (tal como apresentações de trabalho e notas divulgadas em informativos), e seis publicações realizadas pelo autor desta pesquisa [Brasil et al. (2010); Pimentel, Rodrigues e Santos (2011); Pimentel (2011); Pimentel, Moura e Oliveira (2012); Pimentel, Santos e Silva (2012); Pimentel, Bueno e Silva (2013)], de forma a contribuir para o desenvolvimento das considerações sobre o assunto.

No que tange o campo de pesquisa sobre modelagem e simulação aplicados no desenvolvimento de projetos, foram consultadas 18 publicações contando com abordagens contributivas para o campo metodológico descritas na fundamentação teórica [Page Jr (1994), Cagan (1998), Perros (2003), Giordan e Góis (2004), Rütten (2006), Nardelli (2007), Reynolds JR (2008), Fisher (2009), Roudavski (2009), Ören (2009), Buttigieg (2010), Vattam et al. (2010), Sokolowki e Banks (2011), Garrido-Baserba et al. (2012), Sabin, Peters e Peters, 2013, Martino, Celani (2012), Kolarevic, Peters e Peters (2013)].

Completando o suporte bibliográfico para a pesquisa, e compondo grande parte das informações estudadas para delineamento da modelagem da informação e projeção a serem apresentadas, estão os itens também consultados:

- i) Destinação final de resíduos sólidos, item visitado no Apêndice A [ABNT (1987a, 1987b, 1987c, 1987d); Kiehl (1995), ABNT (1997), Sisino e Moreira (2005), Bütcher (2007); Lima (2007); Moreira, Giometi (2007); Gomes et al. (2008); Jha et al. (2008); Brasil (2010b); Deon Sette (2010); Seadon (2010); ABRELPE (2011); Jacobi e Besen (2011); Queiruga, Gonzalez Benito e Lannelongue (2011);

Straioto e Figueredo (2011); Carmo (2012); Neto (2012); Hernandés et al. (2012,)
Marmolejo et al. (2012), Mansano; Kiechhöffer (2012), Straioto e Figueredo
(2014)];

- ii) Abordagens para utilização do desenho paramétrico em modelagem de informação aplicável em atividades de projeto [Kolarevic (2004); Amaral et al. (2006); Terzidis (2006); Lupton e Phillips (2008); Haywake e Welle (2008), Miguel (2008); Stankovic (2011); Sabin et al.(2013)];
- iii) Metodologias de projeto [Tong (1987); Cagan (1998); Bentley (2001); Celani et al. (2006), Tomiyama (2009), Takeda et al. (2013)];
- iv) Conjunto de teorias para a compreensão do conhecimento aplicado no desenvolvimento deste projeto no recorte teórico proposto [Searle (1990); Caporello e Wolfe (1995); Simon (1996); Benyus (1997); Sarewitz e Pielke (1999); Cross (2001); Oxman (2006); Bergdoll (2007); Ursprung (2007), Wahl e Baxter (2008); Dimas (2009); Varela (2009), Oxman e Oxman, (2010), Farrel e Hooker (2012), Peters (2013), Webb (2013)].

Dado a caracterização do objeto de pesquisa investigado pela revisão teórica realizada, reconhece-se a compostagem sob uma configuração de importância multidimensional para os âmbitos de:

- i) Realização de investigação em atividades projetuais;
- ii) Compreensão para o delineamento na condução de projeto;
- iii) Compreensão do potencial de controle e modelagem do processo;
- iv) Estudo para viabilidade de restauração de solos;
- v) Contribuição de processos na destinação final de resíduos sólidos orgânicos;
- vi) Influência na redução do aquecimento global.

Sendo assim, a atividade prática proposta nesta pesquisa foi realizada com foco no item atividade projetual, de forma a possibilitar que a fundamentação teórica fosse aplicada na representação de uma simulação do processo de compostagem, voltada à atividade de projeção em conformidade com que é realizado no processo de Design.

A figura 39 apresenta as interrelações conceituais entre áreas de pesquisa diretamente visitadas pela investigação com finalidades teórica e prática, em grau de relevância contextual no âmbito macro. Considera-se que entre estas há uma correlação direta com a execução de operações compreendidas pela atividade projetual, onde a investigação em Design é bem referenciada, tal como apresentado com a contribuição de Amaral et al. (2006), no capítulo 2.1:

Figura 39 - Tópicos de importância multidimensional da pesquisa

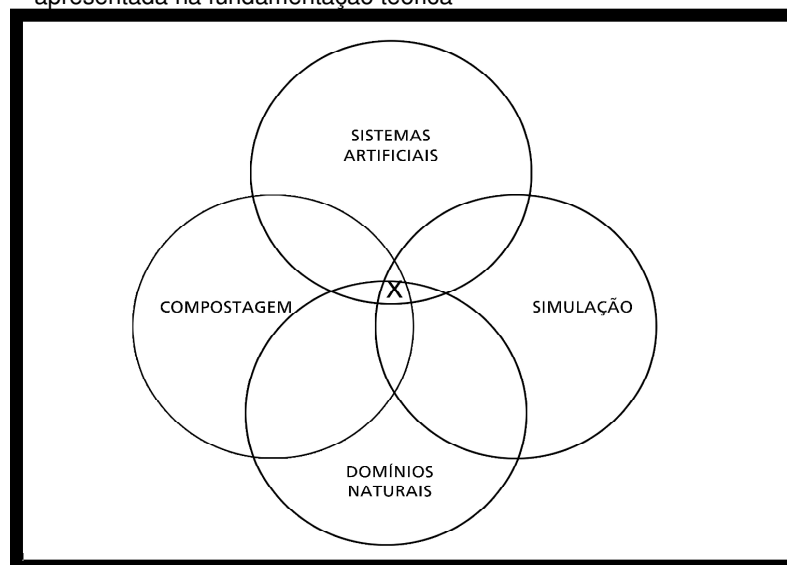


Fonte: Autor (2015)

A partir da importância multidimensional descrita, é conferida uma problemática na qual as variáveis envolvidas produzem uma interação em nível complexo para os resultados desta pesquisa. Porém, é visto que a temática demanda o desenvolvimento de considerações mais restritas, baseadas na necessidade por controlar o processo.

Entende-se que tal necessidade de investigação pode ser apresentada mediante a Figura 40 no quadro teórico:

Figura 40 – Quadro com os eixos temáticos de pesquisa apresentada na fundamentação teórica



Fonte: Autor (2015)

A importância da seleção destas quatro grandes áreas nas quais o desenvolvimento desta pesquisa gera considerações para a escolha das etapas de síntese e atividade prática, é fundamentada na necessidade de aprimorar atividades que utilizam a previsão, em processos que se sustentam sob critério de escolha e informação, dado um cenário de valores sustentáveis (WAHL; BAXTER, 2008) e mudanças climáticas (MOSS et al., 2010), apresentados inicialmente nas primeiras etapas deste relatório.

O avanço científico em tais sistemas informacionais complexos está diretamente ligado à melhoria no desenvolvimento de processos, dado a grande necessidade em aprimorar resultados de forma a possibilitar projetos informacionais mais rigorosos, e plataformas eficientes no desenvolvimento de produtos, assentados em um nível básico para a construção de metodologias de Design com capacidade de resolução (MORELLI, 2007, TOMIYAMA et al., 2009, TAKEDA; CORONA; GUO, 2013).

Tais assuntos foram primeiramente mencionados no tópico 'Problematização' deste texto, sendo reiterados de forma a apontar coesão com a configuração total apresentada na fundamentação teórica, oferecendo subsídio para avaliações e proposições apresentadas ao final deste relatório.

A partir da organização das seções conforme apresentado na figura 37, os dados coletados acerca do processo de compostagem foram tratados e organizados para possibilitar aceleração do acesso a informação durante etapas de projeção, contribuindo em etapas de avaliação e tomada de decisão com base na investigação.

Tal apresentação de informações é disponibilizada na forma de tabelas, esquemas de fluxo e mapas mentais no Apêndice deste relatório.

Sendo assim, a partir de necessidade de controlar a compostagem, foram investigados os elementos que podem compor os componentes de controle do processo através do levantamento de dados apresentado durante a fundamentação teórica com os autores pesquisados.

Para a formatação global do modelo de simulação do processo de compostagem, inicialmente foram desenvolvidos vários modelos intermediários: i) modelo de envio de sinal; ii) declaração dos termos funcionais de base do processo (modelo de comportamento bioquímico); e iii) modelo de controle (compreensão do evento), de maneira que sejam alcançados os fundamentos necessários para aproximar de forma coerente a coleção de informações geradas com a modelagem de simulação.

Desta forma é possível avaliar os resultados encontrados e declarar o final do ciclo do processo de simulação (PAGE JR, 1994), para dar início ao desenvolvimento da atividade de projeto e geração de soluções para os problemas sistêmicos apresentados. A importância para cada modelo é apresentada nos itens:

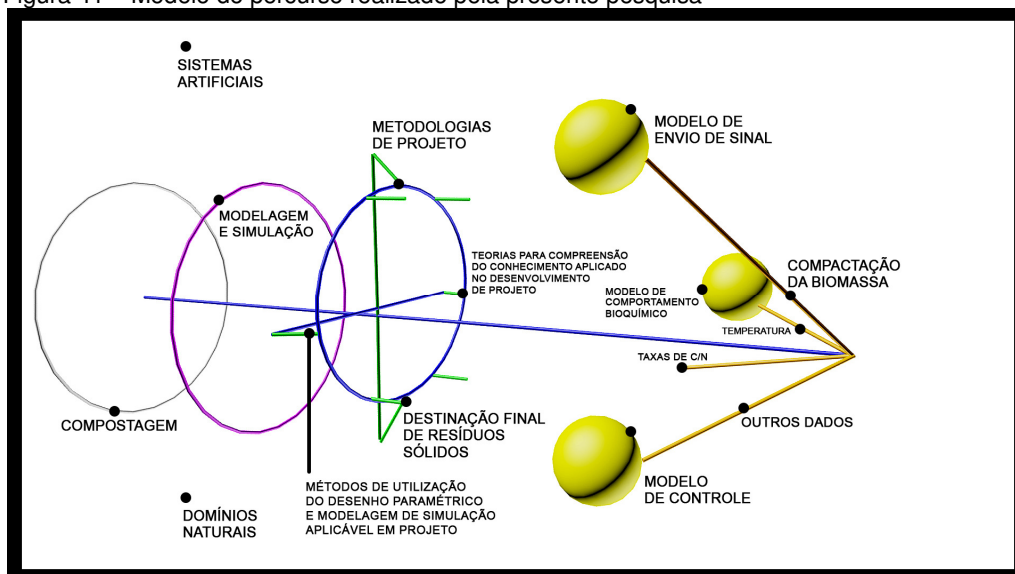
- i) Modelo de envio de sinal: é verificada uma constatação em nível simbólico para a aquisição da compreensão do desempenho funcional do processo de compostagem, onde é verificado um fluxo circular com retorno de energia para a entrada, tal como representado na figura 40. Para tal atividade é demandado revisão teórica acerca desse assunto [Bertoldi, Vallini e Pêra (1982), Trautmann e Krasny (1998), Amaral et al. (2006), Bueno Márquez, Díaz Blanco; Cabrera Capitán (2008); Bongochgetsakul e Ishida (2008); Gómez Mendéz (2009); Tomiyama et al. (2009); Nagel et al. (2010), Pimentel, Rodrigues e Santos (2011)];
- ii) Modelo de comportamento bioquímico: conforme apontado na revisão bibliográfica, é necessário adquirir informações para suprir demandas por compreensão informacional no campo bioquímico acerca do processo de compostagem. Sendo assim, sob recorte teórico e utilizando ferramentas no campo da Bioinformática (GIORDAN; GÓIS, 2004, BUTTIGIEG, 2010) com o uso do software Avogadro®, são desenvolvidos modelos intermediários com base nos dados apresentados, de maneira a oferecer subsídio em futuras atividades de projeção;
- iii) Modelo de controle: tal organização de dados está baseada na modelagem de informações conduzida pela assimétrica relação entre iii.i) parâmetros de seguimento x variáveis exógenas, e iii.ii) parâmetros de natureza do substrato x variáveis endógenas, sob vários marcos apontados para a estruturação da relação problema-solução. Tal organização para a compreensão da relação de controle do processo se dá em função da necessidade de realizar um recorte preciso para aplicar a informação fundamentada na modelagem de simulação.

Conforme verificado durante a elaboração do modelo de comportamento bioquímico (Quadro 4), e também apontado por Nagel et al (2010) verifica-se a importância do comportamento bioquímico da compostagem. Isto se deve à necessidade em assegurar a compreensão do evento natural possibilitando o aprofundamento em uma ou mais escalas do modelo biológico completo, com possível

desdobramento em outras áreas, tal como optado acerca da Bioinformática neste recorte.

Dados os três modelos intermediários apresentados acima e considerando a base de dados acumulados, é possível considerar este percurso apto a simular o comportamento da compostagem em meio virtual através do desenho paramétrico. A figura 41 contribui para declarar as etapas de pesquisa em questão:

Figura 41 – Modelo do percurso realizado pela presente pesquisa



Fonte: o autor (2015)

Para realizar a simulação foram utilizados os seguintes dados: i) tempo (marcos temporais do evento); ii) comportamento da compactação da biomassa (em termos de percentuais); e iii) evolução térmica, como pode ser verificado na proporção das taxas C/N e outros dados (iv), compondo desta forma o Quadro 11 disponível no Apêndice.

Os aplicativos utilizados para o desenvolvimento da simulação foram Grasshopper® e o Rhinoceros®, dado a possibilidade de utilização de um sistema técnico de capacidade reconhecida para a atividade projetual de Design, com custo aquisitivo de baixo valor. Para o desenvolvimento das outras atividades foi utilizado Autodesk 3DsMax®, frente à variedade de atuações no campo de projeto com interoperabilidade multidimensional, contando com operações no campo da renderização, simulação e animação.

Verifica-se a possibilidade em utilizar formas primitivas para descrever as tipologias básicas da simulação, uma vez que a simplificação para a criação de conteúdo apto a ser transmitido por transferência de informação em meio tecnológico é um dos eixos apresentados durante a fundamentação teórica.

De maneira a aproximar a modelagem de simulação de atividades desenvolvidas no campo do Design, ao utilizar o ambiente do Grasshopper® para simulação, é constatado que os componentes com forma 'primitiva' ou 'pouca complexidade' na definição algorítmica são procurados como geometria disponível (como cones e quadrados), uma vez que são igualmente apresentados em *canvas* da interface de softwares como o Autodesk 3DsMax®: tal associação possibilita uma configuração para a escolha das operações a serem apresentadas.

A partir da contribuição de Agostini, Sundberg e Navia (2012) (presente no capítulo 'Biodegradabilidade no processo de compostagem') é possível ainda realizar um modelo mais detalhado para a configuração visual, ao simular algoritmicamente a representação do processo utilizando pequenas concentrações de pontos. Tais aspectos apresentam correlação direta com a simulação de amostras do processo de compostagem, em uma abordagem simbólica tal como um sistema de partículas acondicionado ou induzido, dado sua descrição como meio poroso.

Em etapas de avaliação dos resultados alcançados pela simulação, e de forma a realizar uma triangulação entre os dados e as análises acerca do processo, ou seja, entre informações resultantes da simulação e as bases da revisão teórica, é possível relacionar a descrição sobre a massa molecular apontada para os componentes químicos contidos no processo de compostagem por Mendes (2012), e declará-las, dado um recorte teórico, como volume virtual para cada molécula do processo em seu marco inicial.

Desta forma, torna-se viável encontrar uma adequação paramétrica entre os valores volumétricos para o processamento da compostagem apresentados na fundamentação teórica, e aqueles utilizados na simulação obtidos em pesquisa de similares.

No caso de impossibilidade em obter a adequação entre ambas as aproximações numéricas, um índice avaliativo para a aquisição de relações entre a descrição prática e simulação a partir da teoria, deve ser verificado. Tal correlação é útil em etapas de avaliação da simulação, e geração de informações em nível experimental para o campo de projeto.

Para o início da fase de avaliação do processo, relacionou-se uma molécula do peso físico calculado a partir da descrição de Mendes (2012) apresentado, determinando-os para cada ponto do povoamento simulado em ambiente de modelagem algorítmica.

Dado a necessidade em declarar o limite teórico para realizar uma codificação de dados a partir dos modelos moleculares gerados e avaliados com o software Avogrado®, as características deste recorte foram:

- i) Desconsideram-se reações degradativas nos processos bioquímicos;
- ii) Desconsideram-se possíveis transferências de calor no meio através de condução, convecção, irradiação (AGOSTINI, SUNDBERG, NAVIA, 2012) e advecção (LORENZ, 1963);
- iii) Desconsideram-se interações simultâneas entre marcos temporal e bioquímico no processo biológico de forma a desabilitá-los nos estudos do campo dos números complexos e Lógica Difusa (GIUSTI; MARSILLI-LIBELI, 2010).

Ao gerar-se uma medida a partir dos resultados adquiridos por meio da adequação paramétrica entre ambas as coleções de dados, é possível analisar o processo simulado frente a informações descritas por Gómes Méndez (2009) esquematicamente representados na figura 15, que contribuem acerca da realização do processo de compostagem em aterros sanitários.

Transportando em nível fundamental a validade de tais informações a um projeto prático de atividade de Design de composteira, a aquisição da capacidade técnica dos componentes do produto torna-se descritível.

Desta forma, os dados gerados foram lidos frente a um sistema de avaliação baseado nas próprias informações geradas pela fundamentação teórica descrita no relatório, organizadas para dar suporte ao desenvolvimento de produto dentro do recorte investigado.

É entendido que a avaliação do resultado da simulação do processo de compostagem parte da necessidade em comparar dados apresentados na fundamentação teórica, de maneira a apresenta compatibilidade com a pesquisa realizada, mediante os seguintes termos:

- i) Aumento do rendimento no resultado da geração de ácido húmico pelo processo simulado;
- ii) Aumento da velocidade da realização do processo simulado com resultados iguais ou melhores na qualidade nutritiva obtida pela estabilização do material humificado resultante;
- iii) No limite teórico, quando ambos os tipos de resultados do processo simulado possam ser acusados ao final da compreensão acerca da simulação.

Os modelos de comportamento das variáveis do processo de compostagem utilizadas experimentalmente nas definições desenvolvidas por modelagem

algorítmica, foram elaboradas sob compreensão de elementos organizados, avaliados, sintetizados e abstraídos, de maneira a simular uma indução do processo de compostagem. Tal simulação está baseada no controle de parâmetros do processo, utilizando variáveis exógenas dentro da modelagem informacional, como já mencionado.

Sendo assim, de forma a suprir as demandas apresentadas pelos objetivos específicos foram desenvolvidos dois modelos: i) modelo de simulação paramétrica com correlação térmico-volumétrica portando um sistema do tipo forma-cor; e ii) modelo de simulação da compactação volumétrica superficial, a partir da abstração informacional do comportamento de uma leira de compostagem.

No caso dos modelos algorítmicos não alcançarem o nível de resultado esperado, é apontada a possibilidade de tratamento informacional frente aos dados parcialmente compreendidos em ambiente de simulação [Page Jr (1994); Perros (2003); Reynolds Jr (2008); Ören (2009)], de forma a gerar subsídios para avaliação, tal como procedimentos de qualificação. As demandas para esta possibilidade são:

- i) Estudar a correlação entre os modelos no campo da Bioinformática com o comportamento biofísico da degradação na compostagem;
- ii) Realizar sínteses sobre os autores estudados na fundamentação teórica, a partir do modelo apresentado na figura 40;
- iii) Correlacionar os dados resultantes através de cruzamento;

Dessa forma, será realizado o desenvolvimento de soluções projetuais, contando também com avaliações das informações geradas para o campo prático.

3.1 Ferramentas computacionais utilizadas na simulação

Para aplicação das informações contidas na Fundamentação Teórica em etapas de Simulação e geração de requisitos de projeto, e com base nas considerações acerca dos delineamentos descritos anteriormente em 'Metodologia', são elencadas as seguintes ferramentas que foram utilizadas no processo de Design:

- i) Software de modelagem tridimensional para Design Rhinoceros NURBS modelling for Windows Version 4.0 SR, 9-Mar-2011;
- ii) Software de modelagem paramétrica para Design Grasshopper®, de 28 de Setembro, 2012 (Build 0.9.0014) ®;
- iii) Software de modelagem molecular no campo da Bioinformática Avogadro 1.1.1®.
- iv) Software de Design para renderização fotorrealística Autodesk 3DsMax 2013®;
- v) Software de registro de objetos em 3D para realizar qualificação de superfícies Geomagic Studio 10®, de maneira qualificar a visualização de dados geráveis em ambiente 3D;
- vi) Software de Design para analisar a qualidade das malhas Blender 2.72®;
- vii) Software de Edição de Imagens Adobe Photoshop CS6® para tratamento visual dos resultados;
- viii) Software de rápida edição fotográfica para registro dos frames Google Picasa®
- ix) Software de Mapas Mentais Freemind®, para esquematizar com rapidez a condução dos trabalhos projetuais com base nas diretrizes propostas para a investigação;
- x) Softwares básicos para edição de dados Microsoft Excel 2003® e Microsoft Office Word 2003®;

4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO ALGORÍTIMICA, QUALIFICAÇÃO DE RESULTADOS E RENDERIZAÇÃO

A simulação do processo de compostagem a ser apresentada utiliza a interoperabilidade de quatro softwares diferentes: Rhinoceros 4®¹, Grasshopper 0.9.0014®², Geomagic Studio 10®³, Autodesk 3DsMax 2013®⁴.

A partir das contribuições verificadas para esta modelagem de simulação, é constatado o controle como proposta atrelada à evolução da temperatura, uma vez que o Estabelecimento de Condições (PAGE JR, 1994) para transição formal desde a alteração térmica, possibilita realizar mudanças no âmbito da forma, geradas independentemente do comando dos agentes humanos.

Em necessidade por continuar delimitando contribuições a partir da participação em experiências anteriores para modelar o processo de compostagem, a avaliação dos resultados do experimento desenvolvido em Pimentel, Bueno e Silva (2013) alcança os seguintes níveis:

- i) Sintaxe da linguagem visual;
- ii) Marcos do processo de compostagem no campo do ensino utilizando informática;
- iii) Aprimoramento dos níveis informacionais no processo de desenvolvimento de projeto;
- iv) Compreensão do comportamento dinâmico dos marcos do processo descritos em áreas dos Domínios Naturais;
- v) Investigação em áreas capazes de transferir conhecimento, a partir da relação entre Domínios Naturais e desenvolvimento de Sistemas Técnicos;
- vi) Compreensão da projeção em nível elevado, capaz de apontar contribuições para o campo de desenvolvimento de Design.

A partir da apresentação da modelagem realizada em Pimentel, Bueno e Silva (2013) são utilizados dados da fundamentação teórica para estabelecer parâmetros de correlação, de maneira contribuir pontualmente para estruturar a simulação do processo de compostagem em vias de desenvolvimento de produto, contribuição que

¹ www.rhino3d.com

² www.grasshopper3d.com

³ www.geomagic.com

⁴ www.autodesk.com.br/products/3ds-max/overview

não é realizada em tal publicação, dada a ausência de agentes modelados relacionados a investigação funcional do produto.

Complementarmente, é convencionado como marco inicial para a estruturação das tipologias de simulação (i) denominar como *partícula* cada *unidade* de representação do meio poroso, a partir de:

- i) Uma compreensão acerca da distribuição de calor em tais meios como descrito em Giusti e Marsili-Libelli (2010), e Agostini, Sundberg e Navia (2012);
- ii) Em função do conhecimento no campo de operações realizadas em softwares de modelagem 3D como Autodesk 3DsMax 2013®, a estudar, utilizar e modelar sistemas de partículas regidos por operações de software.

Percebe-se mediante a realização dos modelos de algoritmos descritos neste relatório, uma complementaridade. Tal relação se dá de maneira que sejam obtidos dados comportamentais em ambientes de simulação diferenciados, diante de um processo analógico original.

Uma primeira simulação abordará a correlação térmica como fator de controle para compreensão visual do processo, enquanto a segunda abordará a caracterização da coleção de partículas em meio poroso, de maneira a oferecer subsídio a análise visual. Os *workflows* (modelos de relação dos componentes da modelagem algorítmica desenhada em Grasshopper®) para os três experimentos se encontram disponíveis no Apêndice.

Para a aquisição do resultado visual do diâmetro da leira são utilizados dados descritos em Fialho et al (2010) no tópico 2.4, de forma a serem utilizados espacialmente dentro dos limites de um cubo (*Domain Box*), conforme apresentado na figura 45, um artifício para a geração das primeiras operações a partir do desenho de uma nuvem de pontos e delimitação do espaço de simulação (i).

Tal preenchimento é demandado em função da descrição, análise e avaliação visual do processo de deformação volumétrica, que a partir de uma compactação superficial, simula a biodegradação do meio poroso (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010, AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012), convencionado nos termos da simulação experimental (PAGE JR, 1994) do processo de compostagem.

De maneira a descrever os turnos da simulação, a organização sintética dos passos realizados no Workflow 3 como sistema componente da simulação do processo de compostagem realizada, têm como base quatro etapas: i) Geração de

modelo de compactação superficial; ii) Fim da caracterização da Compactação Superficial; iii) Turno para assentamento total; e, iv) Último turno.

4.1 Geração de modelo de compactação superficial

Utilizando o Grasshopper®, a partir da aplicação do componente *Domain Box/Genoma* é realizada uma multiplicação com valores obtidos pela fundamentação teórica para a aquisição de coordenadas nos eixos de xyz. Diante de tais coordenadas, são determinadas as dimensões no domínio de um cubo 3D.

Os números de base são determinados a partir da fundamentação teórica, descrevendo 760 pontos. Já a taxa de aproximação na redução da base é descrita em termos de porcentagem, uma vez que, de acordo com dados da fundamentação teórica, determina-se tal valor em 25%. Tal taxa é utilizada para convencionar e indicar o material descartado após o término da compostagem.

A expressão numérica que descreve o Número de Base é:

Sendo n_{base} o tamanho básico de um conjunto de pontos aleatórios e r o fator percentual de redução desse conjunto, dá-se o tamanho final n , da seguinte forma:

$$n = 0.01 \times r \times n_{base}$$

A função da degradação é determinada em partes de 1.000. A partir desta entrada numérica, a aplicação do componente *Proximity 3D* pode ser estendida a todos os pontos determinados pelo Número de Base.

A utilização do componente *Populate 3D* é determinada a partir das dimensões internas do Domínio de um cubo e da geração anterior de 760 pontos. É possível com este componente realizar-se um preenchimento 3D: uma operação de povoamento utilizando o Número de Base no sistema 3D delineado pelo *Domain Box/Genoma*.

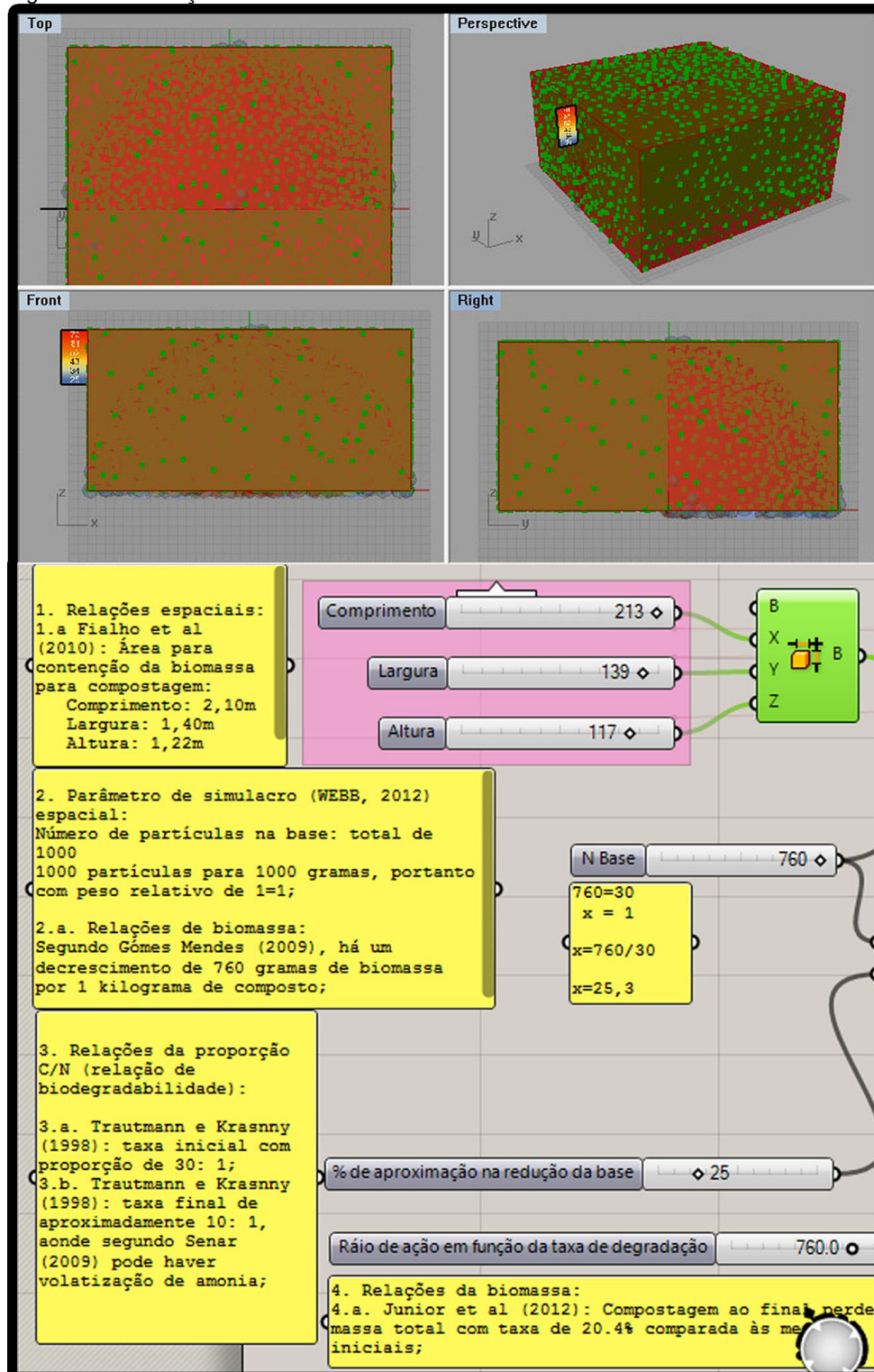
Dado uma abordagem numérica pseudo-randômica, a utilização do componente *Expression* contribui para que a definição do algoritmo compreenda um intervalo de diferenciação entre Número de Base determinando o Domínio em x , e a Taxa de aproximação determinando o Domínio em y com um intervalo de 1/100.

O componente *Number (Num)* contribui para a escolha de um ponto a partir da Taxa da função da degradação com um intervalo na proporção de 1/10. Dado esta aquisição, a este ponto é atribuída sua determinação em acordo com uma orientação de coordenadas no eixo de Z (*Unit Z*), de modo a convencionar o Raio de ação da

função da degradação. Tal determinação pode ser aplicada por extensão em todo o algoritmo, dado que faz parte também de sua função.

Os resultados podem ser verificados na imagem a seguir:

Figura 42: Elaboração da forma



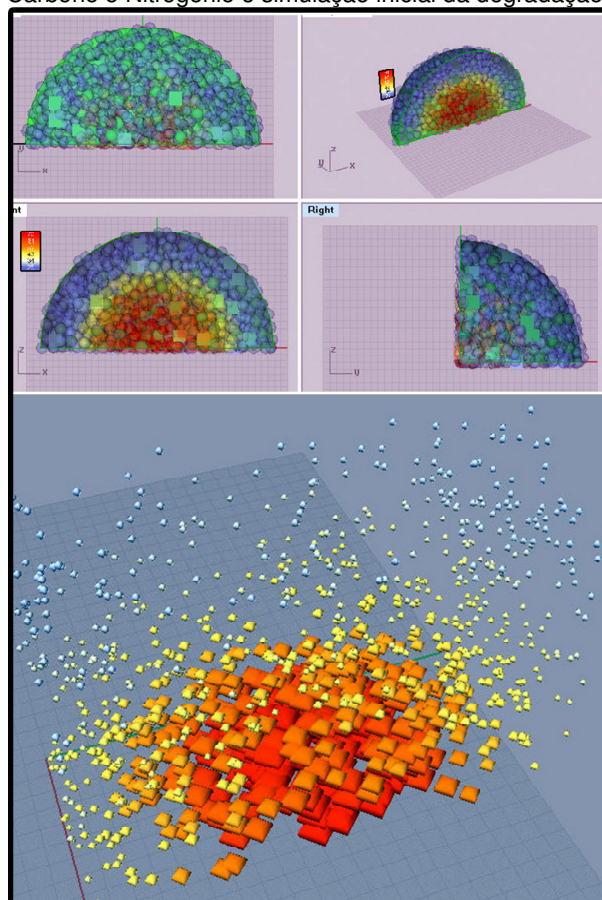
Fonte: O autor (2015)

A partir da figura 43, é possível verificar que a estruturação da tipologia de simulação, no que concerne à compreensão dos requisitos da forma para representar a leira de compostagem, recebe subsídios adquiridos anteriormente no campo de formas primitivas, tal como comentado acerca da necessidade por simplificação (RÜTTEN, 2006). Isto possibilita uma abstração para a compreensão tridimensional do processo, a partir das incursões pelo campo do Design Digital.

O detalhamento descritivo do sistema de partículas a partir da coleta e tratamento de dados para simular o número de partículas na modelagem algorítmica, se dá a partir das proporções de população descritas nas relações metabólicas entre Carbono e Nitrogênio, conforme a contribuição apresentada por Gómez Méndez (2009).

Tais dados são úteis para descrever fases evolutivas da compostagem em: a) mesófila; b) termófila, e, c) retorno à mesófila, resultando na geração de húmus frente ao volume total de biomassa inicial, conforme é possível compreender a seguir.

Figura 43: Frame da modelação das proporções de Carbono e Nitrogênio e simulação inicial da degradação



Fonte: o autor (2015)

A imagem apresenta um corte longitudinal aplicado em um experimento de simulação portando um sistema do tipo forma-cor, contendo uma diferenciação cromática resultante da assinatura paramétrica de valores de temperatura representados graficamente, com cores. Uma resultante transição do tipo forma-cor é verificada, mediante o aumento de temperatura e evolução do processo de degradação.

A opção por uma mudança na escolha de diferentes simplificações a partir de uma forma primitiva original, primeiramente a partir de uma esfera, e posteriormente a partir de um box, se dá frente a opção por uma caracterização simbólica em uma comparação com o evento original. Esta condição em nível simbólico, pode ser compreendida a partir de Perros (2003).

Esta mudança dada pela Especificação de Condições (PAGE JR, 1994) é realizada também interligada à opções escolhidas para a tipologia cromática, conforme apontado em Pimentel, Bueno e Silva (2013), a partir dos dados térmicos com máximas de 90 graus Celsius, coletados em Giusti e Marsili-Libelli (2010):

A temperatura foi representada de forma correspondente na cor de tais partículas, porém, em decorrência da evolução em delta T, se visualiza uma gradação de cores frias a quentes, na paleta: azul, turquesa, amarelo, laranja e o vermelho (sendo que: azul = 27 graus Celsius; turquesa para amarelo para laranja = temperaturas transitórias; vermelho = 90 graus Celsius) (PIMENTEL; BUENO; SILVA, 2013).

O nível de simulacro (WEBB, 2013) das definições para simular a degradação a partir de diferentes calibrações e atualizações de dados⁵, aponta a necessidade por outras incursões de experimentação, de forma a aprimorar o detalhamento da ação simulada da queda do sistema de partículas que descreve a degradação, de forma que se obtenha ganhos no nível simbólico (PERROS, 2003).

Para a modelagem das relações de tempo, é possível realizar correlações para para especificar condições (PAGE JR, 1994). Tal possibilidade se dá pela caracterização da distribuição sob a superfície a partir de dados apresentados por Gómez Méndez (2009). A partir de uma descrição acerca do tempo total da compostagem durando 56 dias (1.344 horas), calcula-se que a etapa de maturação ocorre a partir do dia 23 (552 horas).

As variáveis para a realização do cálculo da simulação da temperatura em função da variação da distância (a), e da temperatura em função da variação de tempo

⁵ Com três fases de modelagem: i) primeira incursão em 08.05.2013; ii) segunda modelagem aprofundada em Pimentel *et al* (2013a) a partir de uma realização em 28.02.2013, e iii) a partir da modelagem analisada neste trabalho em 14.04.2014.

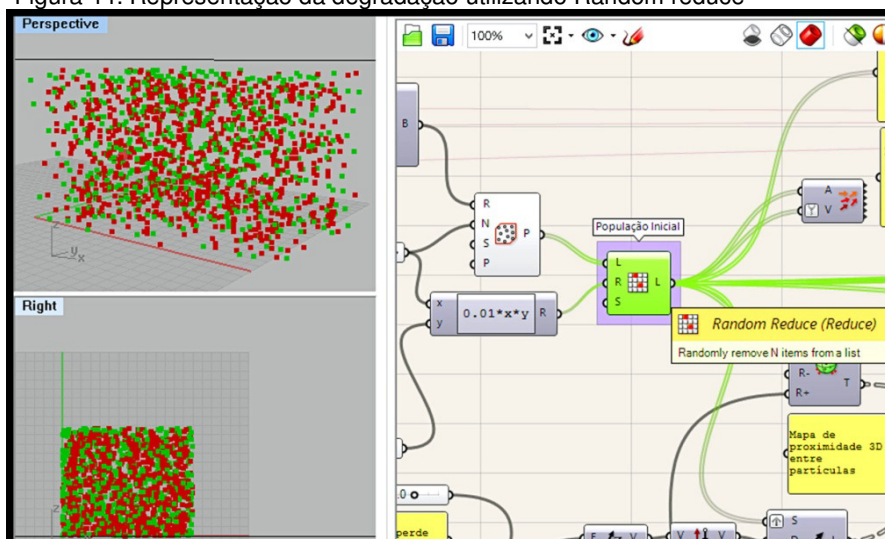
(b), necessitam de adequação no sistema de medidas para uma proporção em quantidade de horas (552 horas, dado o marco de início da maturação), aonde é realizada a distribuição da temperatura na etapa mesófila (MENDES, 2012).

A contribuição de Mendes (2012) aponta que a temperatura adequada para a simulação da maturação inicia com valores a partir de 27,5 graus Celsius, portanto, próximo às condições normais de temperatura e pressão ambiente apontadas por norma (CNTP).

A descrição da população inicial simulada em nível simbólico (PERROS, 2003) para representar a biomassa entrando em degradação conforme apresentado na Figura 44, é realizada mediante a operação (ii) *Random Reduce* (redução aleatória⁶), coletando dados a partir de:

- i) Abstração geométrica com dimensões volumétricas para um cubo 3D a partir dos dados de Fialho et al. (2010);
- ii) Taxa de proporção para gerar 760g de composto a partir de 1kg de biomassa (GÓMES MÉNDEZ, 2009), com simulação da amostra nas quantidades unitárias na escala adequada. Para simular tal população, é demandada uma taxa para a aquisição da função de degradação por partes de 1.000 com valores proporcionais em 25,3% (GOMES MENDES, 2009), e descrição geométrica das unidades que compõem o sólido:

Figura 44: Representação da degradação utilizando Random reduce



Fonte: o autor (2015)

⁶ Considerar o nível de aleatoriedade denominado na operação Random reduce, em função da verificada utilização de abordagens pseudo-randômicas por processos computacionais com o intuito em simular a possibilidade de indeterminação no universo das operações deterministas, intrínsecas no campo da informática.

A expressão que descreve este procedimento realizado até esta etapa é: Define-se o procedimento recursivo *ASSENTAMENTO(P)*, a partir da entrada dada com a população inicial P de pontos:

$$P = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)\}$$

- Com x_i escolhido aleatoriamente no intervalo $[0, X]$ de forma uniformemente distribuída;
- Com y_i escolhido aleatoriamente no intervalo $[0, Y]$ de forma uniformemente distribuída;
- Com z_i escolhido aleatoriamente no intervalo $[0, Z]$ de forma uniformemente distribuída.

Onde X , Y e Z são, respectivamente, comprimento, largura e altura do sólido que representa o domínio do conjunto de pontos P .

Mediante a distância entre todos os possíveis pares de pontos de dado conjunto, temos que:

$$D_i = \{(x_{i,1}, y_{i,1}, z_{i,1}), (x_{i,2}, y_{i,2}, z_{i,2}), \dots, (x_{i,m}, y_{i,m}, z_{i,m})\}$$

Onde:

- i varia de 1 a n ;
- D_i é o conjunto de pontos mais próximos de (x_i, y_i, z_i) ;

E m representa o número máximo obtido pela função (f) E:

$$m = 5 - f$$

A aplicação da ferramenta é justificada pela necessidade de evitar a geração de uma nuvem de pontos homogênea, ou ordenada por indução de uma grade (grid), como percebido mediante a geração por *Populate 3D*. Sendo assim, a aplicação da ferramenta *Random Reduce* cria um distanciamento similar entre os pontos, porém com organização pseudo-aleatória.

A caracterização do componente *Random Reduce (Reduce)* como população inicial utiliza dados determinados pela Taxa de aproximação, e caracterizados no Domínio de x (760), y (25), em um intervalo de 1/100 a partir do componente *Expression*. A Redução Aleatória (*Random Reduce*) determina uma exclusão randômica de pontos a partir dos dados adquiridos (Portanto $25 > N < 760$, aonde N não pode ter valor esperado), de maneira que a noção de amostragem da população inicial de pontos de preenchimento do sistema do processo de compostagem é adquirida.

Tal aquisição antecede a aplicação do componente Proximity (3D), dado a possibilidade de determinar ações à entrada numérica realizada com o componente Raio de ação (*Number*). O componente *Proximity 3D* denomina na geometria uma topologia para identificar por proximidade, pontos a serem ligados. Tais pontos necessitam ser criados anteriormente pelos modificadores em passos anteriores do algoritmo, apresentando desta forma sob a ação do componente *Proximity 3D*, aspectos semelhantes aos de uma malha poligonal.

Tal topologia resultante pode receber dois tipos de saídas: i) Como árvore de ramificações (*Link as a tree*); e, ii) Como árvore da topologia gerada (*Topology as a tree*). Tais saídas de dados também podem ser utilizadas como modificadores em nível dos componentes de definição do algoritmo, sob aplicação de um *End points* (Fim do ponto), de forma a extrair os dados resultantes para a realização de uma nova operação.

Dado o Raio de ação com uma taxa de 1/10 sob valor de 760 pontos [Taxa de função da degradação, determinados no eixo de Z (*Unit Z*)], são gerados pontos de posicionamento tangencial em relação a coordenada inicial, a partir da utilização do componente *SDL Line* (um acrônimo de *Start Direction Line*). Tal posicionamento possui contudo suas coordenadas invertidas (*Reverse*) de seus valores (no Domínio dos Números Inteiros) para aquisição de uma nova posição vetorial.

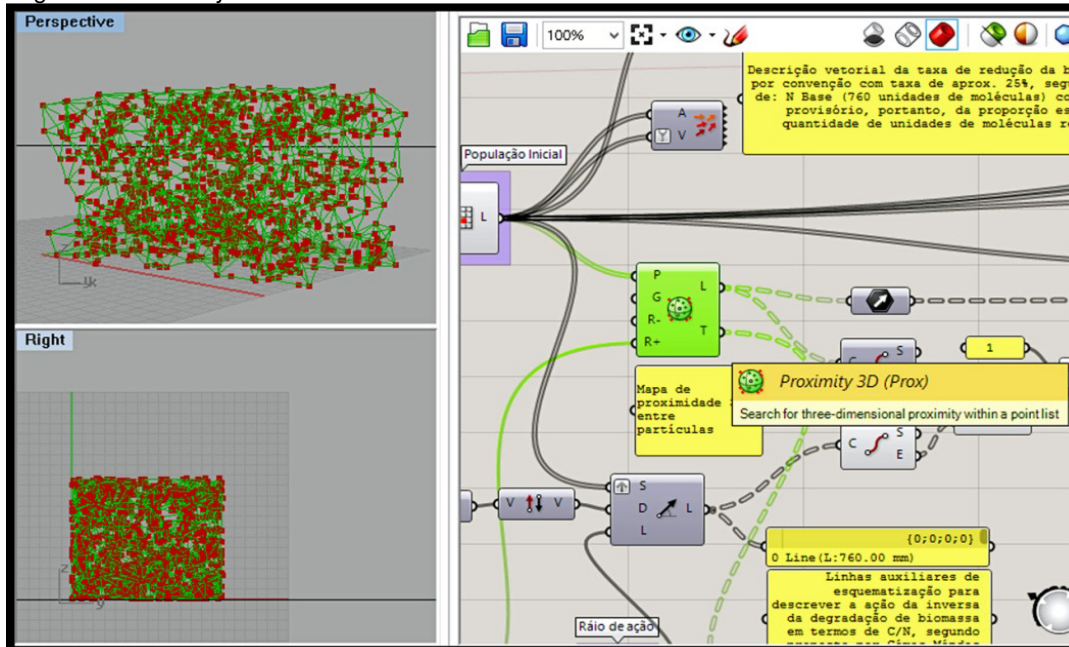
Aplicada na modalidade de saída de dados '*Link as a Tree*' gerada com o componente *Proximity 3D*, bem como na linha gerada com posição tangencial pelo *SDL Line*, a operação realizada com o *End Points* (E) a partir da saída de dados, analisa o início de curvas gerando pontos de término às mesmas. Considerados os termos das secções geradas por ambos componentes *Proximity 3D* e *SDL Line*, a ferramenta *Distance* age em um recorte teórico Euclidiano (a partir dos postulados da Geometria Plana) para medir a distância entre as secções delimitadas.

Por sua vez, a ferramenta *Division A/B* atua dividindo tais pontos distantes, para adquirir a descrição de movimentação entre Taxa de aproximação e Taxa de função de degradação, dado que são coordenadas com o *Proximity 3D* e o *SDL Line*, respectivamente.

A partir da utilização do *Random Reduce ao SDL Line*, e de forma a representar visualmente as distâncias (iii) da aproximação no espaço 3D (*Proximity 3D*) entre as partículas do meio poroso (AGOSTINI; SUNDBERG; PERA, 2012), é aplicado o comando *Move* (mover) para descrever o distanciamento das posições das partículas

a partir de seu estado inicial (população inicial), em partes de 1.000 (1 mil), conforme apresentado na Figura 45:

Figura 45: Proximity 3D e move



Fonte: o autor (2015)

A notação que descreve as realocações com o Proximity também podem ser apresentadas da seguinte forma:

Onde f é a quantidade de pontos no conjunto

$$\{(x_{i,1}, y_{i,1}, z_{i,1}), (x_{i,2}, y_{i,2}, z_{i,2}), \dots, (x_{i,5}, y_{i,5}, z_{i,5})\}$$

que estão a uma distância d , de forma que $d \geq T_d$, onde T_d é a taxa de degradação por partes de 1000. Sendo:

- O ponto $\vec{P}_i = (x_i, y_i, z_i)$;
- Onde $\vec{P}_i \in P$.
- O ponto $\vec{D}_{i,j} = (x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j})$.
- Onde j varia de 1 a m ;
- Onde $\vec{D}_{i,j} \in D_i$.

É possível a partir desta etapa da representação da simulação até a descrição de seu posterior tratamento, estabelecer contribuições para a visualização de superfícies e iniciar uma avaliação similar à realizada no desenvolvimento de produtos.

A esquematização da degradação e assentamento da biomassa ocorre utilizando o comando (iv) *Point XYZ* (Ponto xyz), conforme apresentado anteriormente. A aplicação do componente gera um resultado sobre as operações anteriores utilizando

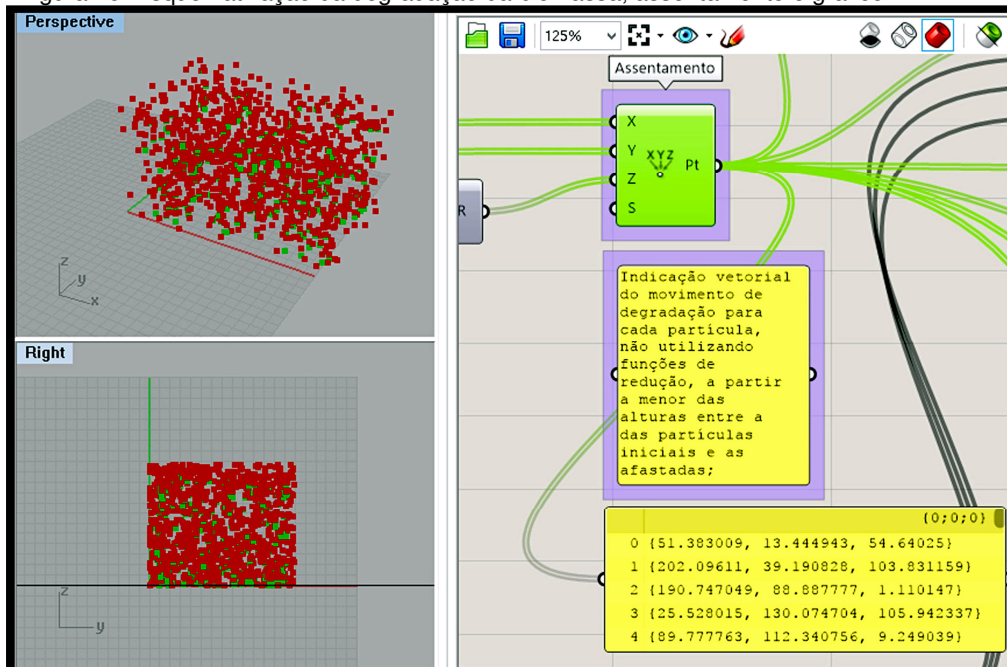
um distanciamento capilar dos pontos, criando uma coordenada em xyz a partir da aplicação de uma média ponderada.

O procedimento é realizado a partir da saída de dados do Proximity 3D com uma tipologia do tipo Àrvore de ramificações (Link as a tree). Estes dados adquirem tipologia de vetor a partir de uma ligação com o componente Vector (Vec), e recebem um tratamento de simplificação sob a ação do Arithmetic Mean (AM), dado a entrada no componente sob a forma de lista (Input- I-as a list).

A partir da aplicação do componente Arithmetic Mean (Média Aritmética), e de maneira a encontrar uma média pela entrada de dados do tipo: i) vetores determinados a partir da lista (Vector), e, ii) aquisição de pesos para distribuição entre os elementos vetoriais obtidos por uma divisão (Division A/B) entre pontos distantes (Distance), é preparada uma coordenação para a aplicação do componente Move.

Como comentado anteriormente no passo (iii), a aproximação entre os dados obtidos pela caracterização de uma malha poligonal utilizando o Proximity 3D, e secções geradas com posicionamento tangencial (SDL Line) tratadas de maneira que se obtenha uma noção de compactação superficial, é realizada pelo componente Move, tal como apresentado na Figura 46:

Figura 46: Esquematisação da degradação da biomassa, assentamento e gráfico



Fonte: o autor (2015)

Tal procedimento pode ser descrito da seguinte forma:

Tem-se o conjunto de vetores do tipo $\vec{P}_i - \vec{D}_{i,j}$ dado por:

$$V = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$$

Onde:

$$W_i = \{\vec{P}_i - \vec{D}_{i,1}, \vec{P}_i - \vec{D}_{i,2}, \dots, \vec{P}_i - \vec{D}_{i,m}\}$$

Paralelamente, para cada ponto (x_i, y_i, z_i) , pertencente a P , tem-se um ponto $(x_i, y_i, z_i - T_d)$, ou \vec{Q}_i , pertencente ao conjunto Q , dado por:

$$Q = \{(x_1, y_1, z_1 - T_d), (x_2, y_2, z_2 - T_d), \dots, (x_n, y_n, z_n - T_d)\}$$

ou

$$Q = \{\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n\}$$

Tem-se, então, o conjunto L de distâncias $L_{i,j}$, do tipo $|\vec{Q}_i - \vec{D}_{i,j}|$:

$$L = \{|\vec{Q}_i - \vec{D}_{i,1}|, |\vec{Q}_i - \vec{D}_{i,2}|, \dots, |\vec{Q}_i - \vec{D}_{i,m}|\}$$

ou

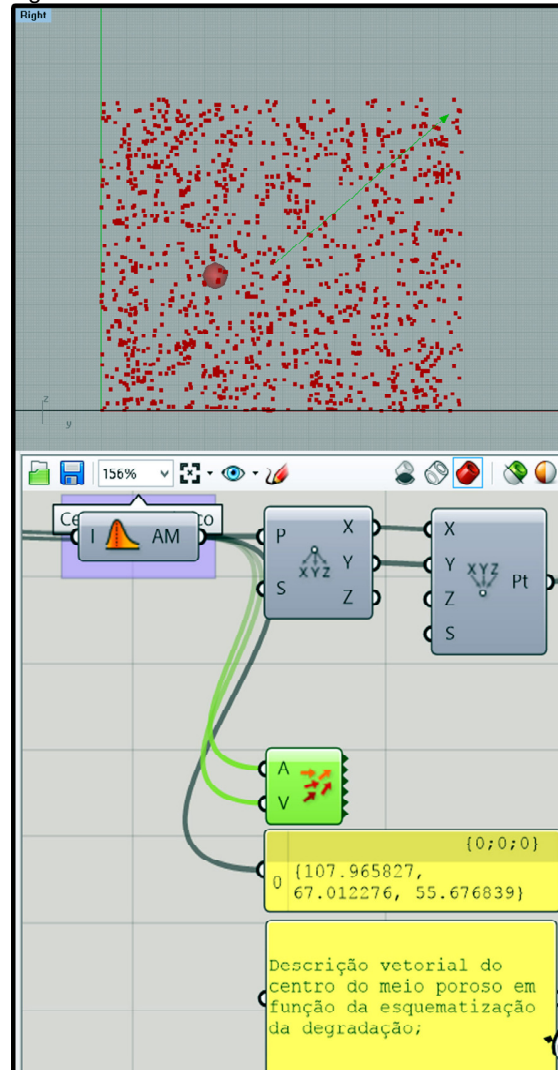
$$L = \{L_{i,1}, L_{i,2}, \dots, L_{i,m}\}$$

É apresentada na Figura 50 a aplicação da ferramenta (vi) *Arithmetic Mean* (média aritmética) para apontar o centro de calor no meio poroso simulado através da simplificação dos dados gerados, de forma que o centro de calor (a) receba dados com suporte de visualização a partir do centro da biomassa representada com o conteúdo do meio poroso simulando a compostagem; e (b) do centro de densidade a partir da etapa de assentamento realizada com a ferramenta (ii) *Random reduce* (*redução aleatória*). Dessa forma, as operações finais do primeiro turno para caracterização da compactação superficial podem ser consideradas para aquisição da compreensão do processo de simulação.

É necessário considerar também que a ferramenta (vi) age a partir da necessidade de relativizar e simplificar o ambiente de simulação, dado que opera considerando que a população de partículas possui a mesma massa e o mesmo peso,

ou seja, dirigindo o centro de gravidade a um só ponto simplificado, como representado na geometria de tamanho destacado na figura 47.

Figura 47: Ferramenta Média Aritmética



Fonte: o autor (2015)

4.2 Fim da caracterização da Compactação Superficial

A noção simbólica adquirida por representação de uma compactação superficial (finalizada pelo componente *Move*), obtida por simplificação da diferença entre pontos com posicionamento tangencial (*Division A/B, Arithmetic Mean*), e uma malha gerada por povoamento aproximado com o *Proximity 3D*, é comparada com a definição inicial gerada pela operação *Random Reduce* para a modelagem da População inicial.

Porém, para realizar tal avaliação, o componente *Decompose* é aplicado em ambos os níveis da caracterização da compactação: i) inicial (*Random Reduce*); e ii)

posterior (*Move*), de maneira a gerar partes estratificadas de ambas etapas para caracterização de um comportamento com posições diferenciadas na orientação da coordenada em Z, em mínimas (*Minimum-Min*) e máximas (*Maximum-Max*).

Em outra forma de notação de descrição:

Calcula-se, em seguida, a média ponderada \vec{M}_i dos vetores de W_i , usando, como pesos, os inversos dos valores de L :

$$\vec{M}_i = \frac{\frac{1}{L_{i,1}}(\vec{P}_i - \vec{D}_{i,1}) + \frac{1}{L_{i,2}}(\vec{P}_i - \vec{D}_{i,2}) + \dots + \frac{1}{L_{i,m}}(\vec{P}_i - \vec{D}_{i,m})}{\frac{1}{L_{i,1}} + \frac{1}{L_{i,2}} + \dots + \frac{1}{L_{i,m}}}$$

ou

$$\vec{M}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{1}{L_{i,j}}(\vec{P}_i - \vec{D}_{i,j})}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{L_{i,j}}}$$

Obtém-se, portanto, o conjunto de vetores de deslocamento M :

$$M = \{\vec{M}_1, \vec{M}_2, \dots, \vec{M}_n\}$$

Para se implementar o translado dos pontos de P com os vetores de deslocamento de M , faz-se:

$$\vec{O}_i = \vec{P}_i + \vec{M}_i$$

É obtida, dessa forma, o novo conjunto de pontos O :

$$O = \{\vec{O}_1, \vec{O}_2, \dots, \vec{O}_n\}$$

4.3 Turno para assentamento total:

A partir da entrada de dados resultantes da operação com o *Decompose* em XY (a partir do componente *Move*), bem como em Z (a partir da estratificação em mínimas e máximas posições, dado a necessidade em modificar a orientação da compactação no eixo Z), a operação do *Point XYZ* cria uma coordenada única convencionada por 'Assentamento'.

Novamente, para que seja adquirida a noção de compactação total, é necessário comparar a posição dos vetores em uma etapa inicial com a operação realizada neste passo, convencionado nos termos por etapa de assentamento. Para tal, aplica-se o componente *Vector 2Pt* diretamente ao *Random Reduce* e ao *Point XYZ*.

O assentamento total pode acusar um Centro geométrico, sendo assim aplica-se o *Arithmetic Mean* de forma a acusar tal posicionamento a partir de um lista com os resultados gerados pelo *Point XYZ*.

4.4 Último turno

De forma a gerar um novo turno para alcançar uma representação da compactação superficial na simulação do processo de compostagem, o *Proximity 3D* é novamente aplicado sob uma extensão do componente *Number (Num)*, porém, com um acréscimo: são utilizadas as coordenadas geradas pelo *Point XYZ* como pontos listados para caracterização da aproximação e aplicação correta da ferramenta.

Com a geração de resultados do tipo '*Link as a tree*' sob a ação do *Prox*, aplica-se o componente *Lenght (Len)* para medir o comprimento dos ramos gerados em lista com a aproximação aplicada. A diferenciação dos comprimentos é simplificada a partir da operação *Arithmetic Mean (AM)*, a qual retira os itens de maior importância com a utilização do *Sort List (Sort)*: tais itens por convenção são determinados com o Centro de Densidade da simulação.

É aplicado o *Arithmetic Mean (AM)* novamente a partir de uma lista gerada com os resultados da segunda operação com *Point o XYZ* e com os dados convencionados como Centro de Densidade. Tal resultado é convencionado como Centro de Calor da simulação.

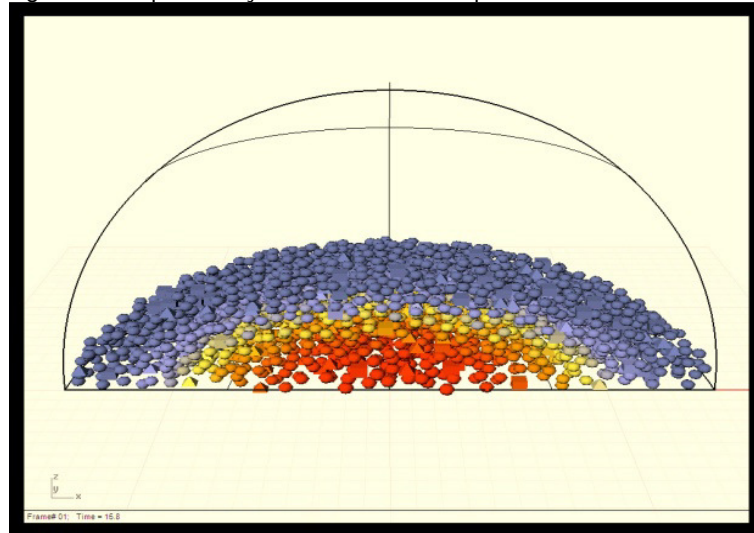
É verificada então a necessidade por caracterização de tal região na forma de pontos ou malhas destacadas na visualização da simulação, sendo utilizado novamente para tal o componente *Distance*, de forma a medir a distância entre tais resultados, e o componente *Mesh*, a partir de uma entrada única resultante da ação *Arithmetic Mean*.

A partir da figura 50 é verificado também que: comparando a descrição vetorial do centro de calor no meio poroso simulado com o centro geométrico do cubo 3D, é obtido um resultado ambíguo do posicionamento apresentado na simulação. Diz-se sobre posicionamento ambíguo entre ambas coordenadas e de que estas possuem valores diferentes, visto que segundo Pimentel, Bueno e Silva (2013a), o centro de calor situa-se em contato com o plano, sendo distribuído na área central da massa em sua parte inferior, conforme apresentado na figura 48.

Esta contatação adquire uma caracterização decisiva para futuras implementações no processo, como pode ser verificado no item 'Trabalhos futuros'. É

preciso afirmar que, no entanto, a precisão na verificação dos dados obtidos para comparar propriedades térmicas e propriedades topográficas no desenho de uma simulação, remetem à escolha das ferramentas e métodos escolhidos. Visto o recorte teórico experimental deste trabalho, outros procedimentos utilizando por exemplo CFD podem alcançar outros resultados.

Figura 48: Representação do calor no meio poroso



Fonte: o autor (2015)

Em uma outra forma de notação, o procedimento adquire a seguinte descrição:

Condições para assentamento - compara-se os pontos (x_i, y_i, z_i) pertencentes a P com os pontos (x'_i, y'_i, z'_i) pertencentes a O , tendo-se um novo conjunto F de pontos (x''_i, y''_i, z''_i) :

- Se $z_i < z'_i$, então:
- $z''_i = z_i$, portanto $\vec{F}_i = (x'_i, y'_i, z_i)$
- Senão:
- $z''_i = z'_i$, portanto $\vec{F}_i = (x'_i, y'_i, z'_i)$
- Se $z''_i < 0$:
- $z''_i = 0$, portanto $\vec{F}_i = (x'_i, y'_i, 0)$

Tem-se, então, o assentamento final F dessa iteração:

$$F = \{\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n\}$$

Por fim, faz-se $ASSENTAMENTO(F)$, e repete-se as iterações do procedimento até que a condição de encerramento seja alcançada.

De forma análoga a parte do procedimento $ASSENTAMENTO(P)$, calcula-se a distância dos m pontos mais próximos de cada ponto \vec{F}_i , e faz-se média aritmética dessas distâncias. Sendo \vec{C}_d o centro de densidade do sistema de pontos F , \vec{C}_d é igual ao ponto \vec{F}_i de menor média aritmética entre as distâncias dos seus respectivos m pontos de maior proximidade.

Ainda, dado o centro geométrico \vec{C}_g , calculado a partir da média aritmética entre os pontos de F :

$$\vec{C}_g = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{n}$$

E sua projeção horizontal (de coordenada $z = 0$) \vec{C}_g' .

Tem-se que o centro de calor \vec{C}_c é a média aritmética entre o ponto \vec{C}_d e o ponto \vec{C}_g' :

$$\vec{C}_c = \frac{\vec{C}_d + \vec{C}_g'}{2}$$

Finalmente, a somatória das distâncias das partículas ao centro de calor \vec{C}_c , que deverá ser minimizada, dá-se como a seguir:

$$\sum_{i=1}^n |\vec{F}_i - \vec{C}_c|$$

Uma vez que a aplicação da Média aritmética (vi) para suavizar os cálculos dos passos do algoritmo resultou em um entendimento parcial do centro de calor do meio poroso, é demandada a melhoria do processamento do conjunto de operações realizadas, para que se torne possível atingir uma solução otimizada a partir dos passos realizados (GREFENSTETTE, 1986, CAGAN; DEGENTESH; YIN, 1998, MARTINO, 2014). Para tal é aplicado o Galapagos Editor para ação com o Simulated Annealing Solver.

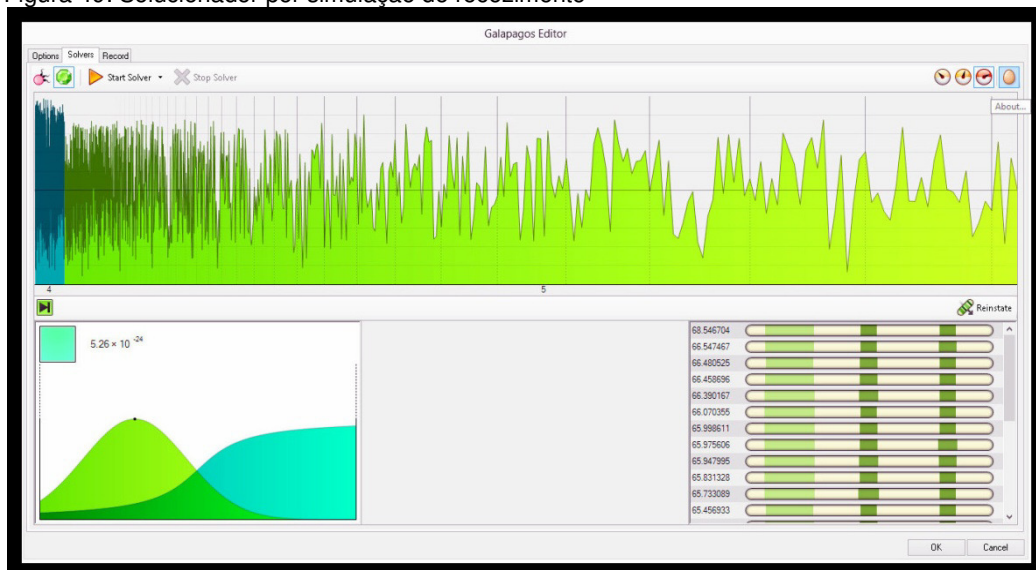
Martino (2014) ao priorizar Algoritmos Evolutivos como método projetual no desenvolvimento de Design Reflexivo (MARTINO, CELANI, 2012), aponta a necessidade em utilizar questões teóricas para nortear a ação dos aplicativos em situações de conflito nas tomadas de decisões de Design, dado que contribuem na delimitação de restrições para a aquisição de parâmetros de projeto.

As questões balizadoras adquirem a seguinte formatação: a) definição do problema a ser resolvido; b) Identificação das variáveis; c) Identificação das possíveis

relações espaciais/numéricas para parametrização; e, d) compreensão das restrições de parametrização para compreensão dos requisitos de projeto.

Sendo assim, na tentativa por aprimorar a compreensão sobre as considerações que simulam o centro de calor, é utilizando o *Genome fitness* (aprimoramento da performance do genoma), operação disponível no *Galapagos Editor*, com a ferramenta do (vii) Solucionador com simulação do recozimento (*Simulated Annealing solver*) diretamente ligado à ferramenta *Domain Box* (com entrada de dados adquiridos a partir da contribuição de Fialho et al., 2010), conforme na Figura 49:

Figura 49: Solucionador por simulação do recozimento



Fonte: o autor (2015)

O resultado da busca em ciclos realizada pelo solucionador, apontou coordenadas como possíveis soluções a partir de: (a) posição das partículas aproximadas do assentamento, sob (b) ação de otimização do algoritmo, dado uma demanda por verificar a relação com o centro de calor do meio poroso, como convencionado em operações anteriores da simulação (AGOSTINI, SUNDBERG, NAVIA, 2012).

4.5 Qualificação de resultados

Para qualificar parte dos dados gerados pelas ferramentas *Random Reduce*, *Move*, *Point XYZ* e *Vector2Pt*, e avaliar parte da simulação de maneira não responsiva e sem o grau de dificuldade de operações com modelagem algorítmica, é demandado uma incursão por outros *softwares* para geração de desenho de soluções. Os tópicos a serem investigados neste empreendimento são:

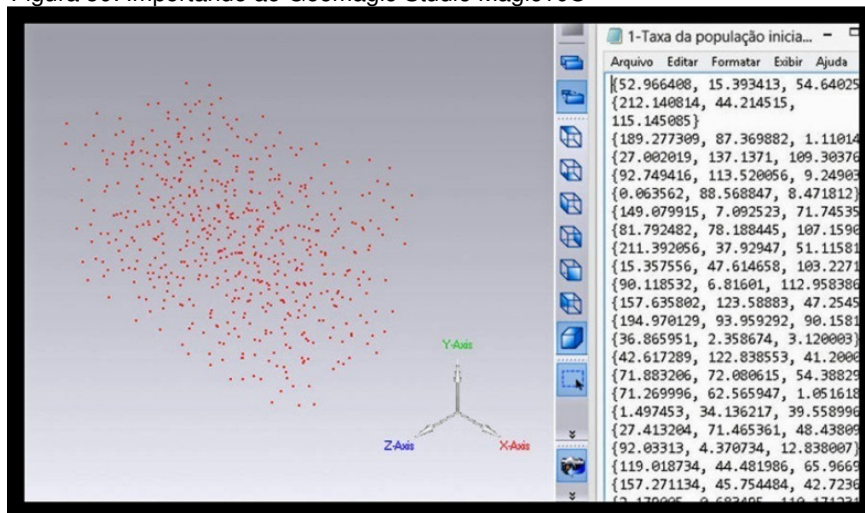
a) Dimensionar a aproximação das partículas em degradação a partir do (a) estado inicial, e visualizar analiticamente as taxas de degradação e aproximação;

b) Compreender a posição do centro de calor obtido com o *Simulated Annealing solver* (solucionador por simulação de recozimento) em função de (a) população inicial, (b) taxa de degradação e aproximação, e principalmente, (c) média aritmética aplicada para a suavização do cálculo, constatados os limites de acuidade da ferramenta algorítmica para aquisições no nível simbólico (PERROS, 2003).

Dado a complexidade em analisar parte dos dados tabelados na forma textual, foi utilizada a interoperabilidade em plataformas 3D ao visualizá-los em Geomagic Studio 10® e Autodesk 3DsMax 2013®, de forma a buscar resultados de análise a partir da geração de superfícies, malhas e polígonos (*surfaces, meshes, e polys*) de forma dissociar o experimento e processo de solução, da modelagem algorítmica.

A partir do comando *Stream Destination* (viii) geram-se dados tabelados em quatro arquivos a partir da utilização da ferramenta *Painel* (ix). Portando o arquivo gerado no formato *.txt*, os arquivos são importados (comando *Import files*) para dentro do *canvas* do Geomagic Studio 10® com leitura total da amostra em unidades de milímetros (*Sample Ratio > 100%*), conforme a figura 50:

Figura 50: Importando ao Geomagic Studio Magic10®



Fonte: o autor (2015)

Os dados são importados tal como um sistema de partículas, onde cada ponto xyz recebe visualização no *canvas*. As operações realizadas no ambiente virtual de projeto do Geomagic Studio 10® compreendem cinco fases para a geração de uma superfície com qualidades de geometria⁷, úteis em etapas de pesquisa em Design

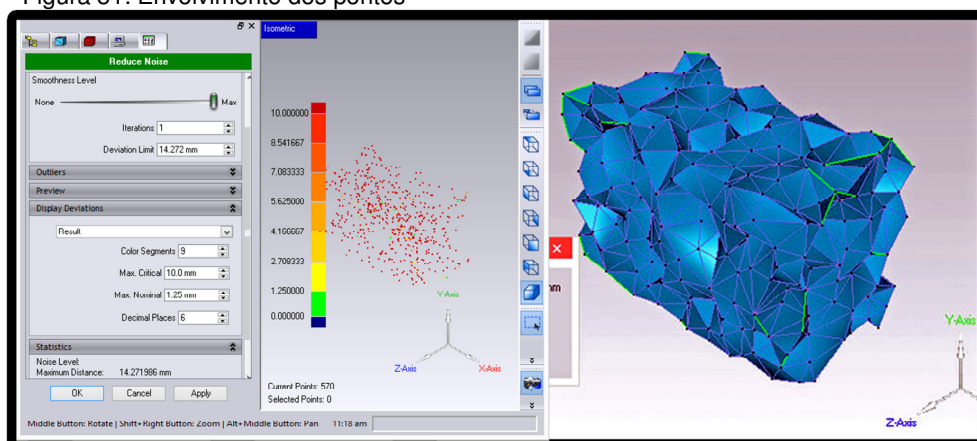
⁷ A utilização do Geomagic Studio 10® reúne várias operações utilizadas em Pimentel e Brito (2013), conforme pode ser verificado nas Referências, mediante a cadeira de Tecnologia 3D para fabricação na

voltadas a investigar o aprimoramento de resultados no campo de geração de superfícies a partir do registro de pontos.

Tais fases são: i) *Point phase* (Fase de ponto); ii) *Wrap phase* (Fase de envolvimento); iii) *Polygon phase* (Fase de polígono), e *Surface phase* (Fase de superfície).

Para o *input* (entrada) de dados na fase de ponto, após acessá-los por importação é utilizado o comando (a) *Select Disconnected> Medium> Size 5.0*. Na fase de envolvimento, o volume gerado através dos pontos (*Wrap> Wrap type> Volume*) pode adquirir muito ruído ou visualização sem adequação na exibição da forma, demandando antes da *Wrap phase*, a utilização do comando (b) *Reduce noise> Free Form Shapes> Smoothness Level> Max*. O resultado obtido pode ser verificado na Figura 51:

Figura 51: Envolvimento dos pontos



Fonte: o autor (2015)

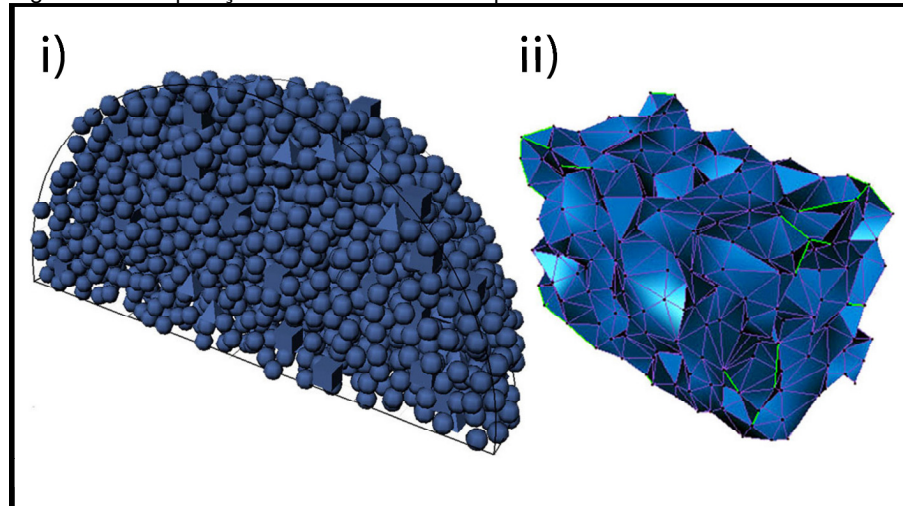
Nesta etapa de avaliação dos resultados gráficos gerados pela modelagem, é possível realizar comparações também com os resultados experimentais anteriores alcançados na calibração de dados da simulação em modelagem algorítmica, frente à necessidade por qualidade simbólica (PERROS, 2003) a ser alcançada para avaliação visual.

Tal qualidade simbólica possui contribuição direta para realizar simplificações e aprimorar posteriores atividades de ensino, transferência de conhecimento a partir de simulações, conforme apresentado no capítulo 'Simulação' (2.5).

A Figura 52 compara o resultado visual entre ambas modelagens a partir de: i) sistema de partículas conformado e seccionado com corte longitudinal em hemisfério,

gerado utilizando desenho paramétrico, e, ii) cubo 3D com deformações resultantes do comportamento aleatório da organização das coordenadas, gerado por tratamento de dados utilizando Geomagic Studio 10®:

Figura 52: Comparação do resultado entre experimentos



Fonte: o autor (2015)

A partir da apresentação de renderizações de ambos os processos conforme verificado acima (primeiro e segundo modelo), e comparando-os, é verificado que a primeira calibração da simulação (i) sem o tratamento posterior realizado por Geomagic Studio 10® apresenta ambiguidade na caracterização da população de partículas, de forma a gerar necessidade por utilização de pontos particulados como coordenadas de deformação para a geração de superfície, como já apresentado.

Já na segunda calibração (ii) também presente na imagem acima, o sistema particulado de povoamento é caracterizado com simbolismo adequado, porém, a configuração geral se distancia do processo analógico original de compostagem em sua descrição simbólica (PERROS, 2003) para com a composição gravimétrica (NESPOLO, 2004). Tal definição contribui para descrever o povoamento do volume, porém, sem uma tipologia de projeto que privilegie o estabelecimento de condições (PAGE JR, 1994) coniventes com os dados do comportamento térmico, tal como realizado anteriormente (PIMENTEL; BUENO SILVA, 2013).

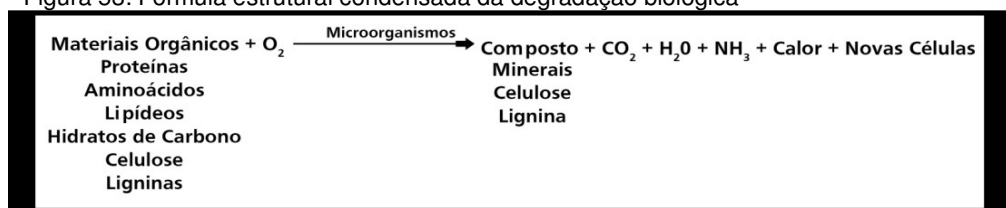
É propício comentar a utilização da Bioinformática para preencher algumas lacunas durante a investigação apresentada também em Pimentel, Bueno e Silva (2013).

Durante a degradação de material orgânico na compostagem, ocorrem vários processos químicos que não foram detalhados em 'Descrição do perfil da compostagem a partir de sua prática e degradação bioquímica', onde por indução da

atuação bacteriana, proteínas como Cisteína e Glicina são quebradas por reações como a hidrólise. Inicialmente abordado no tópico 'Estruturação da relação entre dados e problema', este assunto é retomado para aquisição da profundidade no tema da compostagem.

A título de exemplo, de forma a deduzir as proporções das partes de Carbono, Nitrogênio e Oxigênio, toma-se em particular a reação química já apresentada anteriormente por Mendes (2012), na figura 53:

Figura 53: Fórmula estrutural condensada da degradação biológica



Fonte: Adaptado de Mendes (2012) pelo autor

A partir de programas como Avogadro®, é possível calcular e ao mesmo tempo, visualizar relações orgânicas na escala molecular que podem oferecer subsídios para a dedução dos valores nas taxas que envolvem Carbono, Nitrogênio e Oxigênio, uma vez que as proporções fracionárias estão descritas na contribuição dos autores conforme apresentado na fundamentação teórica [Bertoldi, Vallini e Pêra (1982); Trautmann e Krasny (1998); Bueno Marquez, Diaz Blanco e Cabrera Capitán (2008); Santos (2008); Silva et al. (2008); Fialho et al. (2010)].

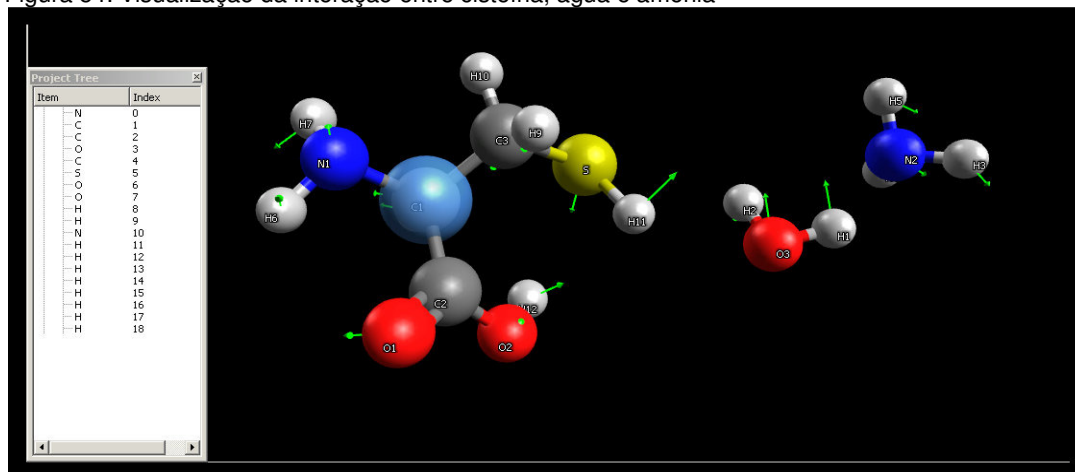
Utilizando comandos como o *Build* (construir), *Draw tool* (ferramenta de desenho), *Properties* (propriedades) e *Project trees* (árvore de projeto), é possível adquirir dados ausentes acerca da composição da biomassa nos termos de proporção C/N e C/P, a partir da relação do processo global com os compostos orgânicos menores que possuem descrição importante no campo da Bioinformática.

É possível ainda, ao aplicar o *Auto-Optimization Tool* (Ferramenta de auto-otimização), para otimizar a geometria e simular a aquisição de estabilidade atômica com visualização consequente a partir da alteração da estrutura molecular. Para o cálculo de geração de energia a partir da estrutura molecular (Extensions> Molecular mechanics> Calculate energy) e sua instabilidade atômica, é utilizado o 'Optimize geometry'.

Como resultado da aplicação para otimização da geometria da estrutura com base nas ligações modeladas pelo usuário, as propriedades moleculares da cadeia são alteradas espacialmente a partir da biblioteca de dados que o software utiliza para calcular a melhor estrutura espacial do desenho.

Na figura 54, um exemplo da interação entre Cisteína, Água e Amônia, contando com a descrição vetorial modelada a partir da otimização da geometria (*Optimize geometry*), cálculo de energia (*Molecular mechanics > Calculate energy*), e bem como os elementos disponíveis no modelo e descritos por cálculo estequiométrico, na forma de lista através da árvore de projeto:

Figura 54: Visualização da interação entre cisteína, água e amônia



Fonte: o autor (2015)

Verifica-se a contribuição da Bioinformática em modelos como este no nível dos sistemas moleculares, de forma a assentar as descrições realizadas anteriormente, e, também ao aproximar a atividade projetual à escala descrita acerca do comportamento das formas de transferência de calor nos meios porosos.

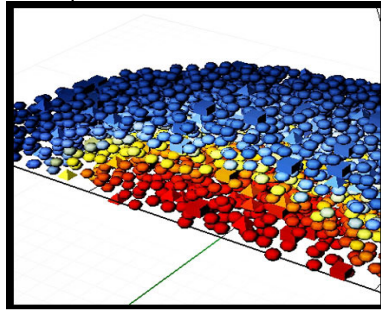
Sua participação no estabelecimento de condições no processo estabelecido em Pimentel, Bueno e Silva (2013), possibilita atingir o entendimento para transferência de conhecimento em nível simbólico para um segundo modelo gerado (PERROS, 2003).

Porém, como já comentado, tal entendimento não alcança o nível de detalhamento para beneficiar a atividade de desenvolvimento de produto, demandando uma qualificação dos resultados utilizando interoperabilidade, tal como será apresentado a seguir.

É afirmativo, então, o benefício a partir da utilização de parâmetros a contribuir na visualização de modelos experimentais (PAGE JR, 1994) deste tipo, que utilizam uma correlação do tipo cor-forma em paridade com os dados levantados na revisão teórica presentes.

O resultado de tal trabalho é apresentado na figura 55, configurando utilizando uma abordagem simplificada na representação da relação entre forma e cor, para melhor descrição do processo de compostagem em vias de análise visual

Figura 55: Simulação da relação do tipo cor-forma



Fonte: o autor (2015)

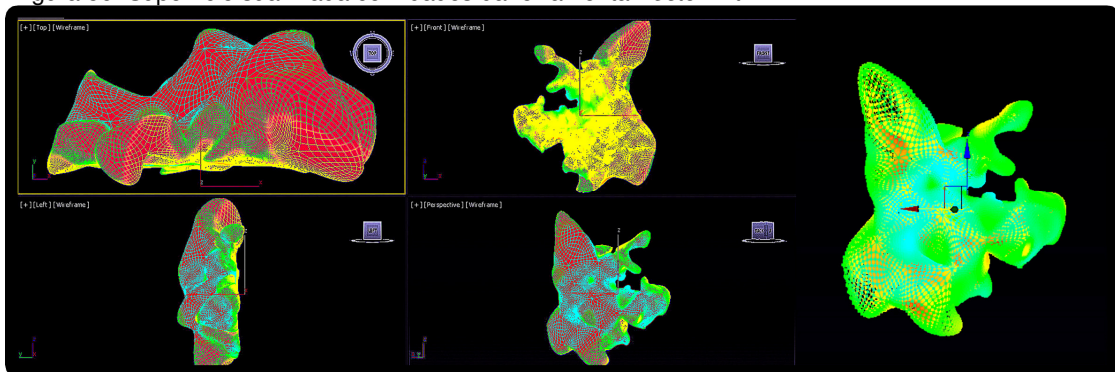
De forma avançar no processo de geração de superfícies com adequação para avaliação visual utilizando o Geomagic Studio 10®, reitera-se que a visualização da superfície precisa ser apresentada em pontos, com possíveis lacunas (para posterior fechamento da superfície), e triangulações compositivas por meio de pontos, buracos, triangulações e pontas (*point; holes; triangles; edges*).

É aconselhável apontar o centro de gravidade das superfícies (*c*) (*Analysis> Compute Center of gravity*), de forma que na exportação para um *software* com renderização de qualidade visual, seja mantido o mínimo de atributos para operações e avaliações posteriores. Frente aos dados parciais gerados durante a modelagem algorítmica, são então escritos quatro modelos, descritos anteriormente.

O tratamento para qualificar as superfícies para análise visual, demanda que sejam encontrados quatro centros de orientação da região central de massa (compreensão da ação simulada da gravidade nos modelos). Os valores obtidos para as superfícies, na ordem dos dados avaliados foram:

- i) Estado inicial da superfície com taxa de degradação coletado pela ferramenta *Random Reduce*: (x) 107.436556; (y) -67.945503; e (z) 58.158167;
- ii) Estado de degradação da superfície no momento da maturação (hora 552) a partir dos dados lidos em Gómez Méndez (2009), coletados pela ferramenta *Move*: 111.441638; -68.904295; 59.308131;
- iii) Estado da superfície após aplicação da média ponderada (*Arithmetic Mean*), a partir dos dados coletados com a ferramenta *Point xyz (2)*: 107.537831; -69.796427; 54.418284;
- iv) Suavização da superfície adquirida a partir dos dados utilizando a ferramenta *Vector2Pt* para simular o centro de calor na leira de compostagem: 1.376902; -0.357950; -4.066209. Na figura 56 é a apresentada a modelagem deste dado após qualificação>

Figura 56: Superfície suavizada com dados da ferramenta *Vector2Pt*

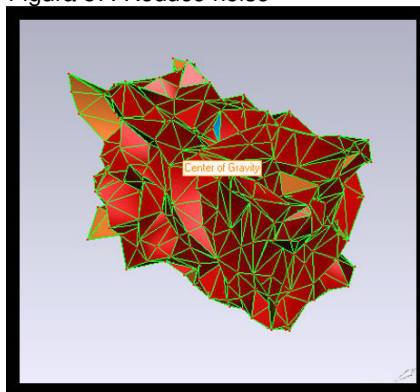


Fonte: o autor (2015)

A aplicação do Vertex Paint contribui para uma diferenciação cromática entre diferentes pontos da topologia das malhas geradas, aplicando cores quentes em regiões de proximidade entre os pontos, e cores frias no distanciamento entre as mesmas. Mediante a aplicação da ferramenta Turbo Smooth, e a partir do decorrente aumento na população de pontos na topologia das malhas, a apreensão dos modelos desenvolvidos torna-se apta à análise.

Para melhores resultados em avaliação no ambiente 3D, no caso da superfície gerada para a fase de polígono em Geomafic Studio 10®, verifica-se ocasionalmente a necessidade por normalizar a orientação dos pontos, utilizando a ferramenta (d) *Reduce Noise* (redução de ruído) > *Free-form shapes* (shapes de forma livre), conforme apresentado na Figura 57:

Figura 57: Reduce noise



Fonte: o autor (2015)

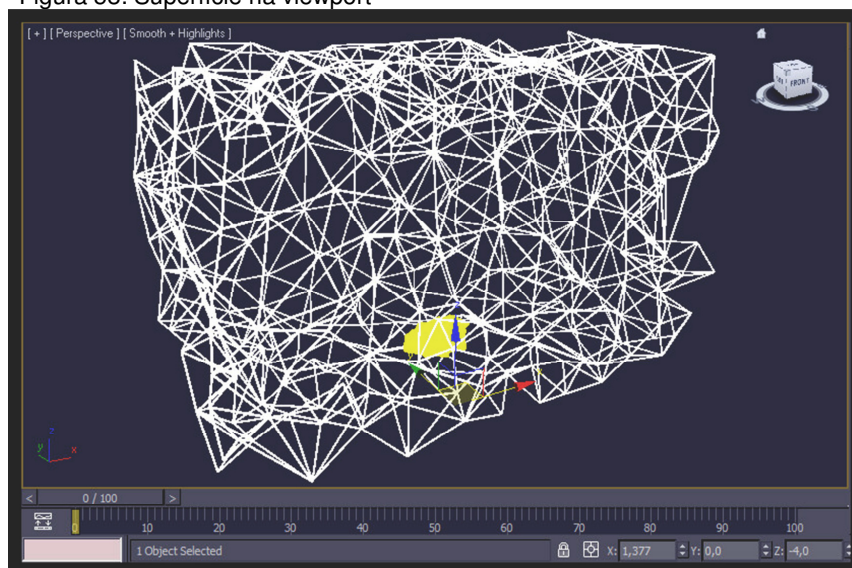
Para avançar na fase de qualificação da superfície com fins de análise visual, são constatadas lacunas nas superfícies (*shapes*) de forma livre, escritos a partir de um sistema de partículas modelado em algoritmo. Sendo assim, já na fase de polígono é utilizada a ferramenta (e) *Manifold* (múltiplos) > *Open manifold* (abrir múltiplos) em todos os pontos selecionados no *canvas* (área de trabalho do programa), de forma a

reorientar pontos que resultam em lacunas da superfície, suavizando e possibilitando a aquisição de sua qualidade em fase de tratamento (f).

Após a qualificação da superfície em ambiente de Geomagic Studio 10®, é necessário exportar a geometria resultante em um arquivo do tipo 'obj.', dado a possibilidade de utilização destes formatos na maioria dos programas aplicados na atividade de modelagem 3D para a projeção de produto no campo do Design.

De posse de tais formatos, as superfícies são importadas para a *viewport* (área de trabalho do programa) do Autodesk 3DsMax 2013®, sendo computados todos os centros de gravidades acusados pelo Geomagic® com coordenadas *xyz*, através do comando *Hierarchy > Affect pivot only*, conforme apresentado a seguir na Figura 61. A escolha desta ferramenta é realizada pela necessidade em relacionar o Centro da Geometria relacionado ao plano em *xyz*, com o centro da gravidade computado pelo Geomagic®.

Figura 58: Superfície na viewport



Fonte: o autor (2015)

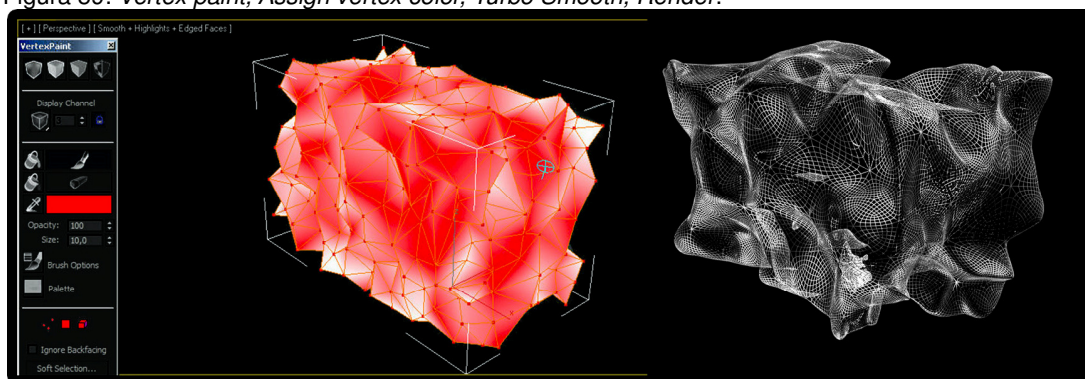
As superfícies analisadas pelo software acusaram resultado coerente para os centros de gravidade 1, 2 e 3, enquanto que no caso de 4 (Suavização da distribuição da taxa de calor), é verificado um problema já conferido em etapas anteriores dos cálculos realizados na modelagem algorítmica em Grasshopper® (ferramenta vi-*Arithmetic mean*): tais etapas anteriores remontam à modelagem da população inicial, e aquisição da relação degradação-aproximação (compactação) para encontrar o Centro de Calor da simulação em função da otimização com o solucionador com Simulação por Recozimento (*Simulated Annealing solver*).

Conforme apresentado na Figura 61, ao computar o centro de gravidade pelo Geomagic Studio 10®, o *pivot* de centralização do objeto virtual no espaço das coordenadas *xyz* extrapola as margens do objeto, desviando o Centro de Calor simulado conforme o processo analógico compreendido de Pimentel, Bueno e Silva (2013).

A importância de utilização do software Geomagic Studio 10 é, portanto, verificada mediante contribuições de relevância tais como estruturar, dimensionar, e visualizar analiticamente resultados parcialmente gerados durante o estudo. Desta forma, é verificada a necessidade por investigar alternativas para realizar a medição de temperatura de maneira distribuída dentro do meio poroso, provavelmente na região inferior-central da biomassa simulada (PIMENTEL; BUENO; SILVA, 2013).

A deformidade da superfície gerada pode ainda ser avaliada em Autodesk 3DsMax 2013®, a partir da ferramenta de pintura com o modificador (*Modify*) (g) *Vertex Paint*, a ser detalhada mais adiante. O *Vertex Paint* permite aprimorar o entendimento acerca do comportamento da superfície ao manuseá-la durante a pintura para renderização (*Assign vertex color*), utilizando opcionalmente um esquema de cores primárias para facilitar a análise visual, conforme é possível verificar na figura 59 utilizando na *viewport* um esquema *flat* (achatado) de visualização da geometria:

Figura 59: *Vertex paint, Assign vertex color, Turbo Smooth, Render.*



Fonte: o autor (2015)

Apesar de considerar a visualização ativa na *viewport* renderizada estática de qualidade apropriada, para uma visualização opcional através de uma renderização robusta, todas as operações anteriores são colapsadas com a montagem das superfícies sob o mesmo eixo (utilizando o botão direito sob a hierarquia de modificadores aplicados > *collapse all*), e é feita a opção por uma tipologia de alteração dos *vertex* para a modelagem na geometria (*selection*> *vertex*).

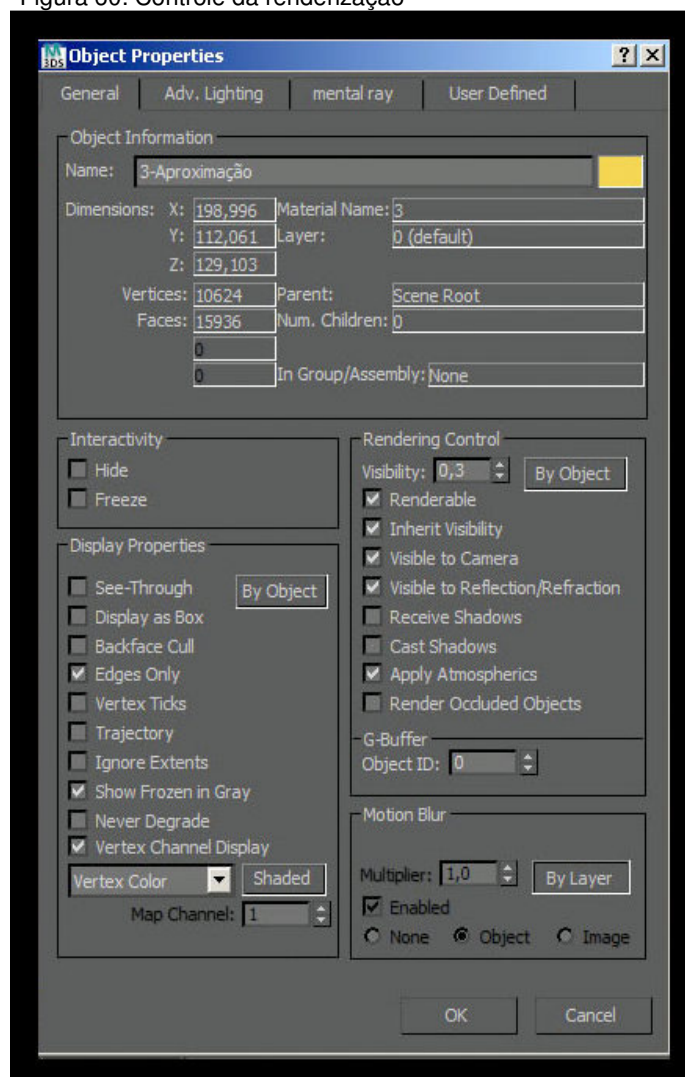
Aplica-se o (h) modificador *Lattice* (*entrelaçar*) de forma a manter-se a boa visualização com renderização, utilizando exposição logarítmica com cálculo da luz

solar exterior (*Environment and effects*> *Logarithmic exposure control*), de maneira a ‘revelar’ com capacidade fotorrealista, a aparência da geometria tridimensional do objeto utilizando os seguintes valores: *Modify*> *Lattice*> *Apply to Entire Object*> *Struts only from edges*> *Radius: 0,5*> *Segments: 1*> *Sides: 3*> *End Caps*> *Smooth*.

De forma a concluir o tratamento das superfícies em Autodesk 3DsMax 2013®, os objetos são alinhados com o ponto 0 dos eixos xyz sem alteração da hierarquia utilizando a ferramenta (i) *Snap* (*Snaps toggle*). É modificada a visibilidade da renderização das superfícies para adquirir diferentes opacidades (0,2; 0,3; 0,4 e 100%) em ordem decrescente com seu empilhamento, sem receber ou projetar sombras.

Isto possibilita uma renderização realista com visualização em translúcido das superfícies empilhadas, sem o atrelamento de materiais em objetos 3D (*Material editor*). As opções são apresentadas na figura 60:

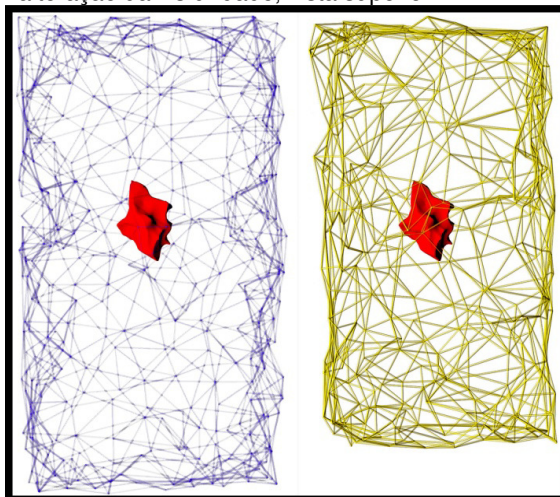
Figura 60: Controle da renderização



Fonte: o autor (2015)

O resultado da renderização a partir das fases de: a) modelagem e simulação algorítmica; b) qualificação visual de dados, e c) renderização fotorrealística é verificado na figura 61 e 62:

Figura 61: Comparação visual de renderizações em etapas diferentes da simulação utilizando Lattice e alteração da visibilidade, vista superior



Fonte: o autor (2015)

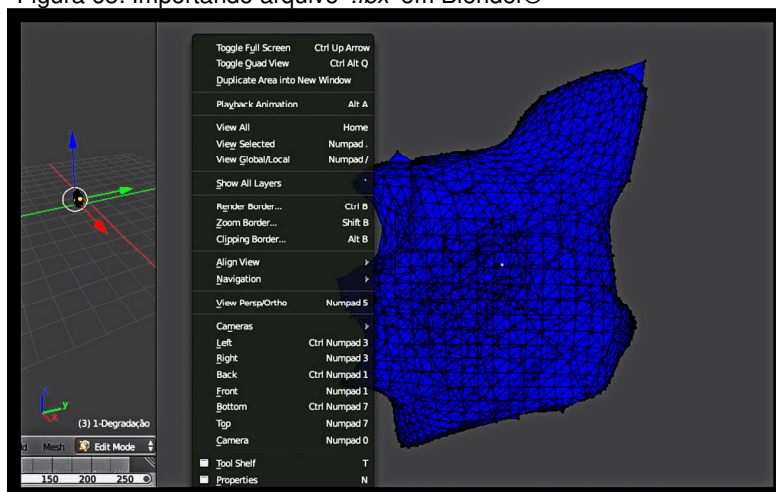
Figura 62: Comparação visual de renderizações em etapas diferentes da simulação utilizando Lattice e alteração da visibilidade, perspectiva



Fonte: o autor (2015)

Opcionalmente, o software Blender 2.7.2® possui também operações para analisar malhas, apresentando dados acerca da geometria com suporte visual em cores. De forma a transportar arquivos gerados pelo 3DsMax® ao software, é exportado em formato *'.fbx'* para uma importação em ambiente de *Edit mode (modo de edição)* em Blender®, conforme apresentado na figura 63:

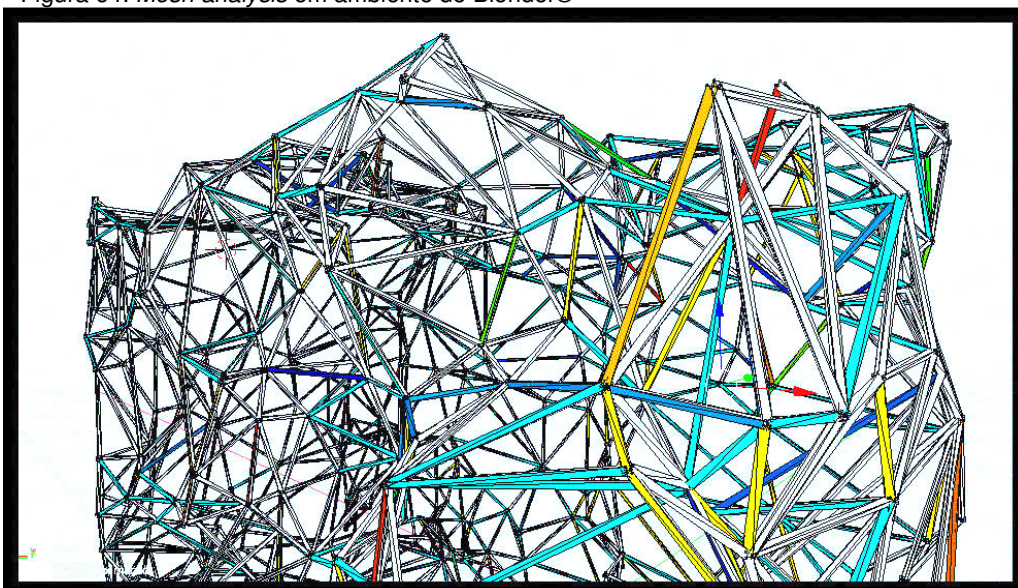
Figura 63: Importando arquivo *'.fbx'* em Blender®



Fonte: o autor (2015)

Após centralizar-se o objeto no *canvas* utilizando o *shortcut 'Alt+f'*, na *display* de propriedades, é acionada a aba *Mesh Display > Overlays > Faces > Length*. Realizando uma opção na aba de *Mesh analysis*, a visualização optada compreende as opções de *Thickness ou Overhanging*, com amostras (*samples*) em 32 partes, apresentando o resultado para o caso das superfícies geradas e tratadas, na figura 64:

Figura 64: *Mesh analysis* em ambiente de Blender®



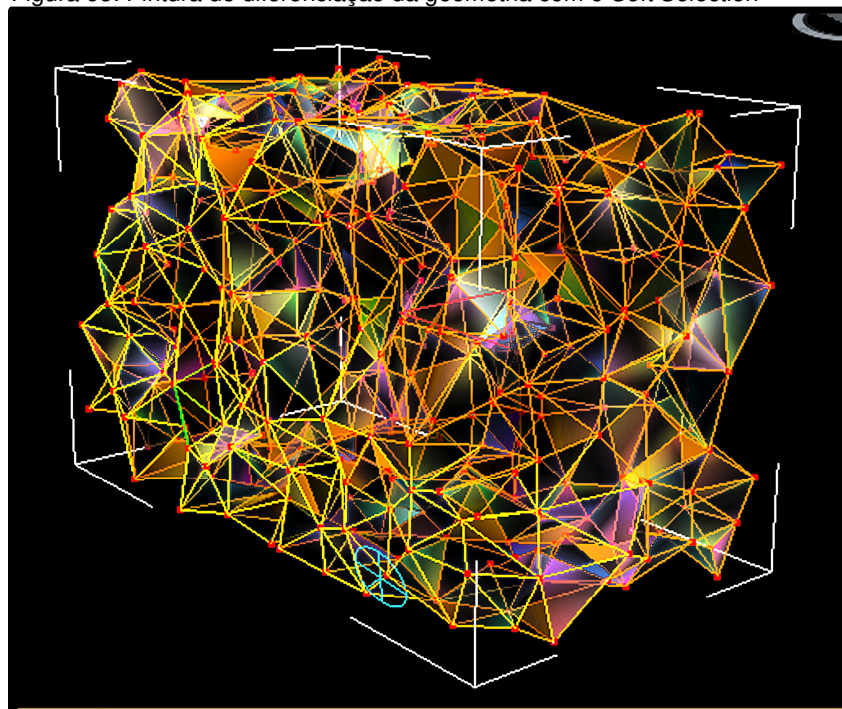
Fonte: o autor (2015)

É possível ainda em ambiente de Autodesk 3DsMax® a partir de comandos como o i) *Pro Optimizer*®, ii) *Soft selection* e iii) *Turbo Smooth*, adequar a qualidade das geometrias geradas para análise e avaliação, ao realizar uma pintura diferencial e suavização da superfície, como parte de procedimentos para avaliação da geometria gerada.

A ação do *Pro Optimizer*® prescinde do cálculo de corte para eliminação dos *vertex* que demandam atividade computacional e tornam as operações em ambiente de 3DsMax mais lentas. Após sua otimização (*Pro Optimizer*), conversão no formato de polígono editável (*Convert to> Convert to editable poly*), e sem a ação de modificadores em procedimento (*Colapse All*), é acionada a opção *Soft selecton* (seleção superficial) no menu de modificação, para realizar alterações em nível dos *vertex* (nós) da geometria.

Com o *Soft selection* habilitado (com o comando *Use soft selection* selecionado), é utilizado um *Fall off* (caimento) com valor de 1,8, e opacidade para pintura com pincéis (*Select Value*) de valores de 0,2 > *Brush Size* 20,0 > *Brush Strength* 0,6. Para o início da pintura, trava-se o menu de entrada do *Soft selection* (*Lock Soft Selection*), e a geometria pode ser então pintada uniformemente (*Paint*), conforme apresentado na figura 65. O resultado na diferenciação cromática da aplicação da pintura se dá em recorrência, tal como descrito anteriormente neste capítulo.

Figura 65: Pintura de diferenciação da geometria com o *Soft Selection*



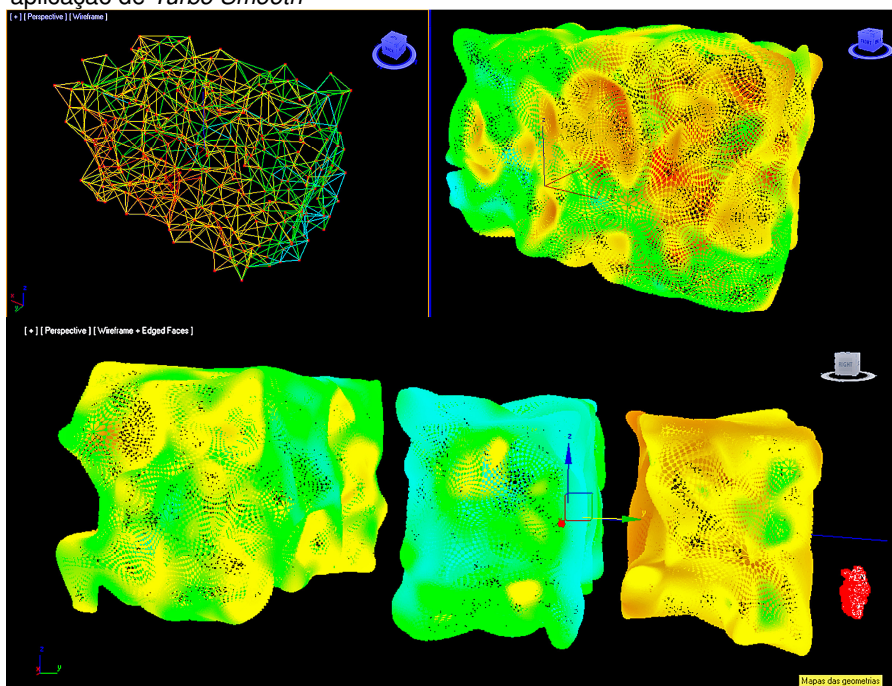
Fonte: o autor (2015)

Para a visualização da superfície após otimização da geometria e pintura de diferenciação, é aplicado o modificador *Turbo Smooth* (suavizador turbo) de forma a aumentar o povoamento de pontos suavizados, possibilitando a aquisição da compreensão acerca do comportamento da biomassa de compostagem, na superfície do processo.

A tipologia utilizada pelo *Soft Selection* utiliza correlação cromática de forma que zonas em cor laranja caracterizam áreas de profundidade (cavernas), enquanto que as áreas de gradação ao azul apresentam distanciamento maior ao ponto original definido pelo *Optimize Pro*, em etapas anteriores da edição para a habilitação na forma de polígono.

O resultado pode ser verificado na imagem na figura 66 , utilizando os dados exportados anteriormente na forma de listas, estruturadas utilizando Geomagic®, e editadas utilizando 3DsMax®:

Figura 66: Visualização de wireframe após utilização de *Soft selection* e aplicação de *Turbo Smooth*

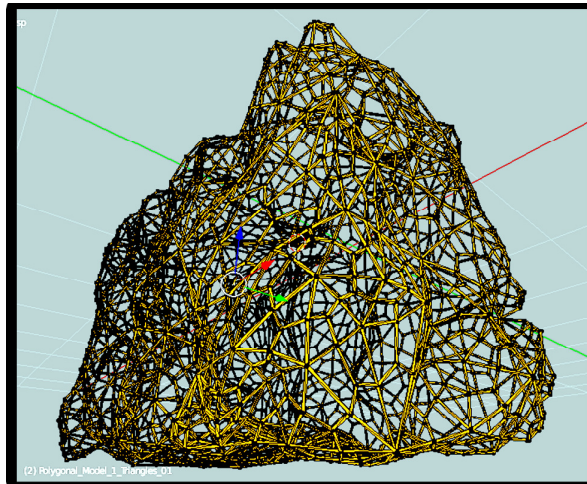


Fonte: o autor (2015)

Também é possível realizar uma visualização similar ao resultado verificado nas figuras 64 e 65 ao reduzir a ação das interações de suavização do *Turbo Smooth* de 3 para 1, repetindo-se o passo da aplicação da ferramenta (h) *Lattice*.

Tal visualização conduz a análise a um procedimento diferenciado, ligado a análise estrutural da organização da leira utilizando a análise visual. Em ambiente de Blender® o resultado obtido adquire a seguinte imagem na figura 67:

Figura 67: Visualização do resultado em ambiente de Blender®



Fonte: o autor (2015)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são comentados, os resultados obtidos com os modelos gerados pelas simulações, a partir do acúmulo de dados no campo do processo de compostagem realizado através da modelação algorítmica do desenho paramétrico e outras ferramentas. Os procedimentos aplicados produziram um conjunto de resultados para gerar representações utilizando recursos da informática e análise visual, oferecendo uma perspectiva da compostagem com uma importância baseada na sustentabilidade.

Tal desmembramento da simulação do processo de compostagem remete a utilização de modelos analógicos de decomposição do problema, ao subdividi-lo em várias partes do processo com base na interoperabilidade dos sistemas estudados.

Neste ponto, também foi verificada uma necessidade de qualificação de resultados, frente ao nível de experimentação no processo de M & S utilizado. Isto se deve a abordagem aplicada na extração de dados a partir dos modelos escritos por análise de malhas poligonais geradas durante o processo de simulação, descrevendo coesão com possibilidades no campo das Especificações de Transformação (PAGE JR, 1994) dos modelos simbólicos (PERROS, 2003); formas de implementação do modelo em acordo com o tempo, e Modelos de Transformação do Problema (VATTAM, HEMLS e GOEL, 2010).

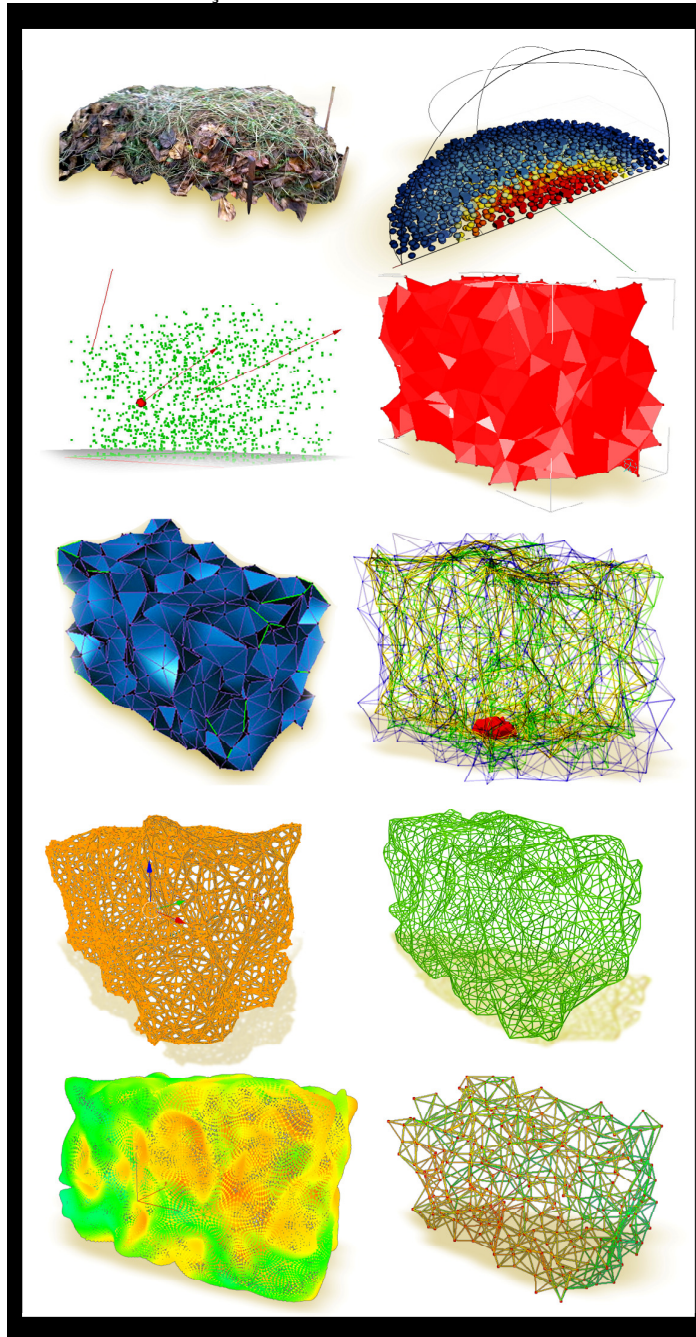
Tal necessidade é um importante integrante para avaliação e elemento condutor da pesquisa, frente a resultados verificados como possuindo baixa capacidade discursiva em nível simbólico para a declaração informacional do processo de compostagem, em um sentido subjacente. Acerca de tais etapas de qualificação, Ören (2009) contribui ao abrir procedência para sua aplicação no desenvolvimento de simulações, ao indicar a utilização de uma metodologia de extração de informação de um modelo durante a observação do comportamento do mesmo, tal como é realizado.

Dessa forma, a geração de modelos com tipologia de malhas e superfícies para qualificar o bom procedimento de tratamento de dados gerados pela simulação é considerada bem assentada.

Para qualificar a simulação, a aplicação do componente *Move* na modelagem algorítmica é considerada importante ao induzir a reflexão da compreensão sobre as seguintes questões: i) Sabin, Peters e Peters (2013) acerca de um percurso similar de pesquisa utilizando o componente *Voronoi 3D*; ii) e Agostini, Sundberg e Navia (2012), para a descrição da transferência de calor no meio poroso.

Para uma melhor utilização dos benefícios dos experimentos realizados para simular o processo de compostagem, é apresentada a figura 68 a partir da imagem de uma leira coletada durante a ação de extensão universitária⁸, ao lado de outros desenhos de soluções retirados das simulações realizadas, e posterior avaliação das imagens abordadas anteriormente.

Figura 68: Comparação entre evento observado e frames das simulações desenvolvidas



Fonte: o autor (2015)

⁸ O registro da imagem original é apresentado na figura 9 na introdução do capítulo 2.2.

Os modelos gerados podem ser comparados entre si e frente ao registro fotográfico do evento, possibilitando algumas generalizações. Basicamente, foram obtidas três categorias diferentes de modelos gerados: i) constituídos por um sistema de partículas e gerados algoritmicamente, ii) gerados por edição de dados de maneira a estruturar malhas a partir de um processo de qualificação dos pontos, e iii) modelos que atendem demandas restritas no processo de projeto.

A partir das informações coletadas, em primeira análise é constatado que experimentos de simulação como estes possibilitam o entendimento da importância de analogias, e condução por meio de base informacional em cenários de investigação voltada a previsão, através da modelagem e controle de processos assistidos por simulação computacional.

Tal necessidade por previsão encontra correlação direta com temas como sustentabilidade, mudanças climáticas, geração de resíduos sólidos orgânicos e utilização de fontes de energia renováveis, processos estudados no campo dos fenômenos naturais e áreas correlatas, conforme descrito inicialmente na 'Introdução' deste relatório.

Esta correlação com áreas citadas, frente a emergência de seus temas ligados ao aumento pela previsão, projeta na compostagem uma importante fonte de Bioinspiração para estudos no campo da geração de energia, novos materiais, novos produtos, e novos conceitos para avaliação de empreendimentos e condução de projetos.

Acredita-se que uma das marcas desta pesquisa é a dimensão quantitativa de elaborações conceituais com aprofundamentos precisos voltados ao universo da compostagem, e aplicação de simulações no campo de investigação do projeto.

A coleção de resultados compõe a soma de:

- i) 3 modelos estudados compondo desenhos produzidos utilizando operações algorítmicas, 7 arquivos de texto e 3 frames de *workflow* gerados por Grasshopper®;
- ii) 5 resultados por ciclos de aplicação do Solucionador por Simulação do Recozimento (*Simulated Annealing solver*), que aprimoram o modelo do algoritmo da simulação utilizando desenho paramétrico a partir de uma solução otimizada;
- iii) 20 modelos gerados em Autodesk 3DsMax 2013® para a descrição de resultados aptos à análise visual;

- iv) 8 modelos gerados por qualificação de superfície a partir da utilização do Geomagic Studio 10®;
- v) 7 modelos gerados para análise de malha poligonal em ambiente de Blender;
- vi) 4 modelos gerados em Avogadro®;
- vii) 5 organizações de resultados numéricos utilizados na geração de gráficos;
- viii) 7 arquivos de imagem tratados através de Adobe Photoshop CS6;
- ix) 18 renderização fotorrealísticas;
- x) 3 mapas mentais.

A coleção de resultados pode ser utilizada na tomada de decisão em ambientes de projeto relacionados ao universo do tema como: geração de resíduos sólidos orgânicos, meios porosos e estudos ambientais. Inclui-se também como possibilidade de uma utilização no campo do Design, por atrelamento às fases de modelagem do processo de compostagem, qualificação dos resultados gerados, e renderização fotorrealística, etapas apresentadas com detalhamento no capítulo 4.

Complementarmente, a fundamentação teórica foi verificada como contribuinte para as formulações conceituais que provém entendimento avaliativo acerca dos experimentos, a partir da distribuição dos principais autores no esquema sintético organizado com a contribuição de Vattam, Helms e Goel (2010), como apresentado no Quadro 9.

A geração do modelo sintético fundamentado na revisão teórica apresentada no Quadro 9, e sua apresentação em uma etapa antecipada ao desenvolvimento de produto, se dá também com o intuito de validar a presente pesquisa no âmbito simbólico (PERROS, 2003);

A partir do assentamento das pesquisas analisadas no campo da Bioinspiração viabilizado pelo projeto realizado, tal esquema acima mencionado consiste em afirmar a compostagem como objeto de estudo conceitual para a geração de soluções em Design nos âmbitos apontados ao início deste relatório, no quadro apontado por Tong (1987), nas instâncias de:

- i) Conhecimento incorporado, considerado um nível bem assentado pelos temas analisados durante a fundamentação teórica para a geração de considerações e aplicação em projetos de Design, apoiado pelos capítulos que sustentam a geração de dados para a resolução de problemas e tomada de decisão;

- ii) Aquisição da compreensão da compostagem como modelo conceitual funcional, mediante a transferência de conhecimento bioinspirado do objeto de pesquisa para o desenvolvimento de Design por simulação, dado o entendimento de requisitos e Sistemas Técnicos compreendidos para empreender o controle na realização.

A geração de um modelo de envio de sinal conforme abordado nos tópicos 'Conhecimento aplicado em ambiente de projeto', e 'Casos de conhecimento aplicado dos Domínios Naturais no design', se dá pela prioridade de apresentação de modelos conceituais sem a utilização de tecnologias de projeção, assegurado por uma contribuição de Page Jr (1994).

Foi compreendido que o segundo modelo simulado apresentado (Modelo algorítmico de compactação superficial), consta de considerações técnicas mais aprofundadas, sem, no entanto, descrever com detalhamento todas as fases do processo. Sua priorização entre os resultados da pesquisa se dá por oportunizar o estreitamento com os conhecimentos adquiridos por revisão teórica, de forma a elevar o nível de sua contribuição e possibilitar considerações mais aprofundadas sobre o processo, gerando maiores possibilidades de incursões projetuais no campo do produto e da simulação. A completar a compreensão das estâncias apontadas por Tong (1987) anteriormente:

- iii) Apontamento de possíveis melhorias no processo de compostagem, a partir das avaliações realizadas com aplicação na forma de simulação, investigada através dos vários modelos produzidos.

Porém, verifica-se que a demanda por um modelo baseado em uma condição do tipo forma-volume foi suprida pelo modelo algoritmo contendo o sistema do tipo forma-cor, uma implementação realizada em tal experimentação. Tal possibilidade foi obtida em função de uma articulação proposta pela relação entre autores presentes na fundamentação teórica a partir dos campos: i) simulação da compostagem (AGOSTINI; SUNDBERG; NAVIA, 2012); ii) necessidade de declaração de informação a partir da utilização de Geometria Inteligente (SABIN; PETERS; PETERS, 2013); e, iii) tipologias de simplificação no campo do desenho digital (RÜTTEN, 2006).

Complementarmente, foi possível acusar a coesão das etapas de pesquisa apresentadas com o processo de simulação e codificação para geração do produto

com base na fundamentação teórica, a partir das bases em Bioinspiração em um escopo de Design Morfogenético, dado as marcas do trabalho:

- i) O processo de investigação parte de um objeto de pesquisa em coesão com a descrição de elementos encontrados nos Domínios Naturais, dado sua relação conceitual com tais processos;
- ii) Há uma total coesão entre bases teóricas escolhidas para realizar a fundamentação, condução e avaliação da pesquisa, frente às atividades práticas;
- iii) Dado as ferramentas elencadas para desenvolver as atividades de projeção, relacionadas à prática com Desenho Paramétrico a partir das possibilidades de Análise Visual em meio digital, utilização da Geometria Inteligente, e conseqüentes marcos teóricos;
- iv) Dado o tipo de resultado apresentado pela geração de dados e critérios de avaliação escolhidos para analisar os resultados gerados pela pesquisa;
- v) Como resultado diante de um conjunto de modelos desenvolvidos e avaliados com base na fundamentação teórica;
- vi) A partir da verificada e fundamental coesão virtual com a Morfogenética e a transferência de conhecimento entre Domínios Naturais e Sistemas Artificiais em vias de reciprocidade: contribui para alterar estruturalmente processos no campo biológico a partir do estudo de simulações.

Utilizando ferramentas de mapeamento mental como as disponíveis por modelação a partir do *software* Freemind®, é possível ainda avaliar esta síntese projetual frente ao esquema conceitual. As considerações podem ser descritas a partir da implementação de definições para simulação, e tratamento sob conhecimentos adquiridos durante a Fundamentação Teórica.

Entrecruzando a aparição dos autores em ambos esquemas, obtém-se os autores essenciais para o entendimento deste estudo. Os autores de maior relevância verificados por frequência de citação são: Lorenz (1963), Bertoldi, Vallini e Pera (1982), Grefenstette (1986), Cagan, Degentesh e Yin (1998), Giordan e Góis (2004), Gómez Méndez (2009), Buttigieg (2010), e Agostini, Sundberg e Navia (2012).

Complementarmente, o percurso realizado pelas experimentações apresentou semelhança com o modelo geral de Composição do Design de Stankovic (2011), por estar baseado em três eixos de atuação para a tomada de decisão em projeto, conforme pode ser verificado em Pimentel, Santos e Silva (2012): condução, geração

e avaliação. Também é constatado um conteúdo nas fases de projeção que condizem com o tipo de expertise e conhecimentos utilizados pelo Designer.

Com base na utilização de informações no campo da compostagem e incursão em dois projetos envolvendo modelagem algorítmica do desenho paramétrico; geração de conteúdo no campo de análise; e, coleta e avaliação dos resultados: esta realização é considerada coesa também do ponto de vista da composição de estudos de simulação, como apresentado por Perros (2003) na Figura 39.

A partir da revisão bibliográfica comentada, observa-se que: a transferência de conhecimento a partir dos Domínios Naturais para uma aplicação na área de Sistemas Técnicos é uma característica básica da pesquisa com conteúdo teórico e prático, apresentando possibilidade em descrever contribuições analisadas para o campo de Design bioinspirado, e ao mesmo tempo, transitar e realizar indagações para várias outras áreas como Química, gestão de resíduos sólidos orgânicos, consumo, e questões sobre modelagem em Sistemas Técnicos com utilização de 3D.

Em tal nível são apresentados questionamentos em torno da necessidade de adaptação biológica, melhorias a serem aplicadas em processos de transferência analógica em outras esferas de aplicação.

O entendimento que se adquire sobre a necessidade de geração de novas metodologias recebe complementação, frente a uma abordagem experimental que apresenta extrapolação qualitativa na fundamentação teórica, bem como a procura por alternativas em oferecer melhores resultados com base na interoperabilidade entre os sistemas 3D utilizados.

A aplicação dos conhecimentos a partir do estudo da compostagem recebe retorno direto dos processos experimentais realizados, apresentando a partir de uma simulação diferenciada, a utilização de etapas alternativas de pesquisa. Tais etapas por sua vez também estão baseadas na possibilidade de imitar com grande distanciamento os Domínios Naturais, a exemplo do Solucionador com Simulação por Recozimento (*Simulated Annealing solver*).

É possível, portanto, reiterar que a presente atividade descreve coesão com a possibilidade de utilização de pontos descritos no processo gerado com a utilização de Algoritmos Genéticos, dado que estes estendem a geração de soluções e aplicabilidades em campos diversos da pesquisa, bem como possibilitam o intercâmbio entre as populações de gerações de soluções.

As informações no nível teórico e executivo descritas neste relatório apontam utilidade coesa com investigações no campo da gestão de resíduos sólidos, e

desenvolvimentos de produto no campo da compostagem, manuseio de leiras e ferramentas tecnológicas de aplicabilidade no campo.

O resultado da simulação com posteriores etapas de qualificação e tratamento, oferece subsídio conceitual para compreensão em nível simbólico do comportamento aleatório da superfície, caracterizada como meio poroso em deformação progressiva concomitante à degradação da biomassa, com resguardo às necessidades de aprofundamento no campo da espacialidade relacionada a distribuição térmica no centro de calor.

5.1 EXPERIMENTAÇÃO

De forma a apontar possíveis extrapolações para as atribuições desenvolvidas por simulação e avaliação de informação, a partir de Mendes (2012) é possível adquirir em uma descrição global da amostragem para o cálculo da reação, a descrição dos componentes químicos formadores no nível molecular da biomassa em uma leira de compostagem, a partir do Quadro 7:

Quadro 7: Composição química geral de diversos materiais orgânicos

Composição química geral de diversos materiais orgânicos (Haug, 1993).	
Componente dos resíduos	Composição química típica
Hidratos de carbono	$(C_6H_{10}O_5)_X$
Proteínas	$C_{16}H_{24}O_5N_4$
Gorduras	$C_{50}H_{90}O_6$
Lamas Primárias	$C_{22}H_{39}O_{10}N$
Lamas Mistas	$C_{10}H_{19}O_3N$
Madeira	$C_{294}H_{420}O_{186}N$

Fonte: Adaptado de Mendes (2012) pelo autor

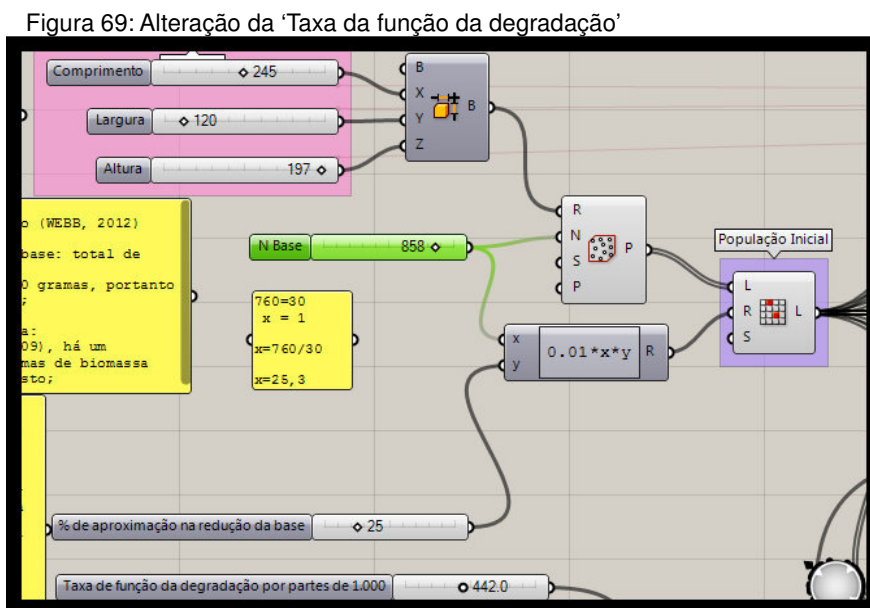
Como descrito anteriormente no tópico 'Metodologia', é possível atingir uma patamar avaliatório em âmbito prático acerca dos dados acumulados e simulados virtualmente, dada a verificação da adequação entre resultados obtidos e informações técnicas acerca da realização do processo.

A partir de dados no campo Bioinformático e sobre a capacidade real de processamento de produtos do campo pesquisado, é possível realizar correlações com os dados gerados pela simulação, para o apontamento de assertivas com nível

de verificabilidade tangível em atividades de experimentação no campo prático de projeto.

Sendo assim, declara-se para cada molécula simulada no início do processo de compostagem o peso de 10.594 g/mol com base na descrição realizada por Mendes (2012), para o peso molecular de cada composto conforme apresentado no Quadro 7. Tal peso é convencionado a partir da operação utilizando o componente *Random Reduce* sob dados dimensionais para povoar uma área de preenchimento a partir do artifício de um sólido primitivo, como descrito anteriormente no tópico 4.

Conforme descrito no capítulo 4, dado que Gómes Méndez (2009) aponta a possibilidade de geração de 340 g de húmus a partir de um quilo (1000 g) de material orgânico degradável (Figura 14), projeta-se para fins de simulação que a possibilidade de geração de material humificado diante de um condicionador com 1300 L de capacidade, seja de 442.000 kilogramas. Na simulação algorítmica, a entrada deste dado é denominada 'Taxa da função da degradação', como pode ser verificado na figura 69:



Fonte: o autor (2015)

- i) O peso molecular determinado para um ponto do povoamento simulado é então calculado para 858.000 unidades do material a preencherem os 1.300 litros do volume. Vale a reiteração que cada unidade possui 10.594 gramas de peso molecular. Na simulação tal entrada de dados é denominada de Número de Base, obtendo-se 9.089.652.000 μ p/ mL.

ii) De forma a possibilitar a comparação de dados em aplicações onde as dimensões são grandezas conhecidas, é utilizada a conversão de *gramas por litros-mols por litros*. Dessa forma, adquire-se a quantidade total de *u* proporcional em grandezas para que se encontre a molaridade extrapolada pela reação. Nesta fórmula, *C* é a substância em g/L, *MM* a Massa Molecular e *M* a molaridade, na resolução:

Substância = Massa molecular x molaridade

$$C = MM \cdot M$$

onde

$$1.300.000 \text{ u/mL} = 9.089.652.000 \text{ u/mL} \cdot M$$

$$M = 6.992,04$$

Para a experimentação, é possível realizar estimativas a partir da molaridade encontrada em conformidade com as escalas de volume de produtos do gênero, dado o final do marco do processo de geração do composto.

Desta maneira, declaram-se os valores para a experimentação realizada:

- i) Volume de compostagem calculado a partir da convenção estequiométrica declarada por Mendes (2012), e a partir da contribuição de Gómes Méndez (2009) acerca do fluxo da compostagem mediante a entrada de 1859 quilos de volume simulado. Valores mínimos obtidos se encontram na faixa entre 0,632 gramas (em até 0,03 % do volume original) de ácido húmico, até 2 quilos. Valor máximo de 453 quilos de composto é considerados limite, quantia considerada em função da possibilidade do aumento na temperatura (BERTOLDI; VALLINI, PERA, 1982, GIUSTI; MARSILLI-LIBELI, 2010), isoladamente;
- ii) Volume total de Carbono gerado a partir de dados apontados em Gómes Méndez (2009) (1,3%): com valores mínimos na faixa de 141,8 a 143 litros, atingindo até 256 quilos, também podendo formar compostos, tal como o ácido húmico. Complementarmente, Jha et al (2008) contribui para a aquisição da possibilidade de geração de volume na forma de efluente gasoso, em um quadro total de carbonos gerados compondo em somatória resultante partes com 60% de Metano (correspondendo aproximadamente a 85 litros) e 40% de Dióxido de Carbono (56,8 litros);

- iii) Volume de massa perdida em partes sólidas ao final do processo, correspondentes ao volume original, a partir dos dados descritos em Orrico Junior et al (2012) (20,4%): de 334 a 336 litros, após a transformação química de aproximadamente 929,5 litros do volume original;
- iv) Volume de Oxigênio correspondente na forma efluente gerado, a partir dos dados apresentados em Trautmann e Krasny (1998) (10%): 185 litros com utilização de cerca de 60% em etapas próximas de alcançar o ápice do metabolismo (fase Termófila);
- v) Dado a contribuição de Gómez Méndez (2009) para a descrição do fluxo da compostagem a partir da figura 14, é verificada a redução volumétrica de resíduos em até 50% de seu volume inicial, com geração de derivados de composto na forma de água e efluentes na forma gasosa, tal como CO₂ e H₂O. É verificada a organização destas informações relativas a temperatura, tempo, volume utilizado e perda de massa relativa, no quadro 8 no Apêndice.

Sendo assim, a partir dos dados comparados e frente à possibilidade de redução do tempo total da compostagem decorrente do aumento da temperatura, é possível descrever uma perspectiva de 113 litros de material degradado a mais que a estimativa apresentada por Gómez Méndez (2009), atendendo o critério (i) de avaliação do resultado da simulação apresentado no tópico 'Metodologia'.

Tal perspectiva é alcançável dado a realização de compostagem em condicionadores com aumento de temperatura, conforme descrito em Bertoldi, Vallini e Pera (1982) e Giusti e Marsili-Libelli (2010), e em nível direto, a partir da entrada de uma quantidade maior de material orgânico no processo. Apesar do maior rendimento, redução na emissão de gases, e utilização aproximada de mais da metade da quantidade de água descrita por Gómez Méndez (2009) durante o processo: é verificada junto à absorção de 1/3 do líquido residual uma geração consequente de material descartado 8 vezes maior.

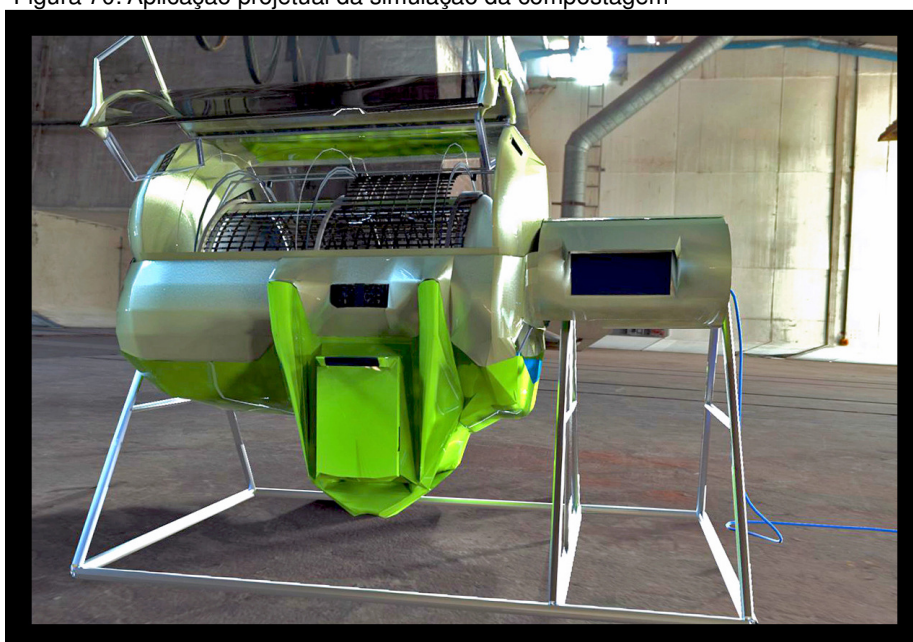
Ao comparar o parâmetro de correlação (10.594 g/mol), com o número obtido pela molaridade (6.992,04), obtém-se por diferença o valor de 3601,96: acusa-se este valor como sendo o índice para a margem de erro para valores obtidos ao avaliar a experimentação com suporte teórico de Gómez Méndez (2009), Orrico Junior et al (2012) e Trautmann e Krasny (1998).

Conforme constatações acerca da escala obtida para a representação simbólica do modelo inicialmente relatado, verifica-se com base na comparação dos dados

obtidos, que a simulação possui uma escala proporcional a 5.000.000 vezes maior que o evento analógico real, demandando no caso de uma aproximação maior em nível simbólico para a modelagem da simulação do processo, a utilização de um número de base com o valor de 1199 u (unidades de material).

Abaixo uma esquematização da aplicação dados experimentados em atividade de projeção na figura 70, demonstrando relação com o modelo de envio de sinal apresentado anteriormente na figura 37. Trata-se da proposta de projeto para uma composteira doméstica, contendo a aplicação projetual dos requisitos compreendidos pela Fundamentação Teórica:

Figura 70: Aplicação projetual da simulação da compostagem



Fonte: o autor (2015)

É confirmada frente a dados presentes na revisão teórica, a redução das taxas de Nitrogênio mediante a atuação de operações de revolvimento e aeração, reduzindo em até 1/3 as proporções iniciais para o elemento, e possibilitando o controle da geração de compostos indesejados como a Amônia. Em contrapartida, a composição atmosférica dentro dos tambores, com caracterização dos gases componentes como taxas de Carbono, Oxigênio, Nitrogênio, e composição do ar por compostos como NH_4 e CO_2 , permanece como pauta de pesquisa.

Alguns dos problemas verificados durante a coleta de dados na realização da fundamentação teórica continuam perenes, e padecem de maior compreensão e aprofundamento em nível técnico para a aquisição de resultados mais pertinentes no campo da simulação.

Por exemplo, acerca da exploração do cálculo para aquisição do Centro de Densidade, Calor e Geometria, ao correlacionar a especificação de condições (PAGE JR, 1994) unindo duas funções distintas entre ambos os sistemas por convenção. É percebido neste recorte, que a função de degradação é decretada por tentativas em medir o espaçamento entre os pontos aproximados.

A operação dos componentes algoritmos acusando tal margem de ambigüidade na geração de soluções indica que: apesar de não ter utilizado a geração automatizada de soluções tal como preconizado no campo da Bioinspiração por Nagel e Stone (2012) a partir da utilização do modelo Thesaurus, a utilização de tal convenção é descrita como uma articulação do tipo *funções-fluxo* verificada no modelo de simulação contendo um sistema do tipo cor-forma⁹. Portanto, é possível verificar semelhanças com Nagel e Stone (2012) acerca do percurso realizado neste escopo de pesquisa, a partir da operações de componentes na simulação algorítmica como os *End Points (E), Distance, Division A/B*.

Desta forma, é mantida a Incerteza Epistêmica (REYNOLDS JR, 2008) para a realização de aprimoramentos nos experimentos que compõem a simulação, de maneira a completar os níveis de entendimento a partir de um assentamento no campo simbólico com experimentação, tal qual descrito neste relatório. Outros problemas encontrados foram:

- i) A distribuição do calor dentro do meio poroso na região mais interna da leira de compostagem carece de detalhamento, conforme preconizado por Agostini, Sundberg e Navia (2012), de maneira que tal aprimoramento interfere diretamente no resultado da modelagem das características da manutenção de calor no centro da biomassa e conservação da temperatura, dado a descrição acerca do espaçamento entre as moléculas no meio.

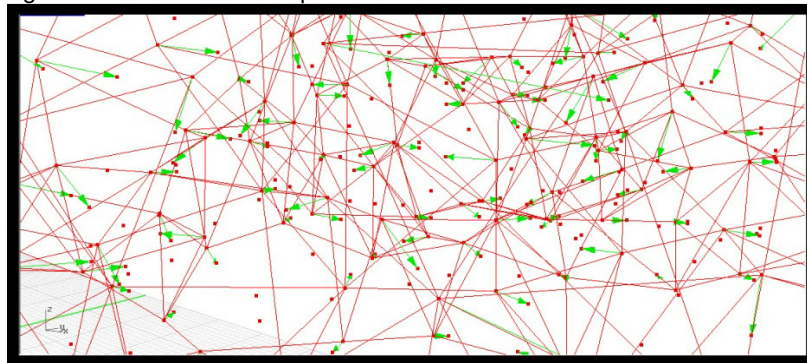
Em acordo com o mapeamento mental realizado (figura 75), há a necessidade de aprofundamento em conhecimentos no campo das: i) distribuição do calor no centro do meio poroso; ii) descrição da variação nos processos simultâneos do comportamento da temperatura em função do tempo; iii) descrição do centro da biomassa; iv) centro da densidade das leiras de compostagem; e, v) descrição de possíveis controles da variação no tempo decorrido na compostagem.

⁹ Apresentada na figura 58.

Porém, em conformidade com o que fora apresentado na figura 23, a representação para o fluxo de fluido proposto por Agostini, Sundberg e Navia (2012), apresentou no limite teórico, similaridade acerca da orientação das partículas, frente à necessidades de caracterizá-las por modelos de movimentação em uma perspectiva ampliada do evento. O resultado da modelação algorítmica pode ser verificado na Figura 71.

- ii) A descrição dos marcos temporais encontra coesão com o diagnóstico problemático no campo das simulações conforme apresentado por Page Jr (1994), uma vez que carecem de maior detalhamento acerca das simultaneidades dos marcos do processo. De forma a apontar uma possível solução projetual para a descrição dos marcos de tempo, é proposta a interação dos componentes projetados com um temporizador. Tal possibilidade descreve coesão novamente com o tipo de analogia transformadora do problema, ao reverter um tópico não-solucionado ao campo de diretrizes parametrizáveis por atividade de projeto;
- iii) O comportamento de distribuição térmica em uma superfície também carece de maior entendimento desde incursões anteriores na modelagem de simulação, de forma a possibilitar melhores estratégias de modelagem de simulação em softwares como Grasshopper®, ou em outros sistemas.

Figura 71: Detalhes da viewport do Rhinoceros 4®



Fonte: o autor (2015)

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Como objetivos futuros compreendem-se, também:

- i) Realizar uma descrição do percurso da biodegradação até a etapa de estabilização e formação do ácido húmico, com informações acerca dos

marcos de forma detalhada, de maneira caracterizar a simulação próxima ao processo analógico em um recorte ainda mais reduzido, contando com a descrição dos processos bioquímicos envolvidos;

- ii) Apresentar considerações acerca da compostagem no campo tridimensional e de representação, contando com a caracterização da relação forma-tamanho em acordo com a composição volumétrica da biomassa. Tal aquisição possibilita esquematizações extrapolativas para uma correlação com o tipo de fauna dentro da biomassa de compostagem. Este tipo de estudo é verificado em modelos como o *Biomodel*, descrito entre as contribuições apresentadas por Bongochgetsakul e Ishida (2008), ao propor cálculos que incluem a variável de ação de microorganismos sob o meio em degradação.

Complementarmente, em acordo com Bongochgetsakul e Ishida (2008) é verificada uma carência no campo de modelos conceituais de compostagem que abranja fatores como: transporte de massa, energia, e variação espacial. Verifica-se, também uma necessidade em realizar aplicações desenvolvidas nos experimentos para o campo de projetos com superfície responsiva, tal como verificado em Martino e Celani (2012) no campo da Arquitetura Digital. Prosseguindo com os objetos futuros, têm-se:

- iii) Aprofundar conhecimentos no campo das analogias explanatórias na área da Bioinspiração, dado que contribuíram para o processo alcançar resultados diferenciados de avaliação para o entendimento das informações contidas na Fundamentação Teórica;
- iv) Dado a ampliação da utilidade do termo *knowledge-based design* em uma gama de atividades de projeto: apresentar um novo foco de investigação e aplicação do termo, como por exemplo, a Bioinformática. É verificado semelhanças também, entre as etapas de pesquisa realizadas por Garrido-Baserba et al. (2012) e o escopo de atividades realizadas e descritas neste relatório;
- v) Verificar se há alternativas de avaliação de geometria que possam oferecer de antemão, avaliações do resultado de algoritmos, superfícies, e fotorrealismo, de maneira aperfeiçoar o percurso realizado.

REFERÊNCIAS

ABBUD, Paulo Roberto. **Design da informação**: requisitos de projeto para um sistema de gerenciamento no processo projetual do produto edificação. 2009. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, 2009.

ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2011. Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>>

AGOSTINI, Francesco; SUNDBERG, Cecilia; NAVIA, Rodrigo. Is biodegradable waste a porous environment? **A review. Waste Management & Research**, v. 30, n. 10, p. 1001-1015, 2012.

AISH, Robert; PETERS, Brady; PETERS, Terri. **First Build Your Tools. Inside Smartgeometry**: expanding the architectural possibilities of computational Design, p. 36-49, 2012.

ALBORS-GARRIGOS, J.; HERVAS-OLIVER, J.; HIDALGO, A. Analysing high technology adoption and impact within public supported high tech programs: An empirical case. **The Journal of High Technology Mananagement Research**, v. 20, Issue 2, p. 153-168, 2009.

AMÂNCIO, R.; CLARO, D. P.; CLARO, P. B. de O. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, n. 4, 2008.

AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

ANVISA. Resolução RDC n. 33, de 25 de fevereiro de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2003. 32 p.

ARDAYFIO, D. D. Principles and practices of design innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 64, Issue 2-3, p. 155-169, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13894**: Tratamento no solo (landfarming). 1997. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de resíduos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de residues. Rio de Janeiro, 1987.

AUDETTE, Michel A.; CHERNIKOV, Andrey; CHRISOCHOIDES, NIKOS S P. A. **Review of Mesh Generation for Medical Simulators. Handbook of Real-World Applications in Modeling and Simulation**, v. 2, p. 261, 2012.

BANDONI, A. **Objetos da floresta = Objects of the forest**. 1. ed. São Paulo: Andrea Bandoni de Oliveira, 2012.

BAYAZIT, N. Investigating design: a review of forty years of design research. **Design Issues**, Massachusetts, v. 20, n. 01, p. 24, 2004.

BEFFA, Trello. **The composting biotechnology**: a microbial aerobic solid substrate fermentation complex process. The composting process and management. MADEP SA, PO. BOX, v. 415, p. 2022, 2002.

BENTLEY, P. J. **"Exploring component-based representations-the secret of creativity by evolution?."** Evolutionary design and manufacture. London, 2000. p. 161-172.

BENTLEY, Peter J. et al. New trends in evolutionary computation. In: **Evolutionary Computation**. Proceedings of the Congress on. IEEE, 2001. p. 162-169.

BENYUS, Janine M. **Biomimicry**. New York: William Morrow, 1997.

BERGDOLL, B. **Nature's architecture: the quest for the laws of form and the critique of historicism. Nature design**: From inspiration to innovation. p. 44-60, Zurique: Museum für, Gestaltung Zürich. Zürcher Hochschule der Künste ZHdK, Zürcher Fachhochschule and Lars Müller Publishers, 2007.

BERGIGNAT, J. BEHANCE. **Envi**: second round on BraunPrize Competition. Projetado por Julien Bergignat, Cecilia Jia e Johnny Chen, 2009. Disponível em: <<http://www.behance.net/gallery/Envi/264728>>.

BERTALOT, M. J. A. B.; MENDOZA, E. **Compostagem**, 2002.

BERTOLDI, M. de; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: **a Review. Waste Management & Research**, v. 1, n. 2, p. 157-176, 1983.

BONGOCHGETSAKUL, Nattakorn; ISHIDA, Tetsuya. A new analytical approach to optimizing the design of large-scale composting systems. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 1630-1641, 2008.

BRASIL, E. C.; MATOS, F. O.; PIMENTEL, B. G. S.; REZENDE NETO, P. C.; RODRIGUES, M. A. S. **Estudo sobre o processo de construção de um protótipo de uma composteira eletrodoméstica em alumínio**. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC. CERRADO: ÁGUA, ALIMENTO E ENERGIA, 63., 2010. Foz do Iguaçu, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012. 73 p. - (Série legislação; n.81) Atualizada em 18/5/2012.

BRASIL. **Decreto Nº 7.404/2010**. Casa Civil da Presidência da República (23 de 12 de 2010). Acesso em 07 de nov. 2013.

BRIDI, E. **Resíduos sólidos urbanos**: uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final. Dissertação. (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel Jesús; CABRERA CAPITÁN, Francisco. **Factores que afectan al proceso de compostaje**., 2008. p. 93.

BURNETT, R. D.; HANSEN, D. R. Ecoefficiency: defining a role for environmental cost management. *Accounting, Organizations and Society*, v. 33, p. 551-581, 2008.

BUTTIGIEG, Pier Luigi. Perspectives on presentation and pedagogy in aid of bioinformatics education. *Briefings in Bioinformatics*, v. 11, n. 6, p. 587-597, 2010.

BÜRDEK, B, Design: **History theory and practice of product design**. Berlin: Birkhäuser Publishers for Architecture, 2005.

CAGAN, Jonathan; DEGENTESH, Drew; YIN, Su. A simulated annealing-based algorithm using hierarchical models for general three-dimensional component layout. *Computer-Aided Design*, v. 30, n. 10, p. 781-790, 1998.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. de. **Ecomateriais**: caracterização de compósitos biodegradáveis provenientes de fibras vegetais brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 4., e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DESIGN, 4., 2013, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 4 e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DESIGN, 4., Porto Alegre, 2013.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. de. **Design para a sustentabilidade e o ciclo de vida dos materiais**: uma reflexão acerca da produção de compósitos biodegradáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 2014, Gramado - RS. 2014.

CAMPANI, D. B. **Indicadores socioambientais como instrumento de gestão na coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CAPORELLO, T. J.; WOLFE, P. M. A synopsis of industrial engineering methods utilized in designing for the environment. *Computers & Industrial Engineering*, v. 29, n. 1, p. 393-397, 1995.

CARMO, M. S. **An Analysis of Policies in Support of Waste Collecting in Rio de Janeiro**: three case studies, post-consumer waste recycling and optimal production, Enri Damanhuri (Ed.), 2012.

CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical inference**. 2nd. ed. Duxbury, 2001.

CELANI, G.; CYPRIANO, D.; GODOI, G. V. de; VAZ, C. E. A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexão-Comunicação e Cultura**, Caxias do Sul, v. 5, n. 10, jul./dez., p. 183-197, 2006.

CHANDLER, Cintia et al. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. **Multiciencias**, v. 8, n. 1, p. 19-27, 2008.

CHOMSKY, N. Three models for the description of language. **Information Theory, IRE Transactions on**, v. 2, n. 3. Sept. p. 113-124, 1956.

COSTA, M. S. S. M. et al. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009.

COSTA, A. R. C.; NUNES, J. V.; BORTOLADO, M. M.; SOUSA, R. P. L. **Design e naturalismo**: filosofia naturalista, biônica e ecodesign In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2010. Brusque-Santa Catarina, 2010.

CROSS, N. From a design science to a design science to a design discipline: understanding designerly ways of knowing and thinking. **Design Issues**. v. 17, Issue, 3, p. 49-55, 2001.

DAVIS, G.; SONG, J. H. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. Industrial crops and products: **An International Journal**, v. 23, p. 147-161, 2006.

DEPULPO, Carlos Henrique. Protocolo de Kyoto. In: FUJIHARA, M. C.; LOPES, F. G. **Sustentabilidade e mudanças climáticas**: guia para o amanhã. São Paulo: Terra das Artes Editora; São Paulo: Senac, 2009.

DEON SETTE, M. T. Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma avaliação inicial acerca dos aspectos jurídicos e econômicos. **Revista Jurídica da Universidade de Cuiabá**, v. 12, p. 20-25, 2010.

DETANICO, F. B. **Sistematização de princípios de solução da natureza para aplicação no processo criativo do projeto de produtos**. Tese. (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, 2011.

DIMAS, R. R. **La bioinspiración al alcance de las nuevas tecnologías**. Tesis (Posgrado em Diseño Industrial) - Universidad Autónoma de México, 2009.

DORCZI, G. **O poder dos limites**: harmonias e proporções na natureza, Arte & Arquitetura. 6. ed. Tradução: Maria Helena de Oliveira Tricca e Júlia Bárany Bartolomei. São Paulo: Publicações Mercuryo Novo Tempo, 2012.

FARREL, R.; HOOKER, C. The Simon-Kroes model of technical and the distinction between science and design. **Design Studies**. v. 33, Issue 5, v. 16, Issue 5, p. 480-495, 2012.

FENGTAO, W. A. N. G. Digital morphogenesis in Architecture Design. **Community Design**, v. 5, p. 09, 2012.

FIALHO, Lucimar Lopes et al. Interferência da lignina na quantificação de radicais livres no processo de compostagem. **Quim. Nova**, v. 33, n. 2, p. 364-369, 2010.

FISHER, Brian. Science and smart graphics. **Information Technology**, v. 3, p. 142-148, 2009.

FRASCATI MANUAL. **Frascati manual 2002**: proposed standard practice for surveys on research and experimental development. OECD, 2002.

FRIEDMAN, K. **Creating design knowledge**: from research into practice. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND TECHNOLOGY EDUCATIONAL RESEARCH. 2000. Loughborough University Leicestershire, United Kingdom, 2000.

GARRIDO-BASERBA, Manel et al. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 384-391, 2012.

GERO, John S. Creativity, emergence and evolution in design. **Knowledge-Based Systems**, v. 9, n. 7, p. 435-448, 1996.

GIORDAN, Marcelo; GÓIS, Jackson. Telemática educacional e ensino de química: considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. **Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa-RELATEC**, v. 3, n. 2, p. 41-60, 2004.

GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. Fuzzy modelling of the composting process. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, p. 641-647, 2010. Ou 2009

GOEL, Vinod. **Ill-structured representations" for ill-structured problems**. In: PROCEEDINGS OF THE FOURTEENTH ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY. 1992. p. 130-135.

GOMES, C. F.; NUNES, K. R. A.; XAVIER, L. H.; CARDOSO, R. C.; VALLE, R. Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. **Omega: the International Journal of Management Science**, v. 36, p. 395-404, 2008.

GÓMES MÉNDEZ, M. G. **Aplicación de técnicas de ciclo de vida al diseño de un sistema de gestión de residuos urbanos para la ciudad de Chihuahua**. Thesis (Doutorado) - Departament d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili, 2009.

GREFENSTETTE, John J. Optimization of control parameters for genetic algorithms. **Systems, man and Cybernetics, IEEE Transactions on**, v. 16, n. 1, p. 122-128, 1986.

GUNTER, Dawn. **Emergent morphogenetic Design strategies**. 2010. Tese (Doutorado) - University of South Florida.

GUERRERO, Jhoniers; MONSALVE, Jaime A. El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. **Scientia et Technica**, v. 3, n. 32, 2006.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Manage**, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.

HAWKING, Stephen. **O universo em uma casca de noz**. São Paulo: Editoria Arx, 2001.

HAYMAKE R, J.; WELLE, B. **An integrated conceptual design process for energy, thermal comfort, and daylighting**: ProposalCIFEPrecourt. Stanford: Stanford University, 2008.

HENDGES, S. **PNRS** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por bento.pimentel@ufrgs.br em 2013.

HERNANDÉZ, C. T.; MARINS, F. A. S.; CASTRO, A. R. C. Modelo de gerenciamento da Logística Reversa. **Gest. Prod.** v. 19, n. 3, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n3/01.pdf>.

IPCC. **Climate Change 2007**: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pachauri, R. K., Reisinger, A., (Ed). Geneva, Switzerland; p 104, 2007.

JACOBI, P.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JANTSCH, Erich. **Towards interdisciplinarity and transdisciplinarity in education and innovation**: Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities. Paris: OECD, 1972. p. 97-121.

JHA, Arvind K. et al. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: A case study of Chennai landfill sites. **Chemosphere**, v. 71, n. 4, p. 750-758, 2008.

JUNIOR ORRICO et al. Composting of beef cattle manure: influence of period, genotype and diet. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

KAWASAKI, J. **OURWORLD 2.0**: Farming in the concrete jungle, 15 de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://ourworld.unu.edu/en/farming-in-the-concrete-jungle>>. Acesso em: 31 Maio 2011.

KIEHL, E. J. Metodologia da compostagem e ação fertilizante do composto de resíduos domiciliares. Piracicaba: ESALQ-USP, 1979. In: LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995.

KIM, Y.; CHOI, S. M. Antecedents of green purchase behavior: an examination of collectivism, environmental concern, and PCE. **Advances in Consumer Research**. v. 32, p. 592-599, 2005.

KOLAREVIC, Branko (Ed.). **Architecture in the digital age**: design and manufacturing. Taylor & Francis, 2004.

KOLAREVIC, Branko; PETERS, Brady; PETERS, Terri. **Parametric evolution. Inside smartgeometry**: expanding the architectural possibilities of computational design. 2013. p. 50-59.

LIMA, M. O. M. S. V. de. **Pré-projeto de lei**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. 2007.

LIN, Y.; FUJII, M.; WANG, P. Study on Comparison of Citizens' Environmental Awareness Among Four Cities in China and Japan. **Canadian Research & Development Center of Sciences and Cultures**, v 5, n. 03, 2011.

LORENZ, E. N. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Massachusetts, 1963.

LUPTON, E.; PHILLIPS, J. C. **Novos fundamentos do design**. Tradução: Cristian Borges. São Paulo: Cosac Naify, 2008, 248 p.

MARIN, Vinícius. **Produção de resíduos sólidos e perspectivas para implantação de usina de compostagem em Veranópolis-RS**. Trabalho de Conclusão de Graduação. (Monografia) - Curso de Geografia: Bacharelado, Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

MARMOLEJO, L. F.; DIAZ, L. F.; TORRES, P.; GARCÍA, M. **Perspectives for sustainable resource recovery from Municipal Solid Waste in developing countries**: applications and alternatives, Waste Management - An Integrated Vision, InTech, 2012. Available from: <<http://www.intechopen.com/books/waste-management-an-integrated-vision/perspectives-for-sustainable-resource-recovery-from-municipal-solid-waste-in-developing-countries-ap>>.

MARTINO, J; CELANI, G. O algoritmo evolutivo como método projetual. in Education. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16., 2012, **Anais...**p. 570-575, 2012.

MARTINO, J. **Simulated annealing solver** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por bento.pimentel@ufrgs.br em 22 de Setembro de 2014.

MANSANO, J.; KIECKHÖFER, A. M. Gestão integrada de resíduos sólidos e a responsabilidade compartilhada. **Derecho y Cambio Social**, n. 26, La Molina, Lima - Perú, 2011. Out 2012.

MANSHARAMANI, V. **Towards a theory of service innovation**: an inductive case study approach to evaluating the uniqueness of services. Master of science at the Massachusetts Institute of Technology, 2005.

MANZINI, E, VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Editora da USP, 2008.

MCDONOUGH, W. BRAUMGART, M. Cradle to cradle: remaking the way we make things. North Point Press, New York. USA, 2002.

MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **The limits to growth: a report to The Club of Rome**. New York: Universe Books, 1972.

MENDES, António Francisco Trancoso. **Estudo técnico-económico de uma unidade de co-compostagem de lamas de ETAR**. 2012.

MIGUEL, P. A. C. **Implementação do QFD para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Atlas, 2008.

MOREIRA, H. M.; GIOMETI, A. B. R. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no mecanismo de desenvolvimento limpo por meio de projetos em energia. **Contexto Internacional: Revista Semestral do Instituto de Relações Internacionais**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 2, 2007.

MORELLI, N. Social Innovation and new industrial contexts: can designers "Industrialize" socially responsible solutions? **Design Issues**, v. 23, n. 4, 2007.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. 5. ed. rev. mod. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

MOSS, R. H. E. J. A. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p. 747–756, 2010.

NAGEL, J. K.; NAGEL, R. L.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A. Function based, biologically inspired concept generation. *AI IEDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design*. **Analysis and Manufacturing**, v. 24, p. 521-535, 2010.

NAGEL, Jacquelyn K. S.; STONE, Robert B. A computational approach to biologically inspired design. *Artificial Intelligence for Engineering Design*. **Analysis and Manufacturing**, v. 26, n. 02, p. 161-176, 2012.

NARDELLI, E. S. Arquitetura e projeto na era digital. **Arquitetura Revista**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, jan./jun., p. 28-36, 2007.

NESPOLO, C. R. **Qualidade sanitária de composto de lixo urbano em função de diferentes processos de aeração**. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

NETO, M. C. Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Responsabilidade Compartilhada. Acesso em 12 de Abril de 2012. Disponível em <<http://www.fimai.com.br/>>

NOWOSIELSKI, R.; ZAJDEL, A. Recycling's technology. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 21, Issue 2, abr., 2007.

OECD. **OECD Economic Surveys: Germany**, 2012. OECD Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/eco_surveys-deu-2012-en>.

ÖREN, T. I. Uses of simulation. In: SOKOLOWSKI, J. A.; BANKS, C. M. (Ed.). **Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach**. 2009. Chapter 7.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, p. 229-265, 2006.

OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. New structuralism: design, engineering and architectural technologies. **Architectural Design**, v. 80, n. 4, p. 14-23, 2010.

PADUAN, R. Para onde vai o dinheiro do consumidor. **Exame**, São Paulo, v. 6, n. 940, p. 22, 2009. Edição especial.

PAGE JR., Ernest H. **Simulation modeling methodology**: principles and etiology of decision support. 1994. Tese (Doutorado) - Virginia Polytechnic Institute and State University.

PALLERONI, S. **Katrina Furniture Project, Design for the other 90%**. Smithsonian Cooper-Hewitt. New York: National Design Museum, p. 66-73, 2007.

PELUSO, R. M. B. **Economia ambiental e políticas públicas**: uma análise situacional de Erechim no Rio Grande do Sul a partir dos anos 90. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Economia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PERROS, Harry. **Computer simulation techniques**: the definitive introduction. North Carolina: Computer Science Department, North Carolina State University, Raleigh, USA, 2003.

PETERS, Brady (Ed.). **Inside smartgeometry**: expanding the architectural possibilities of computational design. Wiley, 2013.

PIMENTEL, B. G. S. A mudança na filosofia de produto In: SIMPÓSIO NACIONAL ABCIBER, 3., 2009, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, 2009.

PIMENTEL, B. G. S. **Apontamentos sobre responsabilidade, design e sustentabilidade**. Artigo On-Line: Design em artigos, 2010. Disponível em:<http://www.designemartigos.com.br/responsabilidade-design-e-sustentabilidade/>.

PIMENTEL, B. G. S.; SILVA, V. S. B. **Moda e mercado depois da modernidade**. In: COLÓQUIO NACIONAL DE MODA, 7., Maringá 2011.

PIMENTEL, B. G. S.; RODRIGUES, M. A. S.; SANTOS, N. S. O desenvolvimento de uma composteira doméstica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL=INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DESIGN, 2011, Recife. **Anais...** Recife: Editora da UFPE, 2011.

PIMENTEL, B. G. S. **O desenvolvimento de uma composteira doméstica segundo o método QFD**: uma abordagem sintética. Monografia (Bacharelado em Design Habilitação em Projeto de Produto) - Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade Estadual do Pará, Belém, 2011.

PIMENTEL, B.G.S. **Interdisciplinaridade teórica sobre Estética Mercadológica e Tendência para 2013** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PESQUISA: CONSUMO, 2., São Paulo, 2012.

PIMENTEL, B. G. S.; MOURA, A.; OLIVEIRA, E. A. G. A compostagem como objeto de estudo do design: experiências de um cenário no Pará e Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 10., São Luis. **Anais...** São Luis: EDUFMA, 2012.

PIMENTEL, B. G. S.; PIMENTEL, M. O. S. S.; MACÊDO, B. Experiências de afinidade com design social em uma instituição de educação não-formal In: X Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 10., 2012, São Luís. **Anais ...** São Luis: EDUFMA, 2012.

PIMENTEL, B. G. S.; SANTOS, S. S.; SILVA, R. P. **Utilizando o QFD para o planejamento de configuração em design:** projetos, rápidos, racionais e mirados na sustentabilidade. In: CBECIMAT-CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2012, Joinville, 2012. CD-ROM.

PIMENTEL, B. G. S.; BUENO, E.; SILVA, R. P. **Rumos da pesquisa no design contemporâneo:** materialidade, gestão e serviço. Simulação do processo de compostagem utilizando o desenho paramétrico. 1. ed. Organização: Marzilda dos Santos Menezes, Mônica Moura, 322 p. Perdizes: Estação das Letras e Cores, v. 5, p. 288-310, 2013. ebook.

PIMENTEL, B. G. S.; DEMARCHI, G. S.; SILVA, R. P.; SILVA, T. L. K. Contexto e tendências para o design da hipermodernidade. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE DESIGN, 2013, Belo Horizonte. **Anais...** 2013.

PIMENTEL, B. G. S.; DEMARCHI, G. S.; SILVA, R. P.; SILVA, T. L. K.; TEIXEIRA, F. S. **Descrevendo o percurso de ideação em um experimento em PDP:** da geração à avaliação de alternativas. Artigo desenvolvido em Concepções de projeto, orientação Prof. Régio Silva Pierre, Tânia Luisa Koltermann da Silva e Fabio Teixeira. Departamento de Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Design: Mestrado e Doutorado com Concentração em Design e Tecnologia, 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2013.

PIMENTEL, B. G. S.; SILVA, R. P. **O design e os sistemas naturais.** Artigo desenvolvido em História e Crítica do Design, orientação Profa. Dra. Paula Ramos, Departamento de Artes Visuais. Programa de Pós-Graduação em Design. Mestrado e Doutorado com Concentração em Design e Tecnologia, 2013. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PIMENTEL, B. G. S.; BRITO, T. O. **Bio-inspiração em grampos cirúrgicos:** utilizando o caso da formiga Atta sp. sob método biônico com digitalização 3D e método gráfico. Artigo desenvolvido em Tecnologia 3D para Fabricação, orientação Prof. Dr. Fabio Pinto, Departamento de Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Design: Mestrado e Doutorado com Concentração em Design e Tecnologia, 2013. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PIMENTEL, B. G. S.; SILVA, R. P. **Como o problema do conhecimento no design se apresenta.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 2014, Gramado - RS, 2014.

PIMENTEL, B. G. S. BRUSCATO, U. SILVA, R. P. TEIXEIRA, F. S. **Experimentação de um produto a partir de ferramentas da fabricação digital.** In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 2014, Gramado - RS, 2014.

POINCARÉ, H. **Mémoire sur les courbes définies par les équations différentielles I-IV**, Oeuvre, IGauthier Villars, Paris, 1890.

POINCARÉ, H. **Sur les équations de la dynamique et le problème des trois corps**, Acta Math., 13, pp. 1–270, 1890.

PRIGOGINE, Ilya. **From classical chaos to quantum chaos**. Vistas in astronomy, v. 37, p. 7-25, 1993.

POLAK, P. **Design for the Other 90%**. Smithsonian Cooper-Hewitt. New York: NationalDesignMuseum, p 5-25, 2007.

PUIG ARNAVAT, Maria. **Performance modelling and validation of biomass gasifiers for trigeneration plants**. 2011.

QUEIRUGA, D.; GONZÁLEZ BENITO, J.; LANDELONGUE, G. Evolution of the electronic waste management system in Spain. **Journal of Cleaner Production**. v. , n. 2011.

REYNOLDS JR, Paul F. **The role of modeling and simulation. Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach**. 2008. p. 25-43.

ROUDAVSKI, Stanislav. Towards morphogenesis in architecture. **International Journal of Architectural Computing**, v. 7, n. 3, p. 345-374, 2009.

RUTTEN, D. **Proximity: how to represent reality in sketches**. A graduation project. Netherlands: TechnicalUniversity of Delft, 2006.

SABIN, Jenny E.; PETERS, Brady; PETERS, Terri. **Matrix Architecture. Inside Smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational Design**, p. 60-71, 2013.

SACHS, A. **Paradise lost? Comtemporary strategies of nature design. Nature design: from inspiration to innovation**. Zurique: Museum für, Gestaltung Zürich. 2007. p. 262-274.

SANTANA, S. M.; ROAZZI, A.; DIAS, M das G. B. B. Paradigmas do desenvolvimento cognitivo: uma breve retrospectiva. **Estudos de Psicologia**, v. 11, n. 1, p. 71-78. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

SANTOS, R. H. S. **Compostagem: trabalhador na olericultura básica**. Brasília, DF: SENAR, 2003. 59 p. v. 70.

SAREWITZ, D.; PIELKE JR., R. Prediction in science and policy. Technology in society. **Pergamon**, n. 21, p. 121-133, 1999.

SCHRÖDINGER E. An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. Physical Review, 1926.

SEADON, J. K. Sustainable waste management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1639-1651, 2010.

SEARLE., J. R. Is the brain a digital computer. **Design Issues**. v. 64, n. 3, p. 21-37, 1990.

SHELDRAKE, Rupert; MCKENNA, Terence K.; ABRAHAM, Ralph. **The evolutionary mind: dialogues at the edge of the unthinkable**. Triologue Press, 1998.

SICHE, J. R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Sustainability of nations by índices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the energy performance índices. **Ecological Economics**, v. 66, p. 628-637, 2008.

SILVA, Edelci Nunes; RIBEIRO, Helena. Alterações da temperatura em ambientes externos de favela e desconforto térmico. **Rev Saúde Pública**, v. 40, n. 4, p. 663-70, 2006.

SILVA, N. C. L., MATOS, A. T. de; SARTORI, M. A.; MOREIRA, D. A.; BARROS, R. T. P. de; LUIZ, F. A. R. **Varição na pressão estática de ar insuflado em diferentes vazões específicas em colunas de material orgânico com diferentes estádios de degradação bioquímica**. 2008

SIMON, H.; A. NEWELL. Human problem solving: the state of the theory in 1970. **American Psychologist**, v. 26, n. 2, Feb. p. 145-159. 1971.

SIMON, H. A. Sciences of the Artificial.-Third Edition. Massachussets: The Massachussets Institute of Technology Press. Third revision, original version, edition 1969, second revision edition 1981, 1996.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Ecoeficiência: um instrumento para a redução da geração de resíduos e desperdícios em estabelecimentos de saúde Ecoefficiency: a tool to reduce solid waste production and waste of materials. **Cad. Saúde Pública**, v. 21, n. 6, p. 1893-1900, 2005.

SOKOLOWSKI, John A.; BANKS, Catherine M. (Ed.). **Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach**. John Wiley & Sons, 2011.

SOUZA, A. S. de; SEGATTO-MENDES, A. P. The competence accumulation process in the technology transference strategy. **Brazilian Administration Review**, v. 5, n. 2, p. 125-138, 2008.

STANKOVIC, M. **Grammatical evolution of technical processes**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e Arquitetura Naval, Universidade de Zagreb, Zagreb, 2011.

STRAIOTO, Ricardo G. T.; FIGUEIREDO, Luiz F. Perspectivas para o Design Sustentável no Brasil a partir da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 3., 2011. **Anais...** Recife, 2011. p. 795-806.

STRAIOTO, R. G. T.; FIGUEREDO, L. F. Perspectiva para o design sustentável no Brasil a partir da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos: o design de ciclo de vida do produto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 2014, Gramado, RS, 2014.

SU, Yongzhuan; LV, Jun. Research on the development of the recycle treatment industry of the Municipal Solid Wastes under the Background of China's Urbanization. **International Journal of Business and Management**, v. 3, n. 7, p. 60, 2008.

SU, M.; YANG, Z.; CHEN, B.; LIU, G.; ZHANG, Y.; ZHANG, L.; XU, L.; ZHAO, Y. Urban ecosystem health assessment and its application in management: a multi-scale perspective. **Concept Paper**, v. 15, p. 1-9, 2013.

TAKEDA, Takako; CORONA, Rosario I.; GUO, Jun-tao. A knowledge-based orientation potential for transcription factor-DNA docking. **Bioinformatics**, v. 29, n. 3, p. 322-330, 2013.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic architecture**. Routledge, 2006.

TRAUTMANN, Nancy M.; KRASNY, Marianne E. **Classroom**. 1998.

TOMIYAMA, T.; GU, P.; JIN, Y.; LUTTERS, D.; KIND, C.; KIMURA, F. Design methodologies industrial and educational applications. **CIRP Annals Manufacturing Technology**, v. 58, n.2, p. 543-565, 2009.

TONG, C. Toward an engineering science of knowledge-based design. **Artificial Intelligence in Engineering**, v. 2, n. 3, p. 133-166, 1987.

UMAÑA, I. D. H.; FORERO, R. A. A. Paradigma tecno-econômico do setor elétrico na Colômbia. Inovações tecnológicas, organizacionais, financeiras e de mercadejo: el caso de ISA S. A. **Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión**, Bogotá, v. 18, n. 1, jan./jun., 2010.

URSPRUNG, P. **Double helix and blue planet**: the visualization of nature in the twentieth century. Zurique: Museum für, Gestaltung Zürich. Zürcher Hochschule der Künste ZHdK, Zürcher Fachhochschule, 2007. p. 166-180.

VARELA, Nuno Hélder Cardoso Pais. **Arquitecturas experimentais**: práticas criativas contemporâneas. 2009.

VASILEIADOU, E.; HEIMERIKS, G.; PETERSEN, A. C. Exploring the impact of the IPCC Assessment Reports on Science. **Envinmental Science & Police**, v. 14, p. 1052-1061, 2011.

VATTAM, Swaroop; HELMS, Michael E.; GOEL, Ashok K. A content account of creative analogies in biologically inspired design. **AI EDAM**, v. 24, n. 4, p. 467-481, 2010.

VEIGA, J. E. da. **Sustentabilidade**: a legitimação de um novo valor. São Paulo: Senac São Paulo, 2010.

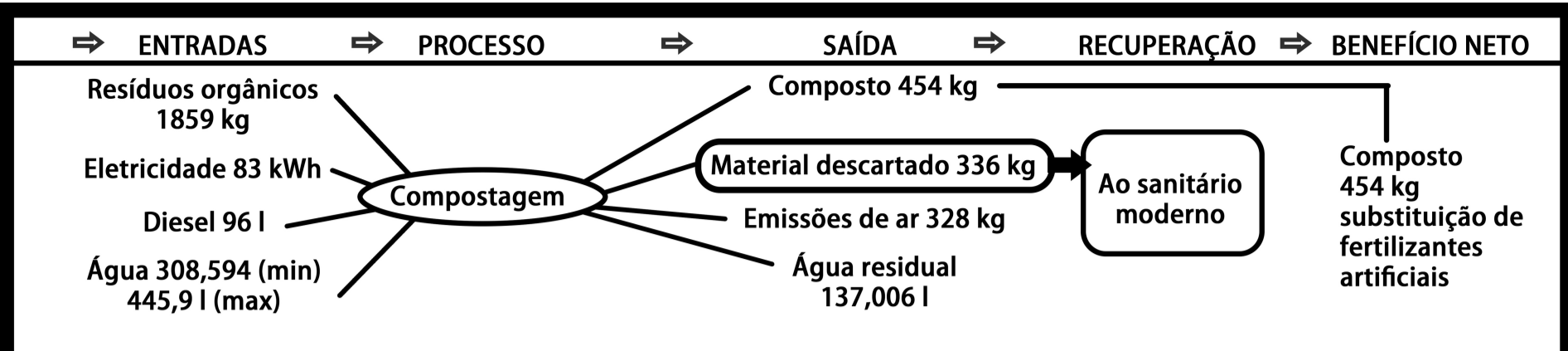
WAHL, D. C.; BAXTER, S. The designer's role in facilitating sustainable solutions. **Design Issues**, v. 24, n. 2, 2008.

WEBB, Alexander. Simulacrum, Not Simulation: A Theoretical Approach to Simulation in Education. Anais do XVI CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16. **Anais...** 2013. p. 369-372.

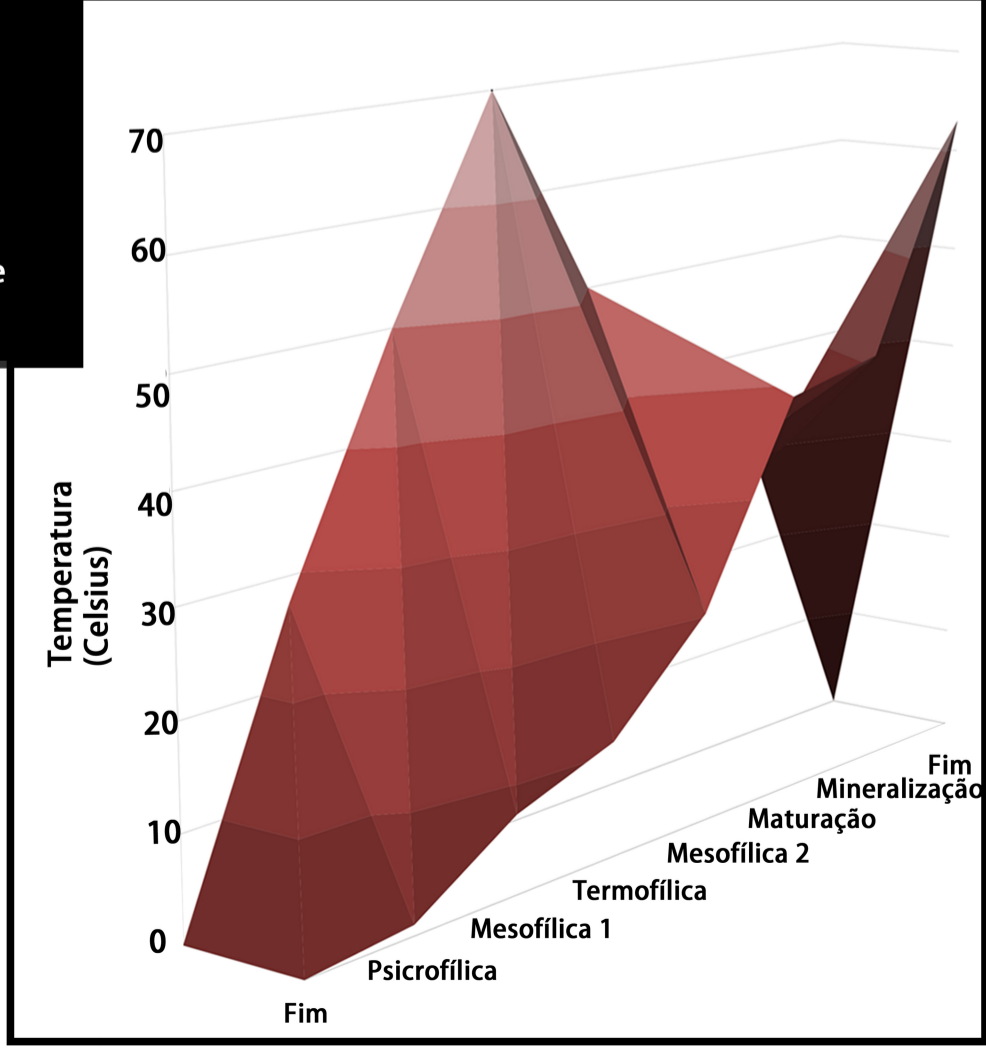
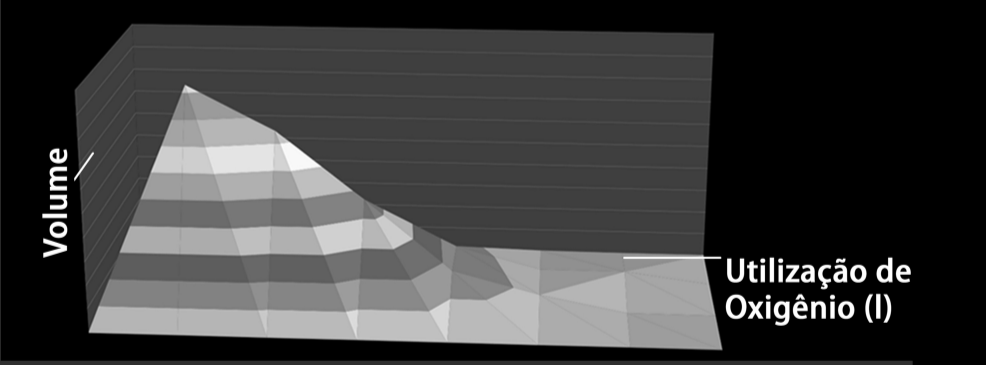
WHITEHEAD, Hugh et al. **The origins of smartgeometry. Indide smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computacional design.** 2013, p. 20-35.

APÊNDICES



Quadro 8: Dados do fluxo da compostagem



	Início	Psicrofílica	Mesofílica	Termofílica	Mesofílica	Maturação	Mineralização	Fim
Temperatura de base (Celsius)	0	27,5	50	70	50	27,5	27,5	0
Tempo almejado para redução (dias)	0	1	7,5	11	20,3	39	41	0
Volume calculado a partir de Gómes Mendes (2009) (l)	0	1859	1494	929,5	334 (4,7)*	143 (3,9)*	2 (3,9)*	0,632
Material descartado calculado a partir de Orrico Junior et al (2012)	0	154,9 (4,35 u)	154,9 (4,35 u)	154,9 (4,35 u)	154,9 (4,35 u)	154,9 (4,35 u)	154,9 (4,35 u)	924,4 (restam 26,1u)
Uso de O ₂ calculado a partir de Trautman e Krasny (1998) (l)	0	95,5	95,5	286,5	286,5	95,5	95,5	0 (restam 11 litros de emissões)
Uso de água (l)	0	3008.94	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	445,9 (137,006 l acrescentados pela degradação)
Injeção de O ₂	0	30,8 (+7,14)	30,8 (+7,14)	30,8 (+7,14)	30,8 (+7,14)	30,8 (+7,14)	30,8 (+7,14)	185 (demandam 42,88 l)
Perda de massa (%)	0	100	80,3	50	17,9	7,6	0,1	0

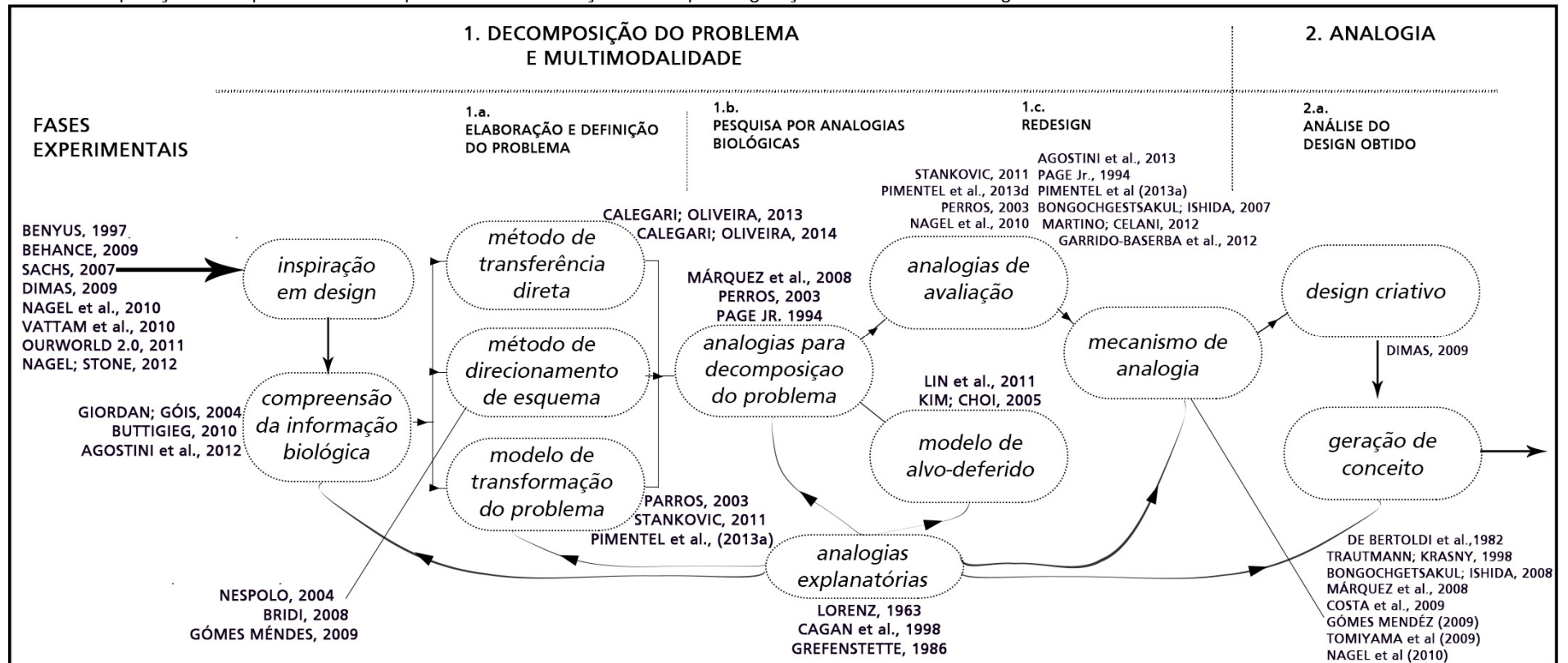


Quadro 9: Mecanismo de articulação entre as analogias a partir de Vattam, Helms e Goel (2010)

DIMENSÕES DOS TIPOS DE ANALOGIA (DESCRIÇÃO)	'PORQUE' (QUAL A FUNÇÃO DA ANALOGIA)	'O QUÊ' (VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO CONHECIMENTO NA FONTE)	'COMO' (COMO PODE SER ATRIBUÍDO O CONHECIMENTO VALIDADO NA FONTE, VOLTADO AO PROJETO)	'QUANDO' (OCASIÃO EM QUE É REALIZADO O MECANISMO DE SOLUÇÃO)	
MODELOS DE ATRIBUIÇÃO NA INVESTIGAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ANALOGIAS EM DESIGN BIOINSPIRADO	<p><i>inspiração em design</i></p> <p><i>compreensão da informação biológica</i></p>	<p><i>método de transferência direta</i></p> <p><i>método de direcionamento de esquema</i></p> <p><i>modelo de transformação do problema</i></p>	<p><i>analogias para decomposição do problema</i></p> <p><i>analogias de avaliação</i></p> <p><i>modelo de alvo-deferido</i></p>	<p><i>design criativo</i></p> <p><i>geração de conceito</i></p> <p><i>mecanismo de analogia</i></p>	
TIPOS DE ANALOGIAS UTILIZADAS DURANTE A DECOMPOSIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA	<i>analogias explanatórias</i>	<i>analogias explanatórias</i>	<i>analogias explanatórias</i>	<i>analogias explanatórias</i>	
FASES GERAIS	<p>1. DECOMPOSIÇÃO DO PROBLEMA E MULTIMODALIDADE</p> 		<p>1. DECOMPOSIÇÃO DO PROBLEMA E MULTIMODALIDADE</p> 		2. ANALOGIA
FASES EXPERIMENTAIS	1.a. ELABORAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1.b. PESQUISA POR ANALOGIAS BIOLÓGICAS	1.c. REDESIGN	2.a. ANÁLISE DO DESIGN OBTIDO	

Fonte: o autor (2015)

Quadro 10: Aplicação do esquema sintético a partir da fundamentação teórica para a geração de conceito em design



Fonte: o autor (2015)

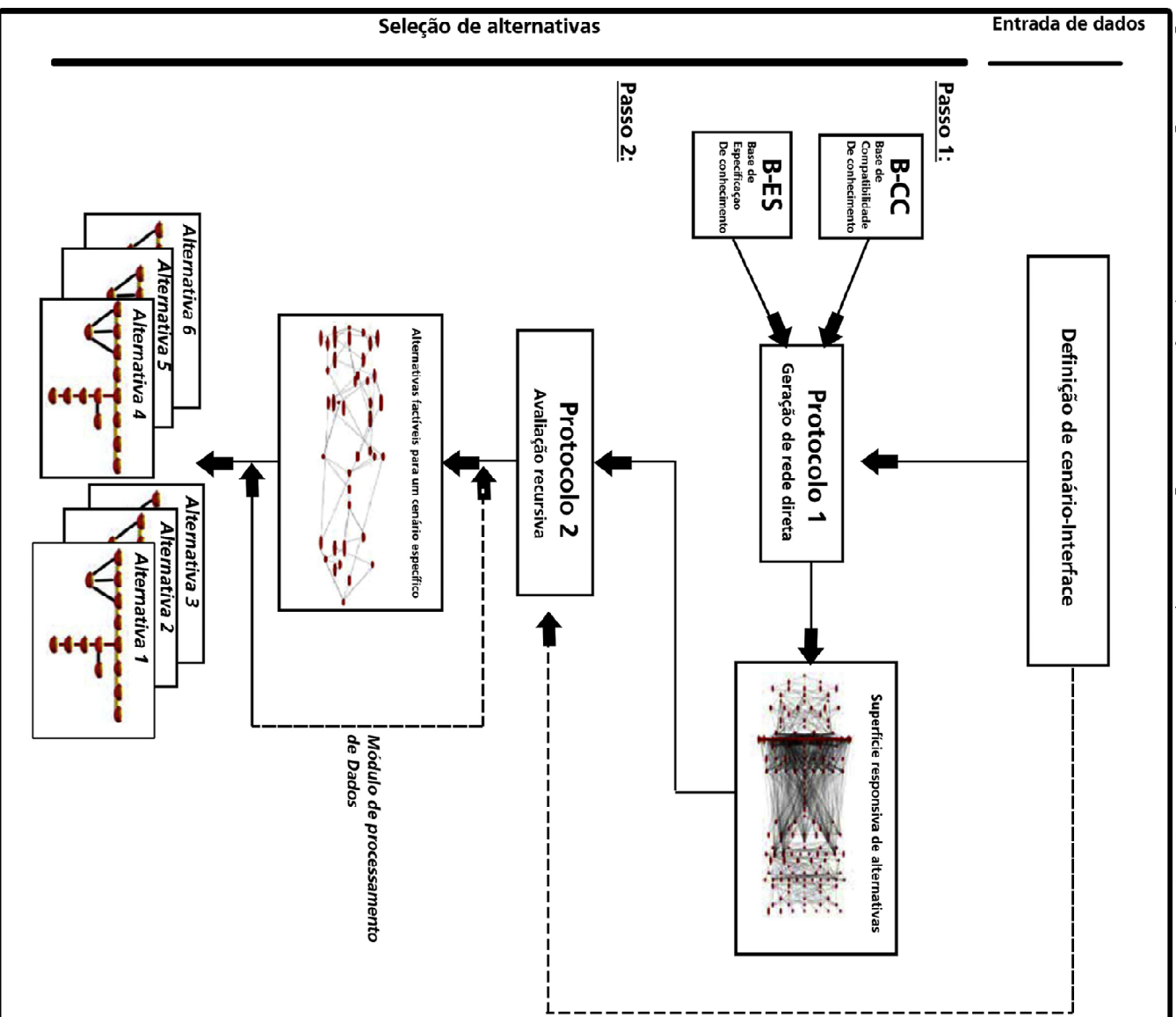
Quadro 11: Dados coletados sobre compostagem presentes na Fundamentação teórica

	Relações de tempo	Relações de Biomassa	Relações de temperatura	Relações da proporção C/N	Relações espaciais
Gómes Mendes (2009)	Tempo levado durante a fase mesófila de 12 dias; Tempo total de maturação do composto em 34 dias; Fase termófila ocorre por 11 dias tempo total da compostagem de 56 dias;	Para 1.000 g de biomassa é gerado 340 g de húmus; Compostagem ao final gera 1.3% de carbono;			
Bongochgetsakul e Ishida (2008)	Fase mesófila com 7,5 dias de duração; Temperatura ainda leva 5 dias para normalização nas CNTP;		Temperatura inicial da fase mesófila de 35 graus Celsius;		Leira de 14 m x 2m x 1m;
Junior et al (2012)		Compostagem ao final perde massa total com taxa de 20,4 %;			
Bertoldi, Vallini e Pêra (1982)		é demandado 18% de oxigenação para a compostagem ocorrer;	Ápice de metabolismo de 42, 5 graus; 70 graus Celsius de limite na fase termófila; Temperatura ótima na fase mesófila de 50 graus Celsius; Temperatura ótima na fase termófila de 67,5 graus Celsius;	Taxa de C/N inicial com proporção 1 : 25;	
Trautmann e Krasny (1998)		Compostagem ao final gera 10% de oxigênio;	Temperatura inicial de 40 graus na fase termófila; Limite térmico da fase termófila de 60 graus Celsius;	Proporção ideal inicial de 1 : 30; Na fase de maturação a proporção na taxa C/N decai para 10: 1;	

Jha et al (2008)		A partir do carbono na forma humificada gerada pela degradação, é gerado 60% de Metano; Compostagem ao final gera 40% de Dióxido de Carbono;			Continua
Mendes (2012)			Fase Psicrófila começa em 0 indo a 25 graus Celsius;		
Giusti e Marsili-Libelli (2010)			Temperatura inicial de 35 graus na Mesófila; L Limite térmico da fase termófila com 60 graus Celsius;		
Bueno Marquez, Diaz Blanco, Cabrera Capitán (2008)			Valor ótimo na fase mesófila em 27,5 graus Celsius; Temperatura de início da fase termófila em 54 graus Celsius; Temperatura de nível ótimo na fase termófila com 55 graus Celsius;	Taxa de C/N inicial com proporção 1: 20;	Medidas entre 1 e 2,5 cm para os menores grãos; Medida de 5 cm para os maiores grãos;
Santos (2003)	De 7 a 21 dias para absorção do húmus;		Temperatura ótima da reação de compostagem com 55 graus Celsius;	Quando a proporção entre C/N está de 10/1 há volatilização na forma de amônia (CH ₄);	
Pimentel; Rodrigues e Santos (2011)			Temperatura ótima na fase mesófila de 62,5 graus Celsius; Temperatura ótima na fase termófila 47, 5 graus Celsius;		Leiras de 4m ² ;
Costa et al (2009)	90 dias de tempo total de compostagem;				
Silva et al (2008)				Aeração influi na redução da proporção C/N de 1: 30 para 1: 20;	
Fialho et al (2010)				Proporção inicial de C/N em 1: 35;	área para contenção da biomassa para compostagem: 2,10 x 1,40 x 1,22 m;

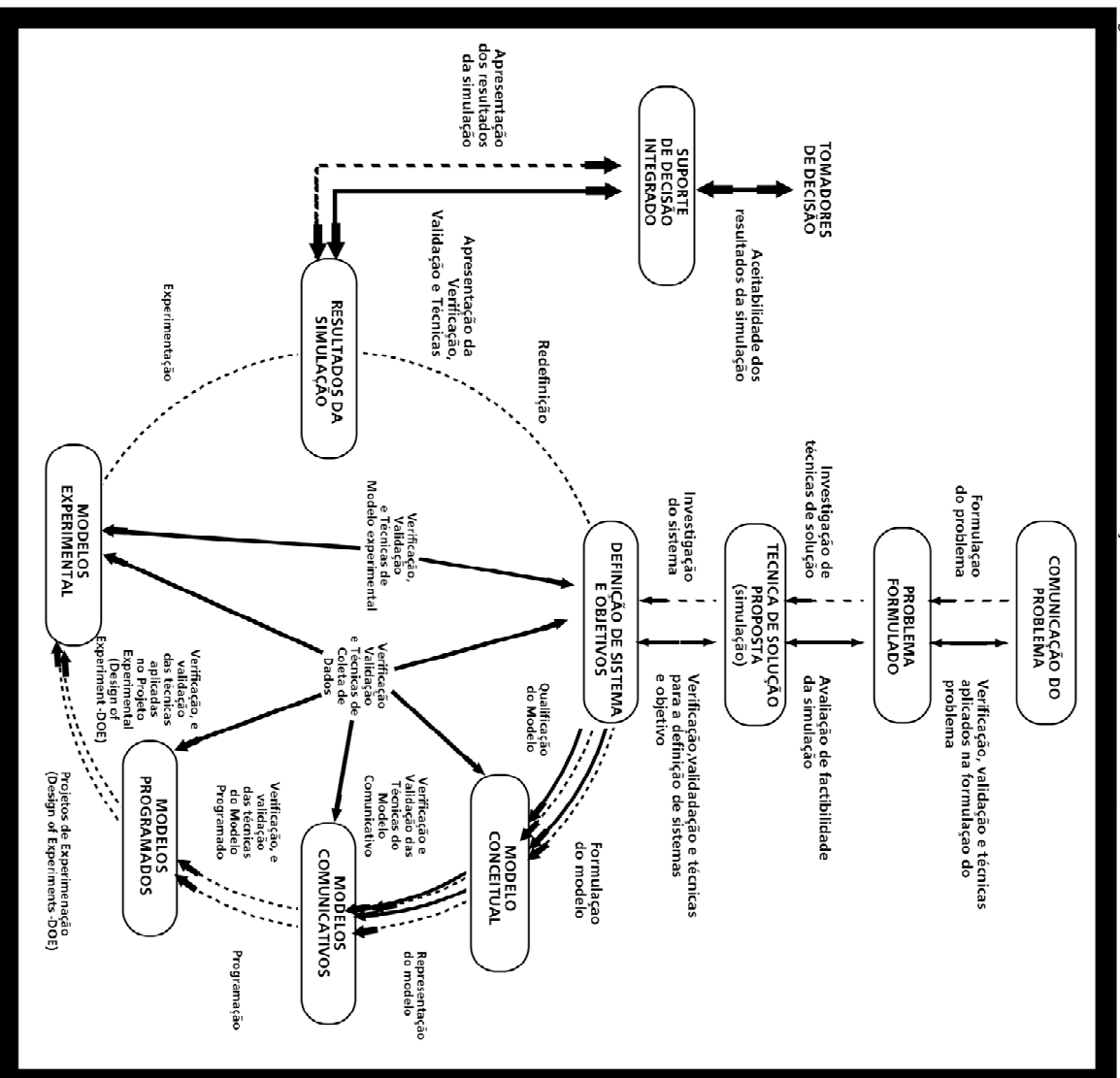
Fonte: o autor (2015)

Figura 72: Diagrama do fluxo de operação da metodologia escolhida por Garrido-Baserba et al. (2012)



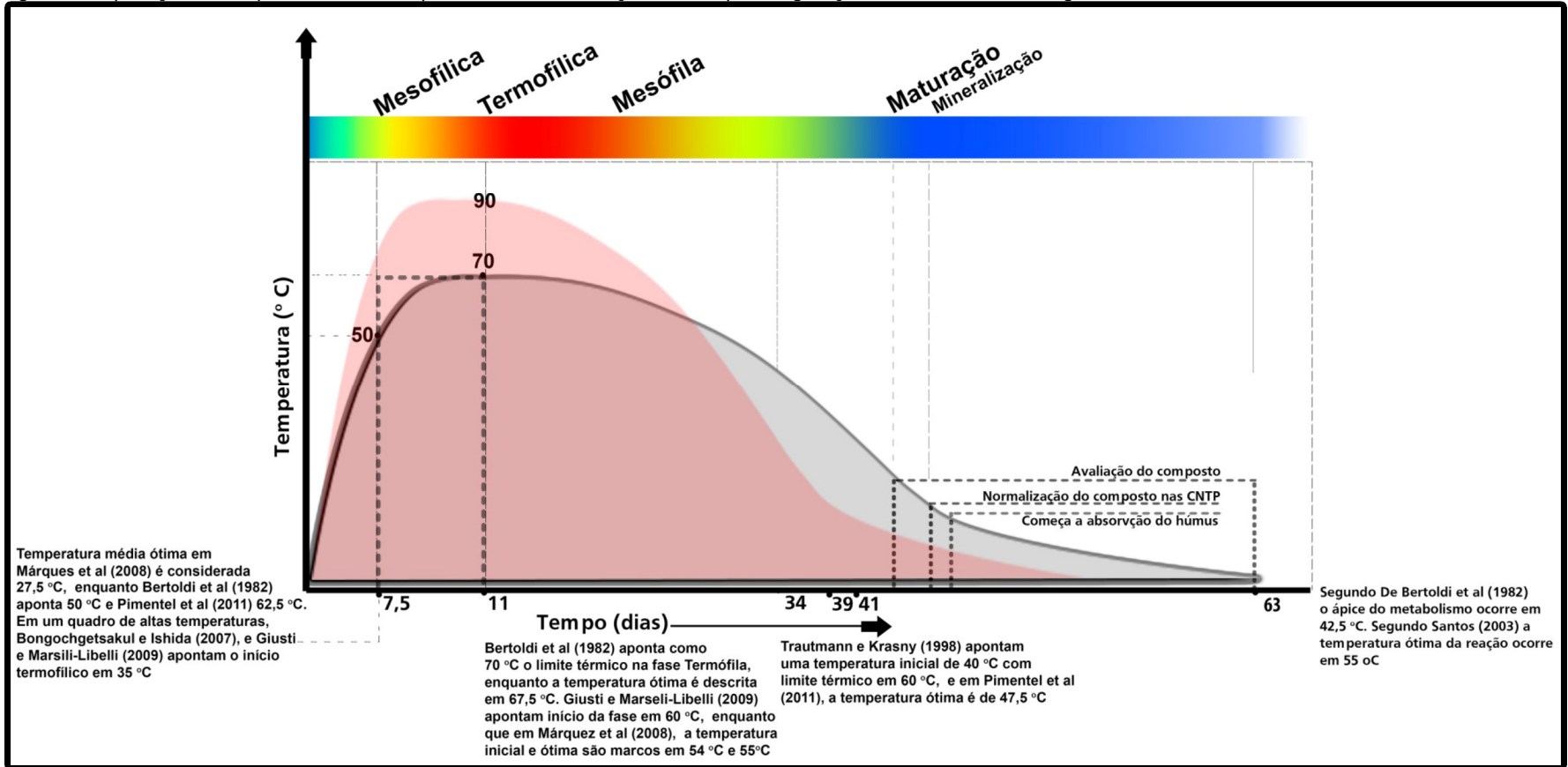
Fonte: Adaptado de Garrido-Baserba et al. (2012) pelo autor

Figura 73: O modelo de Ciclo de Vida de um Estudo de Simulação



Adaptado a partir de Page JR (1994) pelo autor

Figura 74: Aplicação do esquema sintético a partir da fundamentação teórica para a geração de conceito em design



Fonte: o autor (2015)

Figura 79 - Variação dos dados apresentados para o perfil térmico

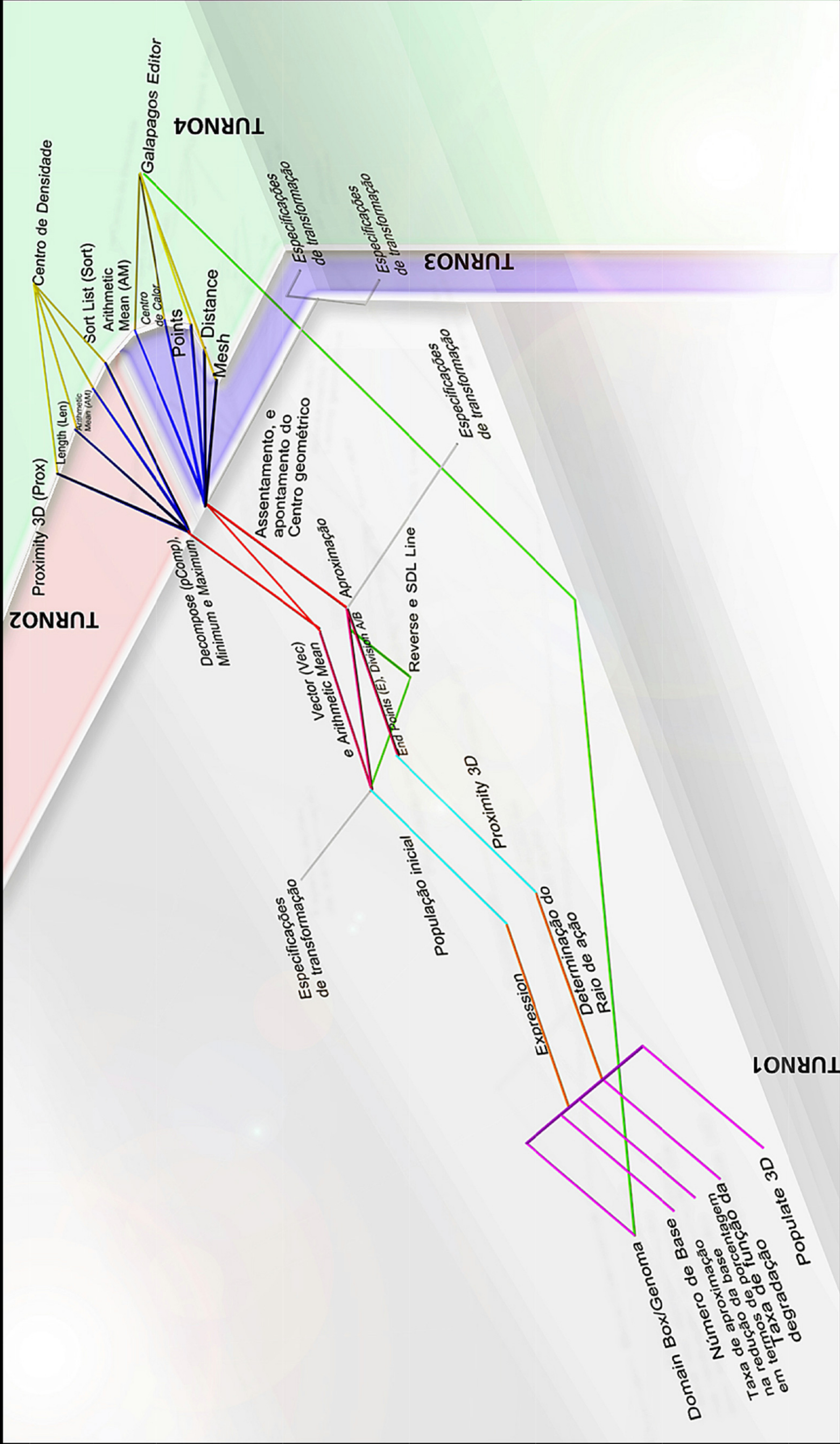


Figura 76 - Variação dos dados apresentados para o perfil térmico

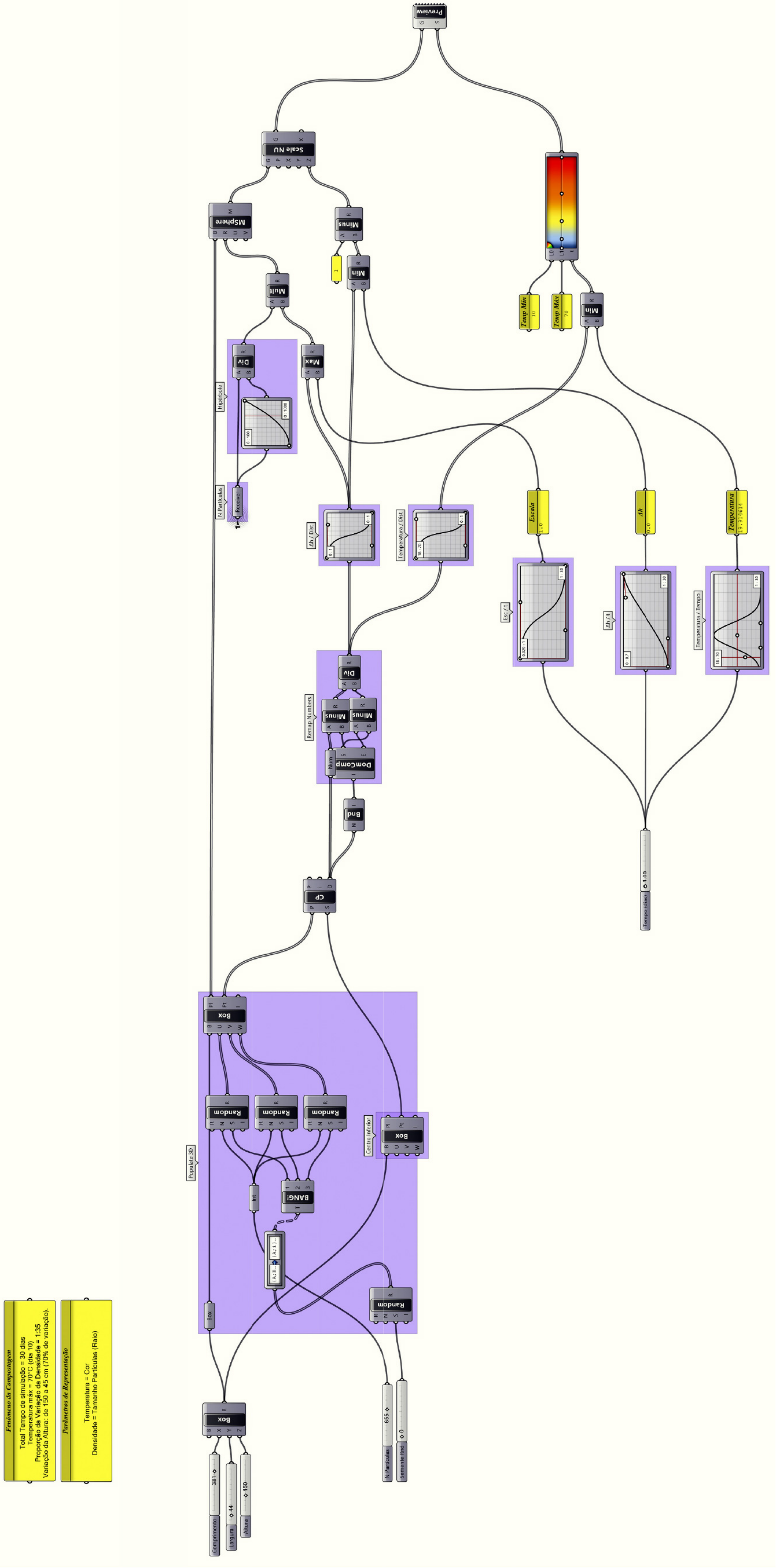
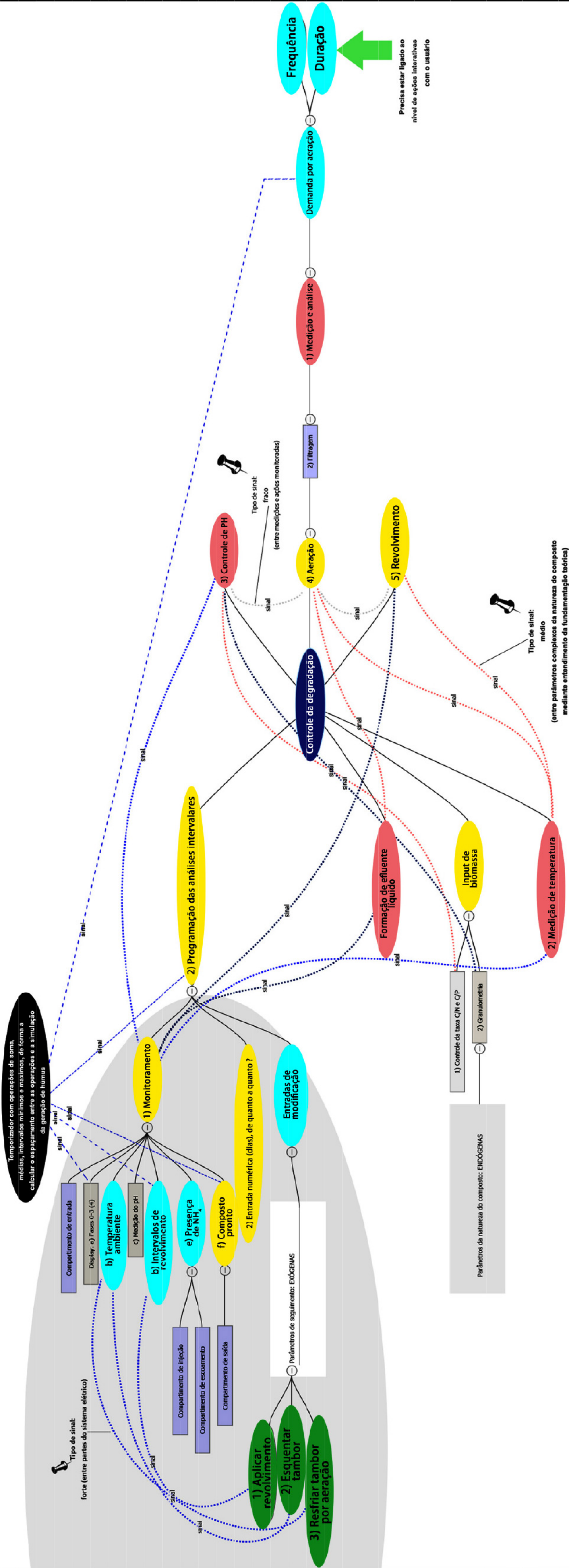


Figura 75 - Variação dos dados apresentados para o perfil térmico



LEGENDA

para cores do box:

- Requisitos de produto
- Ações do usuário
- Ações de alteração dos parâmetros de seguimento (ativos)
- Nível primário de interação entre envio de sinal do usuário e máquina de compostagem
- Limites de seguimento entre ambos sistema (inativos)
- Requisitos operacionais exclusivos para a interação com o composto
- Questão teórica/ Função axial/ Objetivo principal
- Locação do controle dos parâmetros (seguimento/natureza do composto)
- ... Nível de interação no envio de sinal
- Requisitos internos da programação do sistema