

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS

UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
MESTRADO

MAYKEL ROYER

PROPOSTA DE MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL
À LUZ DA BIOMIMÉTICA

SÃO LEOPOLDO

2013

MAYKEL ROYER

PROPOSTA DE MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL

À LUZ DA BIOMIMÉTICA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Orientador: Professor Dr. Luis Henrique Rodrigues

SÃO LEOPOLDO

2013

R891p Royer, Maykel
Proposta de modelo de operação sustentável à luz da biomimética / por
Maykel Royer. – São Leopoldo, 2013.

129 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São
Leopoldo, RS, 2013.
Orientação: Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues.

1. Engenharia sustentável. 2. Modelo de operação sustentável.
3. Biomimética. 4. Sustentabilidade. I. Rodrigues, Luis Henrique. II. Título.

CDU 62:502.131.1
62:57/59
502.131.1

Catálogo na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

MAYKEL ROYER

PROPOSTA DE MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL

À LUZ DA BIOMIMÉTICA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em __ / __ / __

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Ph. D. Ricardo Antunes de Azevedo – Universidade de São Paulo

Visto e permitido a impressão

São Leopoldo ____ / ____ / ____

Prof. Dra. Mirian Borchardt
Executivo PPG em Engenharia de Produção e Sistemas

Dedico este trabalho à minha família e a todos os meus amigos!

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são destinados a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão do meu mestrado e a realização deste trabalho.

À minha família, por compreender a minha ausência em alguns momentos, devido a dedicação a este trabalho.

A todos os colegas do mestrado pelos momentos de aprendizado e também pelas confraternizações.

Às minhas colegas de orientação, Priscila Paraboni e Rosiane Serrano, pelos momentos de discussão e troca de conhecimento.

Um agradecimento especial ao meu orientador Professor Luis Henrique Rodrigues pela dedicada orientação que possibilitou a realização deste trabalho.

RESUMO

A forma como se produz tem sido discutida ultimamente. Mais do que benefícios de um dos atuais modelos de alta produtividade, o que está em pauta são os efeitos gerados. A degradação do meio ambiente tem alertado a todos quanto à necessidade de criação de modelos de operação sustentáveis, que primeiramente são vistos como amenizadores de efeitos ambientais, mas também são aplicados a aspectos sociais e econômicos. Entretanto, uma nova ciência denominada Biomimética busca inspiração na natureza para resolver problemas criados pelo homem e, com certo nível de aderência avaliada por especialistas, é convergente aos modelos de operação sustentáveis. O estudo faz uso dos sistemas maduros tipo III, que têm como meta organizarem-se numa comunidade diversificada e integrada com objetivos comuns, tais como: manter a sua existência num único lugar, aproveitar ao máximo o que têm à disposição e conservar-se ao longo do tempo, de tal maneira que estes princípios da biomimética possam melhorar os atuais modelos de operação sustentáveis onde os especialistas apontaram oportunidades. Diante disso, a proposta de um modelo de operação sustentável com características biomiméticas é o objetivo desta pesquisa.

Palavras-chave: Modelo. Operação. Biomimética. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The way we produce has been discussed lately. More than benefits generated from the actual high productivity models, what is at issue are the effects. The environmental degradation has alerted everyone about the need to create a sustainable operation model, which are primarily seem like reducers of environment effects but also applied to social and economic aspects. However, a new science called Biomimicry search for nature inspiration to solve problems created by humans and, which a certain adherence evaluated by experts, is convergent to sustainable operation models. The research uses mature systems type III, which aim to organize themselves in a diverse community and integrated with common goals, such as maintaining their existence in one place, make the most of what they have available and save themselves over time. So these biomimicry's principles can improve current models of sustainable operation where experts pointed out opportunities. Therefore, the proposal of a model for sustainable operation with biomimetic characteristics is the goal of this research.

Key-words: Model. Operation. Biomimicry. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre os temas estudados	17
Figura 2 – Passo a passo para o <i>Design Science Research</i>	25
Figura 3 – As saídas de um <i>Design Science Research</i>	26
Figura 4 – Parâmetros para a definição do <i>Design Science Research</i>	28
Figura 5 – Método de Trabalho	31
Figura 6 – Modelo geral de sistema de produção	39
Figura 7 – A casa da Toyota, abordagem Lean	47
Figura 8 – Veículo inspirado no <i>boxfish</i>	52
Figura 9 – Modelo de Operação Sustentável Base	60
Figura 10 – Sistema de informação em um réptil.....	72
Figura 11 – Prado de <i>Grindelwald</i> . Ao fundo, algumas árvores e os Alpes Suíços.....	75
Figura 12 – Sistema fechado natural, sistema aberto com intervenção humana.	76
Figura 13 – Corte A do Modelo de Operação Sustentável Biomimético	84
Figura 14 – Corte B no Modelo de Operação Sustentável Biomimético	88
Figura 15 – Corte C no Modelo de Operação Sustentável Biomimético	89
Figura 16 – Corte D no Modelo de Operação Sustentável Biomimético	90
Figura 17 – Corte E no Modelo de Operação Sustentável Biomimético.....	92
Figura 18 – Corte F no Modelo de Operação Sustentável Biomimético.....	94
Figura 19 – Modelo de Operação Sustentável Biomimético.....	95
Figura 20 – Embasamento do Modelo de Operação Sustentável Biomimético	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Bases de dados pesquisadas.....	19
Quadro 2 – Diferença entre as abordagens prescritivas e descritivas.....	24
Quadro 3 – Características que justificam <i>Design Science Research</i> como aplicável à pesquisa..	29
Quadro 4 – Agenda utilizada para o <i>Focus Group</i>	34
Quadro 5 – Agenda do grupo focal 2	36
Quadro 6 – Relação entre os constructos e os autores.....	57
Quadro 7 – Critério de avaliação para a informação gerada na operação	71
Quadro 8 – Relação entre o Modelo de Operação Sustentável Base e os princípios dos sistemas naturais do tipo III.....	78
Quadro 9 – Melhorias nos constructos a partir dos princípios biomiméticos priorizados	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Busca na base de dados.....	20
Tabela 2 – Busca de oportunidades para complementar o Modelo de Operação Sustentável Base sob a ótica da Biomimética.....	70

LISTA DE SIGLAS

ZERI – Zero Emissions Research Initiative

P+L – Produção mais limpa

STP – Sistema Toyota de Produção

DSR – Designs Science Research

FG – Focus Group

MOSB – Modelo de Operação Sustentável Base

UNU – Universidade das Nações Unidas

WCED – World Commission on Environmental and Development

LCD – Liquid Crystal Display

MOSBIO – Modelo de Operação Sustentável Biomimético

CLP – Controlador Lógico Programável

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
1.2 OBJETIVO	18
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	19
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	21
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2 MÉTODO DE PESQUISA	23
2.1 JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA	29
2.2 MÉTODO DE TRABALHO	30
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
3.1 MODELOS DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEIS.....	38
3.1.1 Conceito de Modelo de Operação Sustentável.....	39
3.1.2 Pressupostos de um Modelo de Operação Sustentável.....	43
3.1.3 Abordagens de um Modelo de Operação Sustentável.....	45
3.1.3.1 Produção Mais Limpa (P+L)	45
3.1.3.2 Lean	46
3.1.3.3 Ecodesign.....	47
3.1.3.4 ZERI	48
3.1.3.5 <i>Green Chemistry</i>	49
3.1.3.6 Exemplos Práticos	50
3.2 BIOMIMÉTICA	51
4 DESENVOLVIMENTO.....	56
4.1 MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE.....	56
4.2 A INTEGRAÇÃO ENTRE MODELOS DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEIS E BIOMIMÉTICA	63
4.2.1 Perfil dos Participantes	65
4.2.2 A Motivação das Empresas para Adotar Modelos de Operação Sustentáveis	66
4.2.3 Nível de Aderência dos Modelos de Operação Sustentáveis aos Princípios Naturais do Tipo III da Biomimética.....	67
4.3 SOLUÇÕES DA NATUREZA PARA OS PRINCÍPIOS PRIORIZADOS DA BIOMIMÉTICA APLICADOS PARA O MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE.....	70
4.3.1 Operar com Base em Informação	71
4.3.2 Aperfeiçoar em Vez de Maximizar	74

4.3.3 Manter-se em Equilíbrio	76
4.4 MELHORIA NO MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE SOB A ÓTICA DOS PRINCÍPIOS PRIORIZADOS DA BIOMIMÉTICA	77
4.5 O MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BIOMIMÉTICO	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA	97
5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	98
5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE INTEGRAÇÃO ENTRE BIOMIMÉTICA E OPERAÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	106
APÊNDICE B – MATERIAL DE PREPARAÇÃO PARA GRUPO FOCAL 1.....	113
APÊNDICE C – MATERIAL DE PREPARAÇÃO PARA GRUPO FOCAL 2	118
APÊNDICE D – APRESENTAÇÃO REALIZADA NO GRUPO FOCAL 2.....	122

1 INTRODUÇÃO

Florina-Cristina et al., (2012) caracterizam modelo como um instrumento de simulação utilizado para desenvolver conclusões por meio de entendimentos no comportamento dos elementos do caso estudado. É uma representação simplificada, um esquema conceitual ou matemático de um fenômeno que fornece uma estrutura idealizada para uma avaliação. Já uma operação, para Biddle (2011) é a atividade responsável por processar *inputs*, transformando-os nos produtos ou serviços que são consumidos. Um modelo de operação genérico é introduzido por Reismantt e Buffa (1964) como um esquema simplificado que reconhece as relações de fornecimento de: mão de obra, material e energia, equipamentos, serviços externos e atividades financeiras. Antunes et al. (2008) afirma que operação é a relação no tempo e espaço de pessoas e/ou máquinas em diferentes estágios ao longo de uma jornada de trabalho. No sentido de melhorar o entendimento, ainda pode-se dividir a operação em categorias tais como: i) Operações ligadas ao tempo de *setup*; ii) Operações principais de fabricação/processamento, inspeção, transporte e espera; iii) Folgas não ligadas ao pessoal e; iv) Folgas ligadas ao pessoal.

Para este trabalho, um modelo de operação sustentável é a representação simplificada e estática, pois não considera variações ao longo do tempo e também no espaço, por considerar apenas empresas com relação direta à usuária, que visa ao atendimento de uma demanda por meio de constructos e suas relações, definidas de maneira a contemplar aspectos ambientais, econômicos e sociais.

A visão de um tripé composto por aspectos ambientais, econômicos e sociais, juntamente com a ideia de que o planeta é um sistema fechado, onde recursos não são ilimitados, é justamente o que diferencia os modelos sustentáveis. Não se trata apenas de uma preocupação com o meio ambiente, mas como se utiliza recursos nos modelos de operação (BIDDLE, 2011).

Modelos de operação permitem que seja alcançada a vantagem competitiva desejada por meio da adequada focalização de seus recursos (WHEELWRIGHT, 1984). Segundo Slack (1989), modelos de operação têm como uma virtude a característica de flexibilidade, entendida como a capacidade de facilitar os tomadores de decisão no processo de gestão durante períodos turbulentos. Características adicionais como custo, qualidade, disponibilidade e entrega também compõe um modelo de operação.

De fato existem alguns modelos de operação que vão ao encontro da sustentabilidade, como por exemplo, a manufatura enxuta, inspirada pelo Sistema Toyota de Produção. Segundo Bergmiller et al. (2011), este movimento apresenta uma parte do foco em responsabilidade social corporativa, que incentiva o respeito às pessoas e à utilização do seu conhecimento, e com isso possui uma tendência para a sustentabilidade. Ohno (1997) aprofunda a discussão sobre o chamado Sistema Toyota de Produção; este sistema tem por característica principal o aumento da eficiência de produção por meio da eliminação de desperdícios, definido por Ohno (1997) como tudo que os clientes não estão dispostos a pagar.

A partir deste ponto, a discussão sobre os modelos de operação sustentáveis não está mais em torno de como conduzir negócios sem agredir o meio ambiente, mas como fazer isto de uma maneira economicamente viável e socialmente justa. Para Kleindorfer et al. (2005), existem pelo menos quatro fatores para justificar a busca por modelos de operação sustentáveis:

- a) o custo das matérias primas e energia cresce rapidamente;
- b) pressões públicas em defesa do meio ambiente, saúde e segurança, bem como leis, regulamentações e acordos internacionais;
- c) o aumento da consciência da população em respeito a aspectos econômicos, ambientais e sociais, aumentando a procura dos consumidores por produtos e serviços originados de empresas que respeitam estes princípios;
- d) a antipatia populacional gerada em movimentos não governamentais frente ao desempenho, sustentável ou não, das organizações.

Para que estas necessidades sejam atendidas por um modelo, Kleindorfer et al. (2005) propõe uma adaptação de um conjunto de estratégias internas e externas, atuais e futuras como segue:

- a) estratégia de curto prazo em ambiente interno: melhorar operações internas por meio de ações voltadas à sustentabilidade, como envolvimento de empregados, redução de desperdícios, redução de emissões etc;
- b) estratégia de curto prazo em ambiente externo: Melhorar a cadeia de valor estendida, analisando-a e fazendo comparativos na escolha de materiais, processos e perseguir *loops* fechados de remanufatura e disposição segura;

- c) estratégia de médio/longo prazo em ambiente interno: Investir em capacidade para recuperar possíveis danos causados, desenvolver substitutos para materiais não reaproveitáveis e reprojeter produtos com menor consumo de material e menor energia gasta para manufaturá-los;
- d) estratégia de médio/longo prazo em ambiente externo: Desenvolver capacidades *core* para produtos, processos e cadeia suprimentos a longo prazo, trabalhando para atingi-las (KLEINDORFER et al., 2005).

Demonstrada por Benyus (2006), outra ciência que pode ser citada como convergente a modelos sustentáveis é a Biomimética, que estuda os modelos da natureza e depois os imita ou inspira-se neles ou em seus processos para resolver problemas humanos. Neste trabalho, a Biomimética é aplicada por tratar questões voltadas ao meio ambiente, onde os processos produtivos podem ser estudados por reutilizarem seus próprios resíduos, tornando-os sustentáveis na medida que são uma alternativa para que resíduos possam ser reaproveitados e negócios possam aumentar sua lucratividade. Alguns exemplos de empresas que utilizam este método são: *West Japan*, com o trem mais rápido do mundo; *Eastgate Building*, com um excelente sistema de refrigeração de ar; *Whalepower*, com sua turbina para geração de energia eólica inspirada nas nadadeiras de uma baleia, entre outros (TRANSPORTATION..., 2012; ARCHITECTURE..., 2012; ENERGY..., 2012).

Benyus (2006) cita três tipos de sistemas ou comunidades encontradas na natureza. O primeiro e mais próximo da realidade atual, Tipo I, está preocupado apenas no crescimento e na produção. Agindo como se de passagem no local onde estão produzindo, não dedica importância à eficiência no processo focal de transformação de matéria prima em produtos, uma vez que não tem visão de longo prazo. Em seguida, no Tipo II, os organismos permanecem um tempo maior no local onde estão instalados, produzindo uma quantidade limitada de sementes e utilizando o restante da energia para sobreviver no meio em que estão. E, por fim, os sistemas naturais maduros ou sistemas do Tipo III. Esses sistemas se organizam numa comunidade diversificada e integrada com objetivos comuns, tais como: manter a sua existência em um único lugar, aproveitar ao máximo o que têm à disposição e conservar-se ao longo do tempo.

Porém o tema Biomimética, na maioria das vezes, é abordado sob a ótica do projeto de produtos e não de seus processos produtivos. Da apresentação dos exemplos de soluções Biomiméticas expostas na página da web *asknature.org*, um site voltado ao tema,

predominam exemplos de produtos inspirados na natureza, como os adesivos criados a partir da habilidade de insetos em subir paredes verticais e sistemas de captação e filtragem de água imitando um réptil que habita um deserto (GROOVES..., 2012 e BIOINSPIRED..., 2012). Esta lacuna, em que a maioria absoluta de projetos de produto é desenvolvida frente ao insignificante número de modelos de operação, pode ser explorada no desenvolvimento deste trabalho.

Na busca por um modelo de operação sustentável melhorado, por meio de conceitos utilizados em Biomimética, contribuindo com o avanço do conhecimento nas áreas, este trabalho visa propor um modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética.

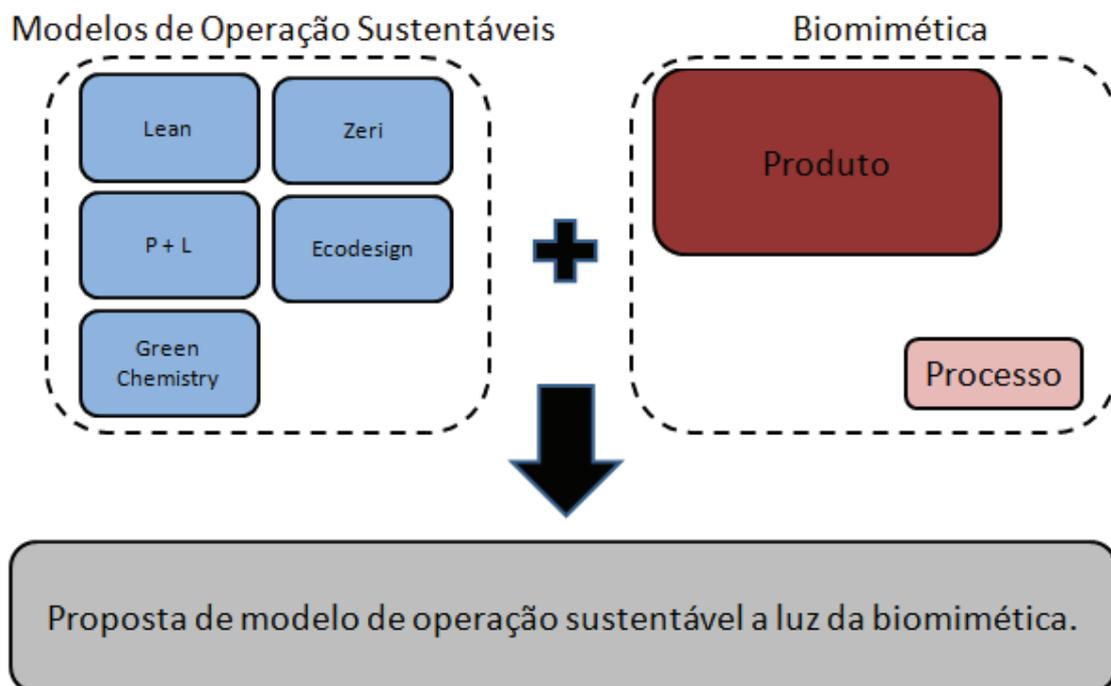
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Sustentabilidade, quando vinculada ao mundo dos negócios, tem buscado o alinhamento de empresas com o ambiente de negócio para manter um equilíbrio econômico, social e ambiental para gerações futuras. Em adição, atenuando o questionamento sobre os atuais modelos de operação, a adoção de iniciativas intencionais visando à transformação de uma empresa para a sustentabilidade é vislumbrada como um potencial para trazer maior rentabilidade (MOORE; MANRING, 2009). Mesmo criticado por seu escopo abrangente, o movimento de sustentabilidade ganhou força pela evidente ineficiência tratando-se da utilização de recursos naturais. As empresas estão sofrendo altas pressões para medir os seus impactos, ou “pegada”, gerados ao meio ambiente devido aos seus processos e já passaram muito tempo discutindo sobre a decisão entre ser economicamente viável ou sustentável. Atualmente, acredita-se que fortes leis regulamentares forçarão empresas a revisarem suas tecnologias, resultando em desenvolvimento sustentável, mas também maior qualidade, melhor entrega e custo reduzido. Para que esta revisão ocorra, as empresas precisarão buscar outros elos com a engenharia, pensando também em ciclo de vida dos produtos e a cadeia de fornecimento (KLEINDORFER et al., 2005).

A criação de elos a outras áreas, que as empresas atualmente adeptas de modelos de operação sustentáveis necessitam, como cita Kleindorfer et al. (2005), pode ser oportunizada por Benyus (2006) com norteadores da Biomimética, podendo ser utilizados para potencializar os modelos de operação sustentáveis atuais. O primeiro diz respeito a utilizar a natureza como modelo, imitá-la. Isto significaria buscar processos de produção existentes na natureza, não se resumindo a aperfeiçoar os processos utilizados de modo a torná-los menos

agressores ao meio ambiente. Utilizar a natureza como medida é o segundo norteador. Este tem como premissa os 3,8 bilhões de anos da terra em que os processos existentes na natureza foram testados e os ruins, descartados. Nenhuma melhoria pode ter este tempo para testes e descarte em caso de fracasso, reforçando a possibilidade de melhorar ainda mais os sistemas produtivos tidos como sustentáveis atualmente. Por fim, o terceiro norteador sugere que a natureza seja utilizada como mentora. Este modifica a forma de pensamento que sugere a extração de recursos naturais e incentiva o aprendizado com o que acontece na natureza. Neste sentido, nossos processos de fabricação seriam similares aos da natureza, que utilizam apenas a luz do sol, que utilizam matéria orgânica como fertilizantes, entre outros. Aprender com a natureza pode significar inovar; já a extração conduz a iniciativas de aperfeiçoar a utilização de recursos ou “pegada”. Estas considerações creditam a Biomimética a agregar valor aos modelos de produção sustentável através dos seus princípios.

Figura 1 – Relação entre os temas estudados



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Observa-se na Figura 1 que Modelos de Operação Sustentáveis são cobertos com referência ao *Lean Manufacturing*, inspirados no Sistema Toyota de Produção (STP), técnicas de produção mais limpa (P+L), ou *ecodesign*, abordagens já tratadas em ambiente de

engenharia de produção. Modelos como o Sistema Toyota de Produção, pela característica de redução de desperdícios, podem ser, de certa forma, sustentáveis. A P+L é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental de prevenção da poluição na empresa, focando os produtos e processos, para aprimorar o emprego de matérias-primas, de modo a não gerar ou a minimizar a geração de resíduos, reduzindo os riscos ambientais para os seres vivos e trazendo benefícios econômicos para a empresa (PIOTTO, 2003). Estas aplicações, relacionadas no trabalho por se destacarem no processo de pesquisa para formação da base teórica sobre os temas estudados e apresentados na Tabela 1, têm característica de melhoria contínua, de aprimoramento gradual de aspectos vinculados à sustentabilidade.

Em adição, o tema Biomimética pode ser mais explorado do ponto de vista de processo por apresentar menor quantidade de aplicações, quando se compara aos exemplos de aplicação em produtos. A oportunidade demonstrada relaciona-se diretamente com modelos de operação, repensando a forma de estruturar seus processos. Esta é uma possível contribuição desta ciência para os modelos de operação sustentáveis conhecidos atualmente. Uma mudança, uma nova maneira de pensar a forma de produzir e não apenas de melhorá-la na medida que o tempo passa.

Neste contexto que o trabalho pretende responder à questão de pesquisa: quais deveriam ser os elementos constituintes de um modelo de operação sustentável a luz da Biomimética?

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo teórico de operação sustentável alinhado aos conceitos biomiméticos, sustentados pelos princípios da natureza dos sistemas maduros do tipo III.

Para a resolução do problema de pesquisa e atingir o objetivo geral, faz-se necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) criação e operacionalização de instrumento de pesquisa para avaliação da integração entre modelos de operação sustentáveis e Biomimética;
- b) criação de um modelo de operação sustentável base a partir do conceito de diferentes autores;

- c) identificação de elementos teóricos para suprir os *gaps* identificados na comparação entre os modelos de operação sustentáveis e os sistemas naturais tipo III da Biomimética.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A justificativa acadêmica para esta pesquisa é baseada na originalidade da combinação dos temas Biomimética e sustentabilidade. Os assuntos, quando agrupados, têm poucas evidências de trabalhos. A busca por pesquisas que tratam destes assuntos foi realizada por meio da base de dados EBSCO, escolhida por ser uma fonte internacional de informações de periódicos científicos. Outras bases de dados, inseridas na base EBSCO, foram selecionadas por fazerem parte do contexto de engenharia de produção, gerenciamento de negócios, meio ambiente e sustentabilidade, enriquecendo a pesquisa. O quadro abaixo evidencia esta lista.

Quadro 1 – Bases de dados pesquisadas

Base de dados	Abrangência
Academic search Complete	É uma base de dados de texto completo multidisciplinar, com mais de 8.500 periódicos de texto completo, incluindo mais de 7.300 periódicos revisados por especialistas.
Business Source Complete	É a mais completa base de dados acadêmica na área de negócios do mundo.
Green File	Informações de pesquisa cobrindo todos os aspectos do impacto humano no meio ambiente. Sua coleção de títulos de interesse acadêmico, governamental e geral incluem conteúdos sobre aquecimento global, construções ecológicas, poluição, agricultura sustentável, energia renovável e reciclagem.
Academic Search Premier	Base de dados multidisciplinar que fornece o texto completo de mais de 4.600 periódicos, incluindo texto completo para praticamente 3.900 títulos analisados por especialistas.
Environmental Complete	Contém mais de 2,4 milhões de registros de mais de 2.200 títulos nacionais e internacionais.
Academic Search Elite	Instituições acadêmicas no mundo inteiro contam com essa base de dados como seu recurso principal de informações acadêmicas. O <i>Academic Search Elite</i> contém texto completo de mais de 2.100 revistas especializadas

Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

O método de busca foi a combinação, com a utilização da ligação *AND*, *NOT* e a utilização de texto entre aspas para busca exata do termo, palavras chave referentes ao tema. A Tabela 1 ilustra o resultado desta etapa do trabalho, apresentando 735 resultados frente às combinações realizadas. Cada um dos títulos foi analisado de modo que 63 pesquisas foram selecionadas para que os seus *abstracts* fossem lidos e utilizados conforme aplicabilidade.

Tabela 1 – Busca na base de dados

Palavra Chave	Resultado	<i>Abstract</i> analisados	Artigo Analisado
biomimeticANDsustainability	0	0	0
BiomimicryANDsustainability	9	7	5
"operationmodel"NOTmathematicalNOTprogrammingNOTsimulationNOTlinear	577	31	10
"productionmodel"NOTmathematicalNOTprogrammingNOTsimulationNOTlinear	140	23	6
sustainable AND "business model"	9	2	2
sustainable AND "operation model"	0	0	0
sustainabilityAND "operation model"	0	0	0
"operation model"AND biomimicry	0	0	0
"operation model"AND biomimetic	0	0	0
TOTAL	735	63	23

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Dando continuidade, vinte e três pesquisas tiveram análise completa do seu conteúdo originada da análise dos *abstracts*, formando uma base conceitual a partir de artigos já publicados.

De forma complementar à base bibliográfica originada dos artigos, livros com foco no tema foram utilizados para enriquecer a pesquisa. Estes podem ser evidenciados nas referências.

Verificando os resultados das pesquisas, observa-se que modelos de operação são atualmente estudados. Pesquisas na área de Biomimética existem, porém voltadas a mudanças de produto e não de modelo de operação. No entanto, a aplicação de modelos de operação

sustentáveis com o viés biomimético é uma lacuna presente nas pesquisas encontradas, de tal maneira que o presente trabalho tem sua justificativa neste espaço ainda pouco estudado.

Para empresas, a contribuição se dá pela possibilidade de criação de uma solução para algumas fraquezas, ou mesmo um problema prático, podendo habilitá-las a se tornarem competitivas com a aplicação de conceitos biomiméticos (A. GEORGES; ROMME, 2003).

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação da pesquisa confere ao trabalho a clareza dos não entregáveis. Neste sentido, delimita-se este trabalho quanto aos seguintes aspectos:

As abordagens utilizadas para compor os modelos de operação sustentáveis foram eleitas primeiramente pelo critério de surgimento nos artigos pesquisados e complementados com o retorno da avaliação dos especialistas. O presente trabalho não tem como objetivo detalhar mais do que cinco abordagens dos modelos de operação sustentáveis, pois o foco está na criação do modelo com características Biomiméticas e não no detalhamento dos modelos existentes.

Os resultados obtidos por meio do instrumento de avaliação de integração entre modelo de operação sustentável e Biomimética são válidos, porém possuidores de modelos mentais dos respondentes.

A definição de um método qualitativo na condução deste trabalho impõe uma delimitação no que tange o tratamento dos dados. Ferramentas para análise de dados qualitativos são existentes, porém a natureza dos dados faz com que sejam dependentes da subjetividade das pessoas envolvidas (MIGUEL, 2010). É sabido que a qualidade dos dados é dependente do nível de conhecimento das pessoas acerca dos assuntos estudados e esta variável foi minimizada na medida que os participantes foram selecionados segundo um critério que levou em consideração ter publicação relacionada ao tema ou atuar profissionalmente ou academicamente com os assuntos sustentabilidade ou Biomimética.

A composição dos grupos focais também é considerada uma delimitação na medida em que foi dependente da disponibilidade de tempo dos especialistas e não contou com integrantes com ênfase em Biomimética e sim em sustentabilidade e operações.

Quanto aos princípios dos sistemas naturais maduros, Tipo II, utilizados para aprimorar o Modelo de Operação Sustentável Base, uma delimitação foi a decisão de utilizar os três maiores *gaps* para esta finalidade. Tal critério é embasado no fato de que a intenção do trabalho é propor um Modelo de Operação inicial, sem a pretensão de cobrir todos os aspectos da Biomimética. Além disso, coloca-se como sugestão para trabalho futuro a utilização dos princípios não contemplados neste trabalho.

No que diz respeito a escolha dos constructos, o trabalho é delimitado à percepção do pesquisador por meio das leituras dos autores resultantes da pesquisa realizada. Tanto definição quanto o nome de cada constructo não foi retirado de um único autor e sim de um entendimento dos diferentes pontos de vista.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a proposta de trabalho por meio da introdução. A questão de pesquisa é apresentada, bem como os objetivos do estudo (objetivo geral e os específicos). Também são detalhadas as delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo aborda a questão metodológica. O *Design Science Research* é demonstrado e a justificativa para a escolha da metodologia também. Ainda nesta seção tem-se o detalhamento do método de trabalho.

O terceiro capítulo traz o referencial teórico sobre modelos de operação sustentáveis e Biomimética, formando a base para a pesquisa e suas futuras conclusões.

O quarto capítulo traz o desenvolvimento do modelo de operação sustentável base, criado a partir da visão de dez autores e aprimorado por um grupo de especialistas em um *focus group*. Também é demonstrada a avaliação entre os modelos de operação sustentáveis e a Biomimética, desenvolvida por meio de uma *survey* e respondida por um grupo de especialistas. Ainda neste capítulo a análise de *gap* resultante da *survey* é detalhada e um modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética é gerado, segundo o método proposto. Este também é revisado em um segundo *focus group*.

No quinto capítulo, serão apresentadas as conclusões decorrentes do desenvolvimento do trabalho, bem como limitações e sugestões para estudos futuros sobre o tema.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Reunir informações para resolver um problema é pesquisar (BOOTH et al., 2008). Deste modo, uma metodologia de pesquisa visa orientar o processo de solução da questão estabelecida na pesquisa. Para Manson (2006) e Huff (2000, apud Aken 2005) trata do estudo dos métodos e princípios que são utilizados para construir novos conhecimentos.

Este trabalho terá uma abordagem qualitativa devido ao interesse em desvendar o desenrolar dos eventos que culminam nos resultados. Portanto o objetivo não é somente o resultado, mas como se chegou até eles. Na abordagem qualitativa, a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na pesquisa é considerada e contribui para o desenvolvimento da pesquisa que será feita ao redor do seu ambiente natural (MIGUEL, 2010).

Para Maanen (1979, apud Miguel 2010) a abordagem qualitativa abriga uma série de técnicas de interpretação que visam o entendimento e não somente a frequência de ocorrência das variáveis de determinado fenômeno. Este entendimento resulta em um mapa, produto da reflexão do pesquisador sobre o tema investigado.

A metodologia de pesquisa apropriada para conduzir à resposta para a questão proposta, relativamente uma nova abordagem no gerenciamento, segundo Trullen e Bartunek (2007), é o *Design Science Research*. Para Manson (2006), esta metodologia envolve a análise do uso e desempenho do artefato gerado para entender, explicar e melhorar o que está sendo estudado na tentativa de criar valor a propósitos humanos. Durante as primeiras fases tende a ser um processo criativo que envolve novos pensamentos, possibilitando um salto às possibilidades futuras; já durante a finalização faz uso de diversas técnicas qualitativas ou quantitativas para medir efetividade.

É baseada no pragmatismo como noção epistemológica adjacente, significando que desenvolve conhecimento a serviço da ação prática (A. GEORGES; ROMME, 2003). Desta forma, um dos seus principais objetivos é desenvolver conhecimento para tomadores de decisões, podendo ser testado em situações na vida real que são em parte baseadas nas reclamações tradicionais de pesquisadores e profissionais e em parte nos entendimentos do seu próprio trabalho (TRULLEN; BARTUNEK, 2007).

A *Design Science Research* estuda fenômenos artificiais e não os naturais. Outra característica desta metodologia é ser prescritiva ao invés de descritiva. O conhecimento produzido pode ser de natureza descritiva ou prescritiva: no primeiro caso, um dado fenômeno organizacional é descrito, e possivelmente explicado, em variáveis independentes. De outro lado, o desenvolvimento de conhecimento prescritivo é direcionado pelo problema e orientado para a solução, descrevendo e analisando alternativas (AKEN, 2004). O Quadro 2 explica a diferença entre as abordagens descritivas e prescritivas.

Quadro 2 – Diferença entre as abordagens prescritivas e descritivas

Característica	Programas de pesquisa direcionados à descrição	Programas de pesquisa direcionados à prescrição
Paradigma dominante	Ciência explanatória	Ciência do projeto
Foco	O problema é focado	A solução é focada
Perspectiva	Observador	Ator
Lógica	Retrospectiva	Resultado de intervenção
Questão de pesquisa típica	Explicação	Soluções alternativas para uma classe de problema
Produto de pesquisa típico	Modelos causais, leis quantitativas	Regras tecnológicas testadas e fundamentadas
Natureza do produto de pesquisa	Algoritmo	Heurística
Justificativa	Provas	Evidências saturadas
Tipo de teoria resultante	Teoria organizacional	Teoria gerencial

Fonte: Aken (2004)

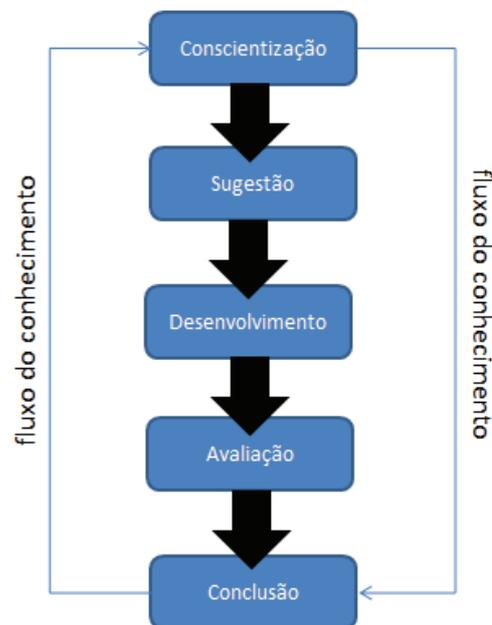
Para Manson (2006), trata-se do processo de uso do conhecimento para projetar e criar artefatos úteis, utilizando métodos de análise de maneira a verificar a eficácia destes artefatos, resultando na geração de conhecimento durante esta fase de verificação e análise.

O processo consiste em duas atividades, sendo elas: Construir e Avaliar. A primeira diz respeito ao processo criativo que gera novos artefatos, já a segunda testa estes artefatos quanto a sua utilidade. Estes artefatos são normalmente projetados para atingir uma necessidade ou alguma meta. Eles são uma interface entre o ambiente externo, situação que deve operar, e o ambiente interno, o artefato em si. A saída resultante do *Design Science Research* são artefatos avaliados, podendo-se valer de constructos, modelos, métodos e instanciações (MANSON, 2006). Quanto ao processo de criação de artefatos, A. Georges e

Romme (2003) alertam para o fato de que o excesso de foco na situação existente pode evitar que os pesquisadores reconheçam novas ideias e vejam novas formas de resolver os problemas.

Deste modo, o conhecimento é usado para criar funcionamento ou artefatos e estes são estudados para construir o conhecimento, agindo como um circuito fechado em *loop*. Para o melhor entendimento do *Design Science Research*, a Figura 2 demonstra o passo a passo para a sua construção.

Figura 2 – Passo a passo para o *Design Science Research*



Fonte: Adaptado de Vaishnavi V e Kuechler W (2005 apud Manson 2006)

A etapa de “conscientização” indica uma fase de aprendizagem sobre a situação atual onde problema ocorre. Isto acontece através de pesquisa e do próprio conhecimento do pesquisador. Logo após, na “sugestão”, já se tem uma sugestão por meio de um processo criativo. Neste ponto, se o pesquisador é incapaz de produzir uma proposta, os esforços na pesquisa são deixados de lado. O “desenvolvimento” trata da criação dos artefatos. Entre exemplos de artefatos podem ser citados os seguintes: algoritmos, softwares e sistemas. Na “avaliação”, o artefato deve ser validado considerando um critério implícito ou não na proposta. Os passos de desenvolvimento e avaliação, além da conclusão obviamente, já podem indicar um caminho de aprendizagem, fazendo com que o pesquisador até mesmo

volte ao início do processo devido a um novo entendimento do problema. Por fim, a “conclusão” busca as explicações aos desvios frente aos artefatos criados. É o ponto para a reflexão sobre se o artefato criado é bom suficiente para a aplicação (MANSON, 2006).

Como discutido até o momento, as saídas de um *Design Science Research* incluem o artefato e as conclusões a partir de sua validação. Para Georges (2003), a atividade intelectual que produz o artefato não é diferente das que prescrevem remédio à doença de um paciente ou que desenvolve um novo plano de vendas para uma companhia. Marchand Smith (1995, apud Manson, 2006) descreve quatro possibilidades, como saídas além do próprio artefato:

- a) constructos: caracterizando-se por um vocabulário especializado do assunto, permitindo a descrição do assunto por meio de conceitos. Esta descrição provavelmente será maior se comparada a outra criada através de um método descritivo puro;
- b) modelo: é o conjunto que expressa os relacionamentos entre os constructos; eles permitem manipular os constructos;
- c) método: seqüência de passos, um algoritmo ou um guia para o desenvolvimento de uma determinada atividade, baseados nos constructos e nos modelos;
- d) instanciação: são as compreensões dos artefatos em seus ambientes; operacionalizam todos os conceitos anteriores.

As saídas de um *Design Science Research* podem ser melhor entendidas por intermédio da Figura 3.

Figura 3 – As saídas de um *Design Science Research*



Para esta pesquisa, o artefato proposto é o próprio modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética.

Entretanto esta metodologia é mais do que simplesmente produzir artefatos. Eles podem ser os mais visíveis, mas existem pelo menos outras duas saídas: “conhecimento reprodutível”, similar aos modelos, e “teoria emergente” como um resultado esperado do artefato.

Trullen e Bartunek (2007) complementam com outra possível saída: o desenvolvimento de teorias gerenciais para auxiliar no desenvolvimento organizacional. Isto significa que este método pode trazer ainda mais contribuições neste meio.

Seguindo a linha de pensamento positivista, que acredita em uma realidade única que é separada e independente do pesquisador, o *Design Science Research*, por definição, muda o estado do mundo através da introdução de artefatos. A metodologia entende os fatos e os seus significados por meio de um processo iterativo de construção e avaliação por diversas perspectivas (MANSON, 2006).

O propósito é que não é somente focalizar “o que” (causas de uma doença, por exemplo), mas também criar algo novo do tipo “como curar determinada doença” (TRULLEN; BARTUNEK, 2007). Para A. Georges e Romme (2003), a metodologia é necessária para desafiar a sabedoria convencional e questionar sobre “O quê? Se...”.

A avaliação do *Design Science Research* é feita de forma muito criteriosa. Ele pode ser avaliado como um artefato, necessitando da validação de sua eficácia e eficiência, como a relevância do problema estudado, em que a importância, ou relevância, do problema é avaliada pela comunidade onde este método é aplicado e, finalmente, pela utilidade, qualidade e eficácia do método de projeto do artefato; desde que isto seja demonstrado, a diferença entre uma “não teórica” pesquisa e o *Design Science Research* pode ser evidenciada. Entre os métodos de avaliação, pode-se citar: observação, análise, experimento (onde pode-se utilizar softwares de simulação), teste e descrição (MANSON, 2006). Para este trabalho foi utilizada a técnica de grupo focal para a validação do artefato.

Figura 4 – Parâmetros para a definição do *Design Science Research*

Problema de pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> •Problema deve ser relevante; •Problema deve contribuir para a diminuição da lacuna entre teoria e prática; •Problema deve contribuir para o avanço do conhecimento.
Produto da pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> •Deve ser criado um artefato; •Devem ser desenvolvidas e projetadas soluções para problemas reais; •As soluções desenvolvidas devem ser satisfatórias para o problema em estudo; •As soluções geradas devem apresentar-se na forma de um projeto ou prescrição.
Avaliação do artefato	<ul style="list-style-type: none"> •O artefato deve ser avaliado por meio de técnicas e ferramentas adequadas; •A utilidade do artefato deve ser rigorosamente demonstrada por meio da avaliação.
Generalização soluções	<ul style="list-style-type: none"> •As soluções propostas para o problema devem ser generalizáveis para uma classe de problemas; •As heurísticas de construção e contingenciais referentes ao artefato devem ser generalizáveis para uma classe de problemas.
Rigor na condução do método	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as etapas do método devem ser percorridas; •Todas as atividades previstas e realizadas pelo pesquisador devem ser documentadas em um protocolo de pesquisa.

Fonte: Dresch (2013)

Para esta pesquisa, o primeiro item da Figura 4 - problema de pesquisa - é a inquietação sobre a constituição de um modelo de operação sustentável sob a luz da Biomimética. Este problema apresenta sua relevância na medida em que a sua solução pode contribuir para o avanço dos modelos de operação atuais, limitados no que diz respeito a sua concepção de consumidor de recursos naturais.

Frente ao parâmetro de produto da pesquisa, o artefato proposto como um Modelo de Operação Sustentável sob a ótica da Biomimética, descrito no item 4.5, abarca este ponto da avaliação da pesquisa, sendo considerado aplicável, pelo grupo de especialistas consultado, em um mundo real.

A avaliação do artefato compreende um item que pode ser melhorado na pesquisa. Embora tenha sido desenvolvido sobre as contribuições de dois grupos focais e um questionário de pesquisa, a avaliação do artefato final pode ser melhor explorada. Por este motivo foi descrito a sugestão de trabalho futuro com esta finalidade.

O artefato proposto possui nível de generalização para que possa ser aplicável a diferentes tipos de operação. Por este motivo não foram demonstrados nos constructos nomes de operações ou descrições que pudessem vincular o artefato a uma espécie de operação específica.

Quanto ao rigor na condução, esta pesquisa passou por todas as etapas descritas no método de trabalho e foram descritas no item 2.2.

2.1 JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA

Nesta pesquisa será utilizada a metodologia de *Design Science Research* devido a:

- a) a proposição de um artefato do tipo modelo. O modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética caracteriza uma das saídas juntamente com conhecimento reprodutível resultante da integração entre modelos de operação sustentáveis e Biomimética, consequência da metodologia selecionada e reforçada por meio do Quadro 3.

Quadro 3 – Características que justificam *Design Science Research* como aplicável à pesquisa

Característica	Ciência Natural	Ciência Social	Design science research
Áreas ou disciplinas	Física, química, biologia	Antropologia, economia, política, sociologia, história	Medicina, engenharia, gestão
Propósito	Entender fenômenos complexos. Descobrir como as coisas são e justificar o porquê de serem desta forma	Descrever, entender e refletir sobre o ser humano e suas ações	Projetar, produzir sistemas que ainda não existem. Modificar situações existentes para alcançar melhores resultados. Foco na solução
Objetivo da pesquisa	Explorar, descrever, explicar e, quando possível, prever	Explorar, descrever, explicar e, quando possível, prever	Prescrever. As pesquisas são orientadas à solução de problemas

O método escolhido permite a geração do aprendizado durante a construção do artefato, podendo fazer com que a pesquisa revise etapas anteriores em um processo de melhoria da solução proposta. A aplicabilidade à pesquisa se torna vantajosa e oportuna na medida em que o modelo de operação ainda não existe e poderá ser criado em ciclos de aprimoramento.

A avaliação do artefato criado na pesquisa como consequência da metodologia, diferenciando-se de uma pesquisa ação. Apesar da metodologia de pesquisa ação ter pontos em comum com *Design Science Research*, como a participação do pesquisador, a avaliação do artefato gerado é feita como parte da metodologia *Design Science Research*.

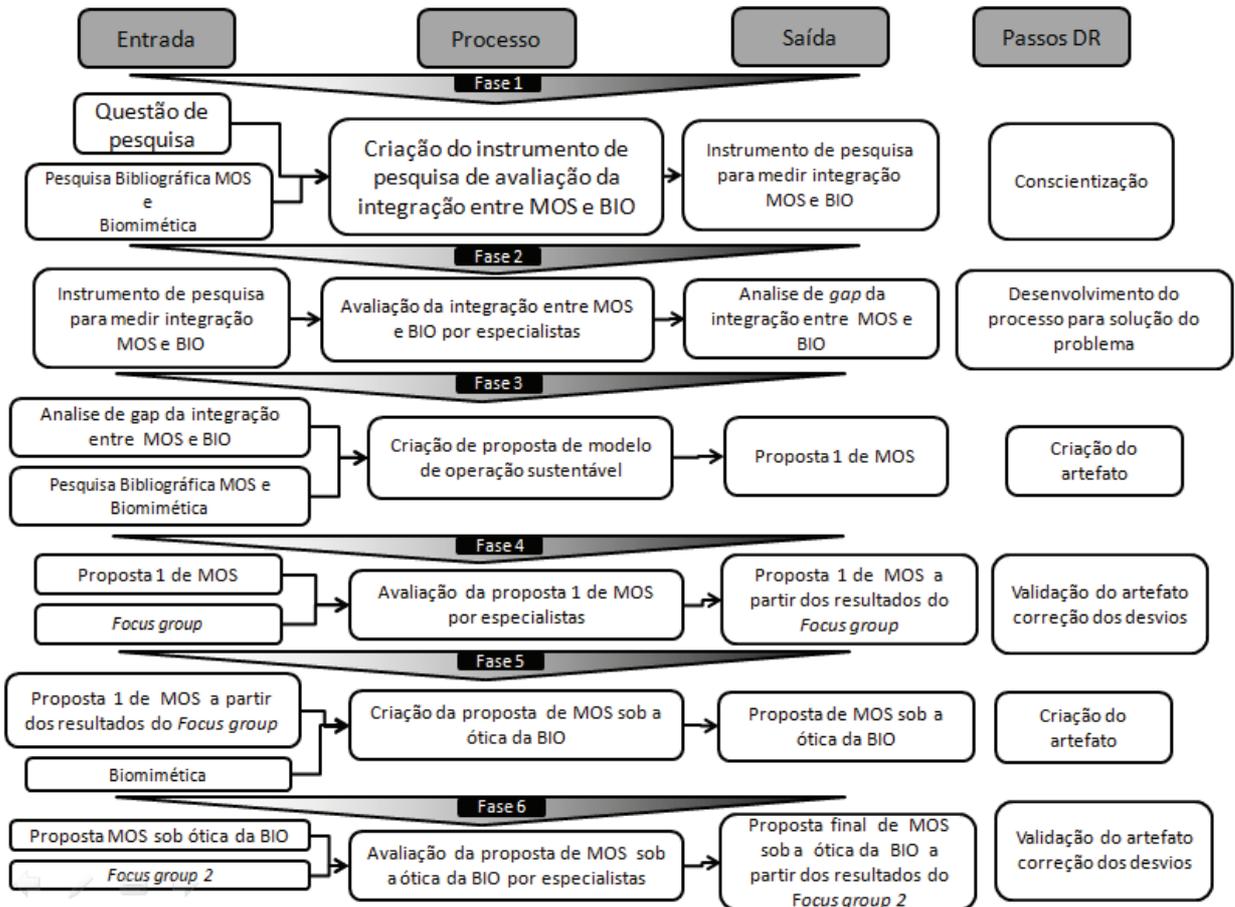
Finalizando a etapa de consolidação do método de pesquisa, inicia-se a etapa de detalhamento do procedimento técnico de trabalho, descrito no próximo item.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

Para Miguel (2010), o primeiro passo para a realização de uma pesquisa é a definição clara do problema de pesquisa, denominada por ele como “desordem”. A partir disso, o pesquisador poderá buscar o que significa a “ordem” resolvendo o problema de pesquisa. Em alguns casos, o estabelecimento da ordem é simplesmente o contrário da desordem e um simples modelo contendo esta informação é suficiente para que o problema seja resolvido. Em outras situações, na existência de problemas de maior complexidade, é necessário utilizar hipóteses para resolvê-los. A hipótese é o resultado da operacionalização da pesquisa; os constructos existentes no modelo e extraídos da teoria são transformados em relações causais com vistas a prever a ordem (MIGUEL, 2010).

Sob a ótica da metodologia *Design Research*, o método de trabalho consistirá na operacionalização de uma sequência de passos demonstrados na Figura 5. Assim como apresentado na seção anterior, a proposta terá como característica a avaliação, dentro de cada etapa, da necessidade de retornar devido a aprendizados gerados.

Figura 5 – Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

O desdobramento de cada etapa planejada segue conforme a seguinte descrição:

Fase 1:

Com a questão de pesquisa já formulada, o estado de “desordem” é: “Quais deveriam ser os elementos constituintes de um modelo de operação sustentável à luz da Biomimética?”.

Com vistas a buscar o estado de “ordem”, a atividade foi a pesquisa bibliográfica nos principais assuntos que a norteiam. Modelos de operação sustentáveis e Biomimética foram estudados de maneira a formar uma base conceitual de integração entre os temas.

A conscientização, no que tange ao problema, foi a saída prevista. Logo, possíveis características Biomiméticas que poderiam nortear modelos de operação sustentáveis foram observadas. Tais características preencheriam lacunas de modelos de operação sustentáveis,

contribuindo com o avanço do conhecimento com o aprimoramento dos modelos conhecidos atualmente.

A visualização destas lacunas foi realizada por meio de uma pesquisa de avaliação, ilustrada no Apêndice A, também chamada de *survey*. Neste instrumento de pesquisa, criado nesta fase, foram questionados dados básicos sobre o respondente, logo após perguntas iniciais abertas com o intuito de qualificar o respondente, questionando-o sobre sua visão de motivação que as empresas têm para a aplicação de modelos de operação sustentáveis bem como ferramentas utilizadas e, por último, dez questões fechadas de múltipla escolha sobre a aderência que cada um dos dez princípios dos sistemas naturais do tipo III têm com modelos de operação sustentáveis. Dados qualitativos ordinais ou categóricos foram obtidos devido à possibilidade de ordenação resultante da escala aplicada - por exemplo, mais aderência de modelos de operação sustentáveis à Biomimética ou menos aderência de modelos de operação sustentáveis a Biomimética, através da escala de um à dez. O instrumento de coleta contém uma introdução que visa instruir a forma de preenchimento e, por consequência, também aumentar a taxa de retorno de respostas. Além disso, foi previamente testado para evitar perguntas com interpretações dúbias.

Fase 2:

De posse do instrumento de pesquisa elaborado e melhorado por meio de um pré teste, a avaliação do nível de aderência entre modelos de operação sustentáveis e Biomimética foi feita por meio do envio do questionário e instruções via *e-mail*. O tempo de coleta de dados foi de um mês, com novos *e-mails* de cobrança semanalmente enviados apenas para aqueles que ainda não haviam respondido no período estabelecido. A pesquisa foi respondida por pessoas envolvidas com o tema Biomimética e Operações Sustentáveis, neste contexto denominados especialistas, com os critérios:

- a) ter publicação sobre os temas Biomimética ou Operações Sustentáveis, ou;
- b) atuar ou ter experiência na área de meio ambiente, ou;
- c) ser graduado ou ter graduação em andamento em Biologia.

O processo executado na etapa 2 foi a análise de dados, que tem como saída análises do tipo: perfil dos respondentes e motivação das empresas para a implementação de modelos de operação sustentável e grau de aderência de cada princípio dos sistemas naturais maduros,

tipo III. Esta informação teve a finalidade de suportar a decisão quanto ao princípio biomimético que foi utilizado para melhorar o Modelo de Operação Sustentável Base.

Fase 3:

De posse da avaliação dos especialistas, as lacunas dos modelos de operação sustentáveis foram identificadas. Apontamentos dos especialistas contribuíram na geração do conhecimento antes mesmo do término do trabalho, preparando uma base fundamental para o desenvolvimento do artefato.

Então um modelo de operação, chamado de Modelo de Operação Sustentável Base, foi criado. O critério para a elaboração de um modelo de operação, anterior ao modelo aprimorado pela Biomimética, foi a construção de um modelo novo a partir da constatação de que os autores pesquisados têm diferentes pontos de vista sobre modelos de operação sustentáveis e que, para este trabalho, o modelo seria representado com a união dos aspectos considerados na bibliografia estudada. A busca na base de dados EBSCO, feita com palavras chave voltadas aos temas operação, sustentabilidade e Biomimética, trouxe como resultado uma lista de artigos relacionados. Com a leitura da lista relacionada percebeu-se diferentes pontos de vista sobre assuntos similares. Um exemplo é o tema “mão de obra”, que em obras dos anos sessenta, é tratada apenas como tempo disponível para o trabalho, e passa a ser tratada com a preocupação na qualidade e tempo de seleção. O conceito também passa a ser descrito com o termo colaboradores.

O Modelo de Operação Sustentável Base foi composto com base nos assuntos tratados pelos autores pesquisados sob a perspectiva do pesquisador e então uma lista de constructos, com suas definições, foi elaborada para posterior avaliação. Da mesma forma, a relação entre estes constructos foi definida com base na percepção do pesquisador e ilustrada nas setas que compõem a relação entre os constructos. A avaliação deste modelo base foi a próxima fase e é descrita adiante.

Fase 4:

Os constructos, elementos constituintes do modelo, foram revisados por um grupo de especialistas em um *Focus Group* (FG), que segundo Freitas e Oliveira (1998), é uma ferramenta para a pesquisa qualitativa que tem sido usada em áreas como gestão, marketing, decisão, sistemas de informação e, principalmente, em ciências sociais. Complementam

Freitas e Oliveira (1998), apresentando o objetivo do FG como sendo a obtenção do entendimento dos participantes sobre o tópico de interesse de pesquisa, não importando se for utilizado sozinho ou com outros métodos, nem mesmo se busca questões ou respostas. Quanto à aplicação em conjunto com outros métodos, Freitas e Oliveira (1998) afirmam que o FG pode ser usado como uma pesquisa, fornecendo evidências referentes aos posicionamentos dos respondentes sobre os tópicos em questão.

O *Focus Group* ocorreu em um local neutro, onde todos tiveram a oportunidade de expressar suas opiniões livremente, sem pressões externas de tempo ou mesmo políticas empresariais. O tempo total do encontro foi de 3 horas e a sequência de atividades é colocada no Quadro 4.

Quadro 4 – Agenda utilizada para o *Focus Group*

Início	Fim	Atividade
08:00	08:20	Boas vindas e Contextualização da pesquisa
08:20	10:40	Apresentação e discussão sobre os constructos
10:40	10:50	Apresentação do modelo e suas relações
10:50	11:00	Contribuição final sobre relações, constructos faltantes e constructos desnecessários.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Assim como Muller (2011), quanto aos papéis desempenhados no *Focus Group*, foram definidos três: i) o apresentador; ii) o condutor dos debates; iii) os especialistas. O apresentador tem como responsabilidade apresentar a proposta de Modelo de operação sustentável base, esclarecer dúvidas dos especialistas e coletar os dados de modo a realizar ajustes no modelo inicialmente proposto. O condutor dos debates é responsável pela manutenção do foco da discussão quanto à proposta estabelecida, objetivando o cumprimento do tempo planejado para cada etapa. Os especialistas têm como responsabilidade gerar dados à pesquisa por meio de suas contribuições.

Quanto à preparação para o *Focus Group*, foram realizadas algumas atividades: i) elaboração de um material de consulta contendo o tema a ser tratado, o objetivo da pesquisa, a questão de pesquisa, o conceito de Modelo de operação sustentável, os pressupostos de um Modelo de operação sustentável, os constructos de um Modelo de operação sustentável, a

figura do Modelo de operação sustentável e as questões a serem respondidas pelo grupo; ii) construção do material de apoio contendo a agenda da reunião, o conceito de Modelo de operação sustentável, os critérios para a geração dos constructos, o detalhamento de cada constructo, o Modelo de operação sustentável base e as questões a serem respondidas; iii) envio do material de consulta aos especialistas com uma semana de antecedência por *e-mail* e; iv) gravação em áudio durante o evento (MULLER, 2011).

O grupo contou com a participação de cinco pessoas, denominadas especialistas, com o seguinte perfil acadêmico: um doutor, dois mestres e dois mestrandos. Além destes, um condutor dos debates e uma pessoa responsável pela apresentação da proposta.

No que tange à sistematização dos debates, a condução dos trabalhos foi estipulada levando-se em consideração um tempo pré-determinado e acordado antecipadamente com o grupo para cada apresentação de constructo. O mesmo ocorreu com o tempo para cada debate.

Ao final desta fase, após as considerações do grupo focal, estabeleceu-se o modelo de operação sustentável base.

Fase 5:

Foi realizado o complemento do modelo de operação sustentável base a partir do resultado da pesquisa de aderência dos princípios maduros aos modelos de operação sustentáveis atuais. Utilizou-se uma pesquisa na base de dados de artigos EBSCO. A busca foi feita por palavras chave que representam o princípio biomimético com menor nível de aderência apontado na pesquisa e as melhorias inseridas no modelo de operação sustentável criado. Então, um modelo de operação sustentável com características adicionais originadas de conceitos Biomiméticos foi proposto como uma versão preliminar de um artefato. Neste ponto, obteve-se a primeira versão do artefato gerado devido à pesquisa, representado por meio dos constructos do Modelo de Operação Sustentável Biomimético.

Fase 6:

Na fase final, especialistas analisaram o modelo de operação proposto em um segundo *Focus Group* com o objetivo principal de tornar o artefato mais robusto sob os pontos de vista teórico e pragmático. O evento de avaliação do modelo proposto ocorreu como ilustra a Quadro 5.

Quadro 5 – Agenda do grupo focal 2

Início	Fim	Atividade
09:00	09:05	Boas vindas e Contextualização da pesquisa
09:05	09:15	Apresentação do Modelo de operação sustentável base
09:15	09:20	Apresentação da pesquisa de integração entre o Modelo de operação sustentável base e os princípios biomiméticos
09:20	10:20	Apresentação dos princípios naturais do tipo III utilizados para aprimorar o modelo de operação sustentável base
10:20	11:29	Discussão em grupo e contribuições aos constructos atuais do modelo de operação sustentável base
11:29	11:47	Considerações finais e agradecimentos

Fonte: Elaborada pelo autor (2013)

A agenda do grupo focal 2 foi planejada em três blocos: no primeiro foram tratados os pontos de contextualização da pesquisa, como a apresentação do modelo de operação sustentável base e pesquisa que demonstrou a ordem de priorização dos princípios biomimético. O segundo bloco tratou de uma explanação sobre cada princípio biomimético e seu detalhamento, assim como sua relação com os atuais constructos utilizados no modelo de operação sustentável base e melhorias aplicáveis a estes constructos. O bloco final tratou de considerações finais acerca dos constructos com uma visão generalizada após a visualização de cada princípio individualmente.

Quanto aos papéis desempenhados e a preparação o método seguiu os mesmos moldes do primeiro grupo focal. O grupo contou com a participação de seis pessoas, denominadas especialistas, com o seguinte perfil acadêmico: um doutor, três mestres e dois especialistas. Além destes, um condutor dos debates e uma pessoa responsável pela apresentação da proposta.

A resposta a ser dada foi a suficiência do método frente ao problema que se desejava resolver. Esta etapa também compreende a melhoria, por meio do aprendizado gerado, com a validação de especialistas. Para tanto, ajustes foram necessários, resultando em uma proposta final de modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética, validado por um grupo de especialistas. Mais uma vez, o processo de aprendizado durante o desenvolvimento, que caracteriza a metodologia, foi evidenciado nesta etapa do trabalho.

Por fim, a conclusão da pesquisa foi o ponto de reflexão sobre o resultado gerado. Desvios nos resultados alcançados, quando comparados as metas propostas, foram analisados. Novas pesquisas foram recomendadas, verificando as lacunas restantes após a conclusão da pesquisa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre os temas abordados nesta pesquisa. Assuntos como modelos de operação, sustentabilidade e Biomimética são tratados.

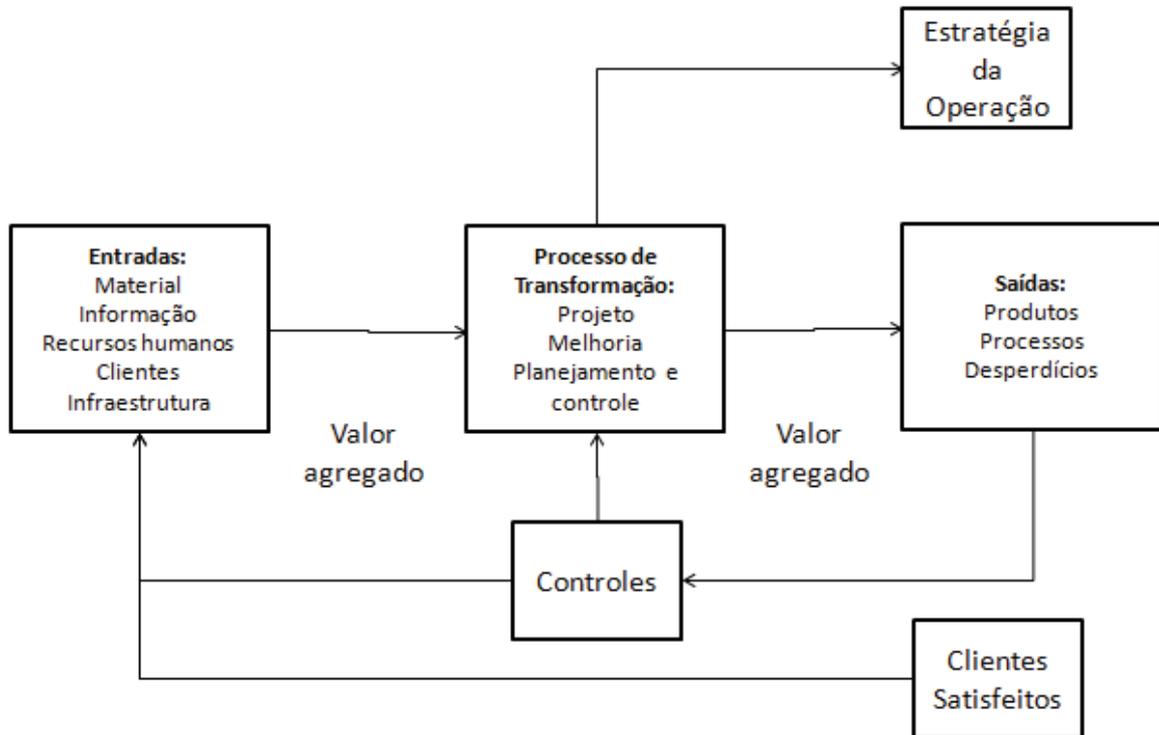
3.1 MODELOS DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEIS

Para Dennis (2008), um modelo deve ser ligado à prática. Atividades no modelo devem ser traduzidas para ações no chão de fábrica. O modelo mental, aplicado no modelo a ser estudado, também deve ser levado à prática, tarefa difícil em ambientes de fábrica em ritmo acelerado.

Aprofundando o conceito de um modelo, YI et al (2000) propõe um modelo conceitual baseado fundamentalmente em recursos do tipo mão de obra, equipamentos e informações. A estratégia de utilização destes recursos define o modelo. Já Griffin (1994) utiliza, para demonstrar seu modelo conceitual, um diagrama representando metas, e recursos como pessoas, informações e softwares. Demonstra a relação entre eles, detalhando cada ponto com uma descrição explicativa. Logo, modelos são utilizados para demonstrar, de forma simplificada, uma situação real.

Para Alcalay e Buffa (1963), operação, ou produção é composta por material, mão de obra, equipamentos, energia e serviços. Biddle (2011) afirma que todos os produtos e serviços consumíveis são resultados de matérias primas processadas, sendo a meta de uma operação produzir estes produtos a uma demanda existente em uma operação composta por *inputs* como material, informação, pessoas, clientes e estrutura física. Logo em seguida, o processo, composto por projeto, melhoria, planejamento e controle. E, por fim, as saídas são os produtos, serviços e os refugos.

Figura 6 – Modelo geral de sistema de produção



Fonte: Biddle (2011)

No intuito de consolidar os modelos de operação sustentáveis, foram detalhados três pontos: O primeiro, denominado conceito, explica as linhas gerais de definição do tema e exemplifica algumas características. Os pressupostos, segundo ponto, determinam os antecedentes, as premissas que balizam o que se entende por sustentável, enquanto as abordagens demonstram os métodos de implementação. Por fim, exemplos práticos foram demonstrados para consolidar como a sustentabilidade está inserida nas empresas no que tange aos modelos de operação. Este detalhamento foi importante para a pesquisa pois auxiliou na construção do modelo de operação sustentável base, posteriormente melhorado por meio da Biomimética.

3.1.1 Conceito de Modelo de Operação Sustentável

Labuschagne et al. (2005) afirmam que o conceito de sustentabilidade é definido intuitivamente e que ainda não é fácil definir este assunto em termos operacionais concretos. Assim propõem-se princípios e requisitos para expressar sustentabilidade de forma concreta e operacional: contemplar sustentabilidade no âmbito social, ambiental e econômico de forma

básica; torná-la corporativa; tratar a perspectiva econômica com uma abordagem de curto e longo prazo; utilizar indicadores que demonstrem estas definições e apresentar, por meio de ações robustas, iniciativas que levem ao caminho da sustentabilidade. Todos estes pontos têm como objetivo central auxiliar empresas a se tornarem mais ágeis, adaptadas e alinhadas em balancear pessoas e o planeta com os lucros, reforçando a necessidade da criação de pontes entre o tema de operações sustentáveis e a própria engenharia (KLEINDORFER et al., 2005).

Segundo Kleindorfer et al. (2005), o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido na *World Commission on Environment and Development* em 1987 como o desenvolvimento que satisfaz a capacidade do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades. Para Savitz (2007), gerar lucro para acionistas, ao mesmo tempo em que protege o meio ambiente e melhorar a vida das pessoas que mantém interações, é a ideia da sustentabilidade, sendo resumidamente definida pela arte de fazer negócios em um mundo interdependente.

A estratégia de uma empresa sustentável tem sido definida como o processo de alinhamento de uma empresa com o ambiente de negócio para manter um equilíbrio econômico, social e ambiental para gerações futuras. A adoção de iniciativas intencionais visando a transformação de uma empresa para a sustentabilidade pode trazer maior rentabilidade (MOORE; MANRING, 2009). Para Anderson (2011), esta rentabilidade pode ser também melhor e mais válida, se tornando um poderoso diferenciador de mercado.

Anderson (2011), da mesma forma, afirma que sustentabilidade são maneiras de satisfazer as nossas necessidades, e não os desejos, hoje, sem debilitar a capacidade de outras pessoas satisfazerem as suas necessidades amanhã, definido na Comissão *Brundtland* das Nações Unidas; porém em sua empresa de carpetes, a Interface, definiu como: operar este negócio dependente do petróleo de uma maneira que só retire da terra o que for natural e rapidamente renovável – nenhuma gota nova de petróleo – e não causa nenhum dano à biosfera (ANDERSON, 2011).

É o que reforça Werbach (2010), trazendo a ideia de que uma empresa sustentável existe para prosperar para sempre, mais do que aumentar receita e cortar custos para aumentar lucro, mais do que ter uma linha de produtos chamados de verdes, utilizados para demonstrar o compromisso da empresa com o meio ambiente. Se bem implementada, Werbach (2010) afirma que a empresa é conduzida a uma estratégia final de economia de

recursos, alcance de uma nova base, captando, mantendo e aprimorando empregados, clientes e a sua comunidade.

Werbach (2010) afirma que estratégias corporativas para a sustentabilidade são confusas, descentralizadas e “de baixo para cima”. Sugerem-se então algumas características de uma empresa sustentável, a saber:

- a) definição de empresa visionária: formadora de grupos além de apenas os funcionários e os clientes; envolve também familiares e comunidades. Tem seu quadro de funcionários e maquinário ajustado à demanda, podendo aumentar se necessário. Transforma lixo em lucro e não o descarta em suas proximidades. Evolui a cada geração de produtos, melhora seus sistemas e não apenas seus produtos. Tem bons indicadores, os divulga com clareza e é ágil para adaptar-se as mudanças no ambiente, nos recursos e na concorrência;
- b) tipo de liderança e foco: os líderes são servidores, se preocupam com a fabricação mas também com o posicionamento da empresa. Entendem como as ações de hoje servirão as próximas gerações. O foco é conectar-se à empresa e administrar com escopo mais amplo do que o do fundador técnico, ou seja, observar aspectos ambientais, econômicos, sociais e até culturais;
- c) objetivos empresariais: são otimistas, desejáveis, alcançáveis entre cinco e quinze anos e acionáveis pessoalmente. Ligados ao cerne da atividade e a um fim maior, estimulam o entusiasmo individual na organização, seguem passos positivos que levam a solucionar um desafio humano alinhados com as forças da organização.

Em adição à busca pela caracterização do modelo de operação sustentável pode-se estudar:

- a) o design;
- b) as novas tecnologias;
- c) os controles;
- d) a cultura empresarial;
- e) os novos processos;
- f) a economia de material.

Estas características podem ser consideradas principalmente ao se relacionarem ao aumento da produtividade da energia e do material. A abordagem do *design* diz respeito a componentes como trocadores de calor, dutos, válvulas, ventiladores e muitos outros que foram concebidos há muito tempo sem a preocupação com a sua eficiência; o ponto central é que muitas vezes as melhores mudanças são as mais simples. O processo de laminação do aço, por exemplo; em boa parte das indústrias, o equipamento que reduz a bitola do material é posicionado excessivamente longe do forno de aquecimento, resultando em uma enorme perda de calor até que o material seja laminado. Aproximar as duas operações pode resultar em uma economia de até dezoito por cento da energia de reaquecimento. A segunda característica aborda a questão tecnológica e sua incrível capacidade de economizar cerca de até duas vezes mais energia do que as tecnologias disponíveis há cinco anos. Equipamentos são interligados a *softwares* que, concatenados a novos *designs* são ainda mais eficientes do que quando analisados isoladamente. Na sequência, tem-se os Controles, muitas vezes utilizados erroneamente, gerando a leitura do que aconteceu há algum tempo ao invés de monitorar o que está acontecendo no exato momento. Problemas detectados após sua ocorrência são mais difíceis para serem solucionados quando comparados aos que têm ação imediata à ocorrência; foi assim que o império da Toyota foi construído, a partir do conceito aplicado aos teares que paravam automaticamente assim que um fio se rompia no processo. Na sequência, a cultura empresarial entra em cena com valorização das pessoas em torno da solução dos problemas, da análise crítica e do aprendizado. Fica exposta a ideia de que empresas como estas serão superiores àquelas que têm apenas operadores visualizando painéis e apertando botões; desta maneira, as que conseguem se aproveitar de seus controles podem transformar operações lineares em operações cíclicas, como na natureza. O penúltimo ponto são os novos processos, tratando de eliminar etapas, reduzir materiais e, conseqüentemente, custo. Estes têm sido estudados através da observação e imitação da natureza como nos processos que utilizam altas temperaturas. Exemplificando, uma pedra calcária à 1480°C transforma-se em cimento *Portland*, porém uma simples galinha, ao se alimentar do material pode tornar a casca do seu ovo extremamente mais resistente, a temperaturas muito menores às utilizadas em qualquer processo industrial - esta é a busca dos pesquisadores. Por último, a economia de material relaciona o produto, sua vida útil e a quantidade de material necessária para produzi-lo, buscando o aumento do primeiro e a redução do segundo (HAWKEN et al., 2010).

Então, para este trabalho, um modelo de operação sustentável é a representação simplificada e estática, pois não considera variações ao longo do tempo, e também no espaço por considerar apenas empresas com relação direta à usuária, que visa o atendimento de uma demanda por meio de constructos e suas relações, definidas de maneira a contemplar aspectos ambientais, econômicos e sociais.

3.1.2 Pressupostos de um Modelo de Operação Sustentável

Desde os anos 90, fatores ambientais e sociais se tornaram cada vez mais considerações estratégicas importantes nos negócios, motivando empresas a buscarem modelos sustentáveis. Novas condições de mercado estão criando visões diferentes de como os negócios devem ser conduzidos, considerando a ligação existente com fatores sociais e ambientais, além dos econômicos (MOORE; MANRING, 2009). Para Kleindorfer et al. (2005), o movimento ganhou força pela evidente ineficiência das empresas tratando-se da utilização de recursos naturais.

Para Mazur e Miles (2010), quando se pensa sustentabilidade como uma montanha a ser subida, faz sentido relacionar sete faces a serem escaladas. A primeira delas diz respeito ao desperdício e ao seu conceito propriamente dito. Não há perdas na natureza, as sobras de um organismo são o alimento de outro. A energia pode ser considerada a segunda face. Na natureza tudo funciona sob a energia solar; e uma indústria? Com poderíamos aproveitar-se desta energia? A próxima etapa da escalada seria a busca pela operação em ciclo, imitando a natureza. O ciclo seria aplicado ao invés de simplesmente “pegar, fazer e depois jogar fora”. O próximo ponto seria a redução ou eliminação de emissões perigosas. Na natureza não existe este perigo nos processos. Depois, o transporte, muitas vezes realizado em locais separados e distantes. A sexta face é igual a primeira, gerando a ideia de ciclo; e a sétima, a mudança cultural.

Anderson (2011) faz alusão a um monte a ser escalado cujo o cume é a sustentabilidade com pegada zero. Para ele, o indicativo de que este objetivo foi atingido é o corte da ligação no fornecimento de petróleo, a inexistência de resíduos destinados a aterros sanitários e zero poluição da água e ar, ou seja, quando nada for tomado da terra que ela não possa renovar de maneira rápida e natural. As faces do monte da sustentabilidade são:

Avançar em direção ao desperdício zero, tendo como desperdício o custo mensurável relacionado ao produto que não acrescente valor ao produto; a primeira face do monte é familiar, relativamente de fácil argumentação e convencimento das pessoas e, por isso, adequada ao primeiro passo. Em seguida, reduzir ou eliminar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos de toda a cadeia de abastecimento, de forma a equilibrar a biosfera com a indústria. Em terceiro lugar, aumentar a eficiência e usar cada vez mais energia renovável, caracterizada por reduzir consumo e aderir a outras formas de uso de energias limpas. Mais adiante, fazer reciclagem em um circuito fechado, copiando o método da natureza de transformar os resíduos em alimentos, substituindo matéria prima virgem por materiais reciclados ou renováveis. O transporte, eficiente quanto aos recursos, da substituição, à logística à localização na fábrica, também é citado como uma face a ser escalada, no sentido de contribuir com a redução ou eliminação da dependência do petróleo na modalidade de transporte. Integrar a sensibilidade, mudar a mente das pessoas e fazer com que os funcionários, fornecedores, clientes e comunidade estejam integrados por meio de valores que respeitam a Terra e oferecem uma oportunidade de que um planeta saudável possa ser deixado para as próximas gerações é a sexta etapa da escalada. Por fim, reestruturar o comércio, pensando no fornecimento de serviço ao invés de apenas produtos, projetando-os de maneira similar à natureza (ANDERSON, 2011).

Empresas como a British Petroleum, a Shell e a Enron investiram em fontes renováveis de energia através destes elos com a engenharia. Segundo suas análises, empresas com energia alternativa colaboram para a redução de riscos de mudanças climáticas e demonstram mais perspectivas de crescimento, quando comparadas a indústrias que utilizam energia originada de combustível carbônico (HAWKEN et al., 2010).

Werbach (2010) relaciona os pressupostos da operação sustentável nos componentes:

- a) social: sendo as ações e condições que afetam membros da sociedade;
- b) econômico: ações que dizem respeito a tornarem empresas lucrativas através da venda dos seus produtos/serviços com a finalidade de satisfazer a necessidade das pessoas;
- c) ambiental: ações que afetam a ecologia da Terra, como por exemplo alterações climáticas e preservação dos recursos naturais.

Desta forma, para a pesquisa, os pressupostos de um modelo de operação sustentável compreendem:

- a) contemplar os aspectos ambientais, econômicos e sociais em sua estrutura, processos, produto/serviços de forma sistêmica;
- b) buscar zero agressão ao meio ambiente;
- c) ser economicamente viável, buscar um diferencial e vantagem competitiva por intermédio da sustentabilidade;
- d) operar com responsabilidade social.

3.1.3 Abordagens de um Modelo de Operação Sustentável

Neste trabalho tratadas como abordagens, as maneiras de operacionalizar operações sustentáveis são trabalhadas a seguir. O objetivo não é detalhar uma grande quantidade de abordagens, apenas contextualizar, exemplificar as formas detectadas na pesquisa a base dados, parte integrante do método seguido por este trabalho.

3.1.3.1 Produção Mais Limpa (P+L)

Ao produzirem desperdício, processos reduzem lucratividade. A prevenção da poluição, a minimização dos desperdícios e a adoção de abordagens como a de produção mais limpa podem reduzir de 40% a 50% a redução de desperdício. A produção mais limpa, neste contexto tem a intenção de proporcionar melhorias de processo que reduzem a geração de desperdício e requisitos para manufaturar produtos, adicionando receitas ao negócio (MULHOLLAND, 2006).

As oportunidades de melhoria baseada na P+L (produção mais limpa) podem ser desenvolvidas nos níveis de redução na fonte, modificando produto ou processo diretamente na sua origem, reciclagem interna e reciclagem externa (CLAUDIO et al., 2012). A reciclagem feita dentro ou fora dos processos da empresa pode ter como vantagem, mas não limitada a, a diminuição da quantidade de matéria prima virgem que precisa ser comprada, a redução da quantidade e do custo de energia derivada do petróleo necessária para a fabricação, e ainda a atração de novos clientes por meio do comprometimento com o meio ambiente (ANDERSON, 2011).

3.1.3.2 Lean

Para Savitz (2007), a maneira mais ampla e predominante de trabalhar a sustentabilidade é pensamento enxuto. Esta abordagem parte do conceito da redução de desperdícios, também descrito por Benyus (2006) nos princípios dos sistemas maduros do tipo III.

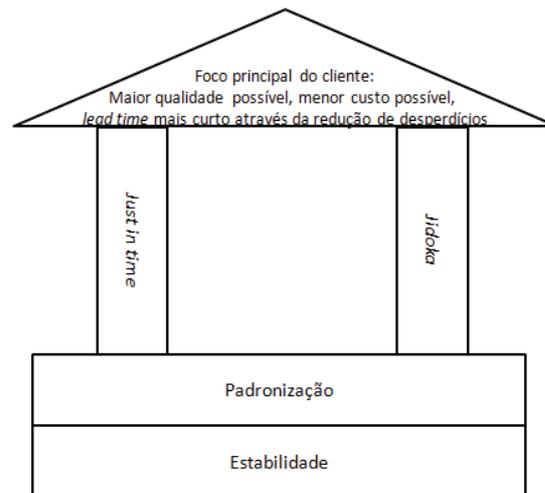
Conceitos de Lean, ou manufatura enxuta, são simples, buscam objetividade e a funcionalidade com foco no cliente e na redução dos desperdícios. O nascimento do Lean ocorreu em meados de 1950, quando o japonês Eiji Toyoda visitou fábricas fora do Japão na busca por soluções para enfrentar uma crise que a Toyota e as empresas da localidade estavam enfrentando. Os desafios foram um mercado interno muito menor do que os vistos fora do Japão, a economia devastada por uma guerra e a competição com empresas com vendas de expressão muito maior e a mais tempo estabelecida (DENNIS, 2008)

Ohno (1997) afirma que eliminação total de desperdícios é a base do Sistema Toyota de Produção ou Lean. Para Marchwinski e Shook (2007), desperdício é qualquer atividade que consome recurso mas não cria valor para o cliente. Para implementar Lean, o passo preliminar é identificar desperdícios, como segue:

- a) superprodução: produzir além da necessidade do próximo processo ou cliente
- b) espera: ter operadores esperando enquanto máquinas operam, ou peças chegam, ou falhas no equipamento;
- c) transporte: ter movimentação desnecessária de produtos ou peças;
- d) processamento em si: realizar etapas desnecessárias ou incorretas;
- e) estoque: possuir estoques maiores que o mínimo necessário;
- f) movimentação: ter operadores realizando movimentações desnecessárias, como procurar uma ferramenta ou peças;
- g) produtos defeituosos: ter refugo ou retrabalho (MARCHWINSKI; SHOOK, 2007)

O Lean pode ser representado por uma casa, onde a base é a estabilidade e a padronização, as paredes são a entrega (*Just in time*) e a autonomia (a automação com mente humana). O foco no cliente é representado pelo telhado da casa e o coração do sistema é o envolvimento dos funcionários, que habitam esta casa (DENNIS, 2008).

Figura 7 – A casa da Toyota, abordagem Lean



Fonte: Dennis (2008)

3.1.3.3 Ecodesign

Uma das abordagens para a sustentabilidade é conhecida como *ecodesign*. Para Venzke (2002), *ecodesign* é uma técnica de projeto de produto em que objetivos tradicionais, tais como desempenho, custo da manufatura e confiabilidade, e surgem conjuntamente com objetivos ambientais, tais como redução de custos ambientais, redução do uso de recursos naturais, aumento da eficiência energética e da reciclagem.

O *ecodesign* procura soluções ambientalmente amigáveis em projeto e desenvolvimento de produto, considerando tanto aspectos econômicos e ambientais associados com o ciclo total de vida dos produtos (BORCHARDT et al., 2009).

O design sustentável tem como função essencial o projeto de produtos, serviços e sistemas com um baixo impacto e alta qualidade social. De maneira a apoiar a minimização destes impactos, utiliza-se os três Rs de reduzir, reutilizar e reciclar (VIEIRA, 2011).

Romm (1996) afirma que, ao pensar hierarquicamente na redução da poluição, a abordagem adequada segue a lógica:

- a) eliminação: prevenção da poluição total. Como por exemplo, a substituição de um elemento poluente;

- b) eficiência: redução do consumo de um recurso, fazendo uma mesma atividade com menor utilização de recursos;
- c) circuito fechado de reciclagem: reutilizando sobras dentro da própria empresa, reduz-se o risco de contaminação e aumenta-se a sua eficiência;
- d) circuito aberto de reciclagem: recuperação de recursos de vários produtos distribuídos como, por exemplo, a reciclagem de latas de alumínio.

3.1.3.4 ZERI

ZERI é uma sigla para Iniciativa de Pesquisa para Zero Emissões e o seu principal objetivo é gerar mudanças tecnológicas que facilitem a manufatura sem a geração de qualquer tipo de refugo (BEQUETTE, 1996).

Trata-se de um programa da Universidade das Nações Unidas (UNU), do Japão e da Fundação ZERI, em Genebra, Suíça. Orienta à uma abordagem ambientalmente sustentável para a utilização de água, alimentação, energia, habitação e outras. Isso é feito com o envolvimento de Universidades, Empresas e Governo (PAULI, 2001).

Para Mathieu (2005), reduções drásticas de dióxido de carbono são necessárias para que não exista interferência do efeito estufa com o clima. Para assegurar um nível aceitável de dióxido de carbono, o corte deste tipo de emissão deveria ser de 50% ou mais, muito além dos acordos internacionais praticados como o protocolo de Kyoto.

Segundo Pauli (2001), não se pode fingir que é inteligente quando não se é. Isso é evidenciado em processos como o da celulose, no qual se utiliza 100 toneladas de água para produzir 1 tonelada de papel, ou quando precisa-se de 10 litros de água para fermentar 1 litro de cerveja, ou então quando precisa-se de 160 toneladas de água para reciclar 1 tonelada de papel. A humanidade parece esperar que a natureza produza mais e não se consegue imaginar como fazer mais com o que a terra produz. É chegada a hora de inventar um sistema econômico e um processo de fabricação que utilize 95%, ou porque não, 100% do seu material, sem desperdícios.

Segundo Pauli (2001), ZERI opera com base nos seguintes princípios da ciência Generativa, aplicados de forma a estudar maneiras de agregação de valor a qualquer subproduto de qualquer etapa de transformação de material:

- a) visa atender necessidades básicas;
- b) respeita a natureza;
- c) visa a aumentar a produtividade dos processos;
- d) tem a premissa de que maior produtividade e rentabilidade pode ser executada com mais postos de trabalho, menor poluição e menor consumo de materiais;
- e) produz totalmente com a reflexão dos efeitos nocivos e inofensivos;
- f) compartilha ciclos materiais de modo integrado, compartilhando atividades industriais, processos e atividades humanas;
- g) considera o desenvolvimento de um processo a partir do seu anterior, formando relações sistêmicas;
- h) considera essencial o princípio de comunidade já existente na natureza;
- i) reflete sobre a real necessidade de consumo da humanidade;
- j) todos os elementos de um sistema têm inteligência;
- k) compartilha informação;
- l) preconiza um sistema de liderança com zero conflito em que todas as partes podem ganhar;
- m) busca integração entre o conhecimento de diversas áreas como: Biologia, Botânica, Química, Matemática, Física e outras;
- n) combina intuição com ciência e não busca comprovação científica em cada etapa;
- o) maximiza a utilização de recursos naturais;
- p) segue o conceito de tempo circular, preconizando que tudo e todos terão uma nova chance no futuro.

3.1.3.5 *Green Chemistry*

A estratégia da abordagem *Green Chemistry* é a operação de processos químicos tais que substâncias perigosas não são geradas ou utilizadas. Assim, as operações químicas deveriam ser projetadas ou modificadas de maneira que sejam limpas e sustentáveis. Desta forma a redução de materiais perigosos e a cuidadosa seleção da matéria prima são realizadas para que, além de economicamente viável, o processo seja seguro às pessoas e não cause danos ao meio ambiente. Então as operações químicas devem ser projetadas ou modificadas tais que sejam limpas e sustentáveis ao mesmo tempo em que são capazes de manter o padrão de vida da sociedade (MARTEEL et al., 2003).

Para Logar (2011), *Green Chemistry* procura expandir o valor da química tradicional, trabalhando de forma mais explícita em benefícios sociais e ambientais. Neste sentido faz-se a utilização dos doze princípios norteadores desta abordagem, a saber:

- a) projetar para que não sejam gerados resíduos para ser limpos ou tratados;
- b) projetar produtos e químicos mais seguros: Buscar desde o projeto a eficiência máxima na utilização dos materiais, com menor toxicidade ou até mesmo não tóxicos para o homem e o meio ambiente;
- c) projetar reações químicas menos perigosas: Maximizar a utilização de catalisadores, mais eficientes do que as reações estequiométricas;
- d) utilizar matéria prima renovável; Utilizar materiais renováveis, preferencialmente provenientes de produtos naturais ou de resíduos de outros processos;
- e) uso de catalisadores que podem realizar várias operações em vez de reagentes estequiométricos que tem apenas uma utilização;
- f) evitar derivados químicos, pois utilizam mais reagentes causando mais desperdício;
- g) maximizar a utilização dos átomos para evitar desperdícios;
- h) utilizar solventes seguros;
- i) aumentar a eficiência energética;
- j) projetar produtos químicos para que se degradem após o uso;
- k) analisar em tempo real para evitar poluição;
- l) minimizar o potencial de acidentes já em fase de projeto.

É o que exemplifica Ravichandran (2011), no processo de fabricação de nylon, poliuretanos, plastificantes e lubrificantes. Neste processo, grandes quantidades de ácido adípico são utilizadas e esta matéria prima é composta por benzeno, um composto com propriedades cancerígenas. O fato é que, utilizando esta abordagem, químicos foram capazes de desenvolver o ácido adípico a partir da glicose com o auxílio de uma enzima descoberta em bactérias geneticamente modificadas. Com isso, protege-se o meio ambiente e os trabalhadores de substâncias perigosas.

3.1.3.6 Exemplos Práticos

Almeida (2009) traz exemplos de empresas que estão na jornada da sustentabilidade, como a 3M. Energia renovável e sustentável é o assunto que mobiliza a empresa, a meta é

buscar a auto suficiência energética no desenvolvimento de novas tecnologias. Isso significa que os trabalhos têm interesse global e não apenas suprem demandas locais. Outra empresa que aplica estes conceitos é a Alcoa, que pelo tipo de negócio, a extração de bauxita para a produção do Alumínio, feita dentro da floresta amazônica, precisou trabalhar aspectos sociais com a comunidade que vive em torno da mina. O projeto de sustentabilidade iniciado com a intenção de “abrir o diálogo com a comunidade” foi alicerçado em melhorias nas áreas da saúde, educação, cultura e infraestrutura. Outro exemplo é a Amanco, produtora de tubos e conexões, um negócio de baixo impacto ambiental: a empresa calçou no pilar social sua busca pela sustentabilidade. A construção civil, ramo em que a empresa está inserida, é composta basicamente de mão de obra de baixa instrução e esta foi a oportunidade: capacitar estas pessoas a utilizarem seus produtos, uma vez que estes profissionais são os responsáveis pelas vendas da empresa - ao contrário do que se pode pensar, os proprietários das obras dificilmente escolhem os produtos. Não limitado a este último exemplo tem-se a Interface, empresa destacada por Anderson (2011), que traz o caso de sustentabilidade aplicado a um negócio de carpetes. O que antes era apenas uma operação de venda de carpetes passou a ser uma venda com prestação de serviços agregados. Os carpetes passaram a ser colocados em placas de 50 cm x 50 cm em vez de inteiros e isso trouxe facilidade de manutenção, redução de desperdícios e resíduos. A meta foi eliminar qualquer impacto negativo que a empresa pudesse gerar até o ano de 2020 e, para isso, uma das principais ações foi a eliminação da utilização de matéria prima virgem derivada do petróleo. Esta ambiciosa atitude foi possível devido a técnicas que proporcionaram a reciclagem da base e dos fios do carpete.

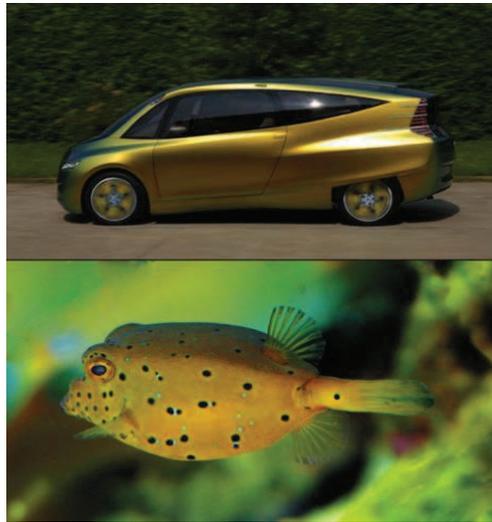
3.2 BIOMIMÉTICA

A natureza é uma fonte de inspiração para a engenharia em geral. A imitação do que acontece na vida e na natureza é uma maneira inteligente de tirar vantagem sobre o processo de seleção natural, gerador de processos mais perfeitos do que qualquer engenheiro seria capaz de criar (BOLUDA et al., 2011). Provavelmente o exemplo mais famoso das imitações da natureza seja o Velcro. Após uma caminhada com seu cachorro, o inventor suíço George de Mestral ficou curioso com as sementes de uma planta que se aderira aos pelos do cão. Movido por esta curiosidade, o inventor observou a semente em um microscópio, percebendo a presença de ganchos, mecanismo de aderência da semente (BENYUS, 2006)

Segundo Benyus (2006), Biomimética é a imitação da vida, significado da palavra grega. Três princípios norteiam a Biomimética:

- a) natureza como modelo: esta nova ciência estuda e imita ou inspira-se em seus processos para resolver os problemas humanos. Youson (2005), relata o desenvolvimento de um automóvel da Mercedes com design e estrutura baseados no *boxfish*, reduzindo o coeficiente de atrito ao menor índice já medido na engenharia automotiva;

Figura 8 – Veículo inspirado no *boxfish*



Fonte: Ten... (2012)

- b) natureza como medida: a validação dos mecanismos da natureza ocorre há 3,8 bilhões de anos durante a evolução do planeta e o que não funciona já vem sendo descartado;
- c) a natureza como mentora: a mudança conceitual de “o que podemos extrair da natureza”, remetendo a utilização irresponsável dos recursos naturais para “o que podemos aprender com a natureza”, sugerindo que a maneira com que a natureza opera seus mecanismos deve ser observada e aplicada as operações criadas pelo homem.

Para Benyus (2006), a revolução industrial, tal como se conhece, não é sustentável. Percebe-se a muito tempo que os melhores processos e sistemas são os que a natureza já criou e testou. Depois de cem anos imersos na revolução industrial, somente agora se abre os olhos

e se percebe que o mundo, artificialmente construído, não está isolado do mundo real. A recriação da indústria à imagem da natureza ocorrerá e conduzirá os negócios com a naturalidade com que uma floresta de nogueiras banhada pelo sol renova as próprias folhas.

A natureza está cheia de modelos que se pode utilizar para criação de um sistema sustentável. A existência de três tipos de sistemas ou comunidades encontradas na natureza é explicada: o primeiro e mais próximo da realidade atual está preocupado apenas com o crescimento e a produção, agindo como se de passagem, sem dar muita importância à eficiência no processo focal de transformação de matéria prima em produtos. Em seguida, no tipo II, os organismos permanecem um tempo maior no local onde estão instalados, produzindo uma quantidade limitada de sementes e utilizando o restante da energia para sobreviver no meio em que estão. E, por fim, os sistemas naturais maduros ou sistemas do tipo III. Esses sistemas se organizam numa comunidade diversificada e integrada com objetivos comuns, tais como: manter a sua existência em um único lugar, aproveitar ao máximo o que têm à disposição e conservar-se ao longo do tempo (BENYUS, 2006).

Os sistemas do tipo III, ou sistemas maduros, seguem seus princípios:

- a) usam resíduos como recursos: existem algumas formas de aplicar este princípio. Como exemplo, pode-se citar a aplicação de resíduos de uma empresa como matéria prima para outra. Neste caso, um vapor eliminado de um processo poderia ser reutilizado em outro como fonte de calor. Saindo dos limites territoriais das empresas, quando pensa-se em produtos sendo utilizados por seus clientes, utilizar resíduos como recursos pode significar a própria reciclagem de produtos para utilização como matéria prima. Isto certamente implica em como produzir. Uma vez que se reutilizam produtos e precisa-se desmontá-los, seu processo de montagem será pensado para tal (BENYUS, 2006);
- b) diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat: pondo de lado a competição em função da cooperação, este princípio pode ser exemplificado com a iniciativa das empresas Chrysler e General Motors que normalmente competem em um ambiente muito feroz. Elas criam, a partir de alianças especiais, materiais padronizados para que possam reaproveitar reciprocamente materiais (BENYUS, 2006);
- c) assimilam e usam energia eficientemente: os sistemas maduros aproveitam ao máximo a energia. Respeita-se a lei da termodinâmica que diz respeito ao uso da

- energia transformada em calor na realização do trabalho, deixando de existir para realizar mais trabalho. Dito isso, a utilização desta energia deve ter a maior eficiência possível. Por exemplo, na fotossíntese as plantas possuem cerca de 90% de eficiência na utilização da energia solar. Da mesma forma, catalisadores podem reduzir a temperatura necessária para que determinados processos ocorram, aumentando a eficiência na utilização de energia também em meios industriais (BENYUS, 2006);
- d) aperfeiçoam, em vez de utilizar ao máximo: uma planta de época, que cresce, gera o seu fruto e morre não é um sistema maduro, pois investe toda a sua energia para gerar o fruto, não se preocupando na permanência de sua espécie. Por outro lado, sistemas maduros crescem com rapidez e, ao atingir certo nível, reduzem essa velocidade, preocupando-se com sua existência. Isto significa que os sistemas maduros reduzem os ciclos, melhorando seus processos ao invés de apenas maximizar a produção. Sobrevivem os que conseguem viver com meios que dispõem. Na indústria isso indica que as mais lucrativas, mesmo que menores, são a tendência no lugar de empresas que apenas ganham mercado com grandes escalas de produção (BENYUS, 2006);
- e) usam materiais parcimoniosamente: os seres vivos ajustam a forma à função. Os favos de mel tem formato sextavado, oferecendo o maior espaço possível com o menor uso de material de revestimento possível, sendo um exemplo deste ajuste. Dirigindo-se para as empresas, estas estariam aptas a fornecer a função e não necessariamente o produto, porque este seria o real desejo dos clientes: refrigeração, aquecimento e diversão e não refrigerador, aquecedor e televisão (BENYUS, 2006);
- f) não sujam sua morada: na natureza os seres vivos precisam se manter no mesmo local de produção, seu habitat. Para isso, evitam esta sujeira ou componentes que possam prejudicar sua espécie. As cobras mais venenosas, sabendo disso, produzem pequenas quantidades de veneno, e somente no momento da utilização. Os seres vivos sabem que energia fora do lugar ou em alto fluxo pode contribuir para a poluição do ambiente em que vivem. As empresas conscientes disso trabalham para evitar a emissão destes componentes, percebendo que evitar custa menos do que tratar resíduos. Outra forma é armazenar o necessário em pequenas quantidades, utilizando técnicas como o *Just in time* (BENYUS, 2006);
- g) não esgotam recursos: este princípio trata da sobrevivência com os dividendos e não com os lucros. Isso significa não consumir mais do que se pode regenerar os recursos ou controlar o crescimento dos que consomem, como a população. Remete-se a um estilo de vida mais simples, reduzindo recursos não renováveis como petróleo, gás,

metais, substituindo-os por renováveis como fibras, substâncias químicas derivadas de plantas, de maneira parcimoniosa (BENYUS, 2006);

- h) mantêm-se em equilíbrio com a biosfera: na natureza existem subciclagens dentro de uma ciclagem maior que é a biosfera, a camada de ar, terra e água que sustenta a vida. Este é um sistema fechado, em que a quantidade de elementos é apenas transferida e não aumentada ou diminuída quando em equilíbrio. O que acontece é que o ser humano vem desequilibrando este sistema; uma prova é a taxa de crescimento da presença de dióxido de carbono que é de 0,4% ao ano. As indústrias contribuem para esta crescente taxa e precisam aprender a manter em equilíbrio (BENYUS, 2006);
- i) operam com base em informações: empresas inovadoras e sistemas maduros têm excelentes canais de comunicação e transmitem informação a todos os membros. Ao invés de informações “de cima para baixo”, estas são provenientes da base. As empresas adaptadas a este princípio utilizam sinais, tais como: lucratividade, demanda e consumo dos seus produtos, entre outros, para agir proativamente. Funcionam como o termostato de um aquecedor que é acionado quando a temperatura desejada é alcançada, economizando energia (BENYUS, 2006);
- j) consomem os recursos do próprio habitat: animais não podem importar produtos de Hong Kong, portanto se tornam especialistas em seu território quando se alimentam ou mesmo na sobrevivência diária, e isso economiza energia. O fluxo de energia é baixo, as distâncias são pequenas como as de uma folha que cai de uma árvore, no solo vira nutriente e que pode ser absorvida novamente pelas raízes das plantas. A economia vem seguindo um rumo contrário, em que um único produto pode ser montado de uma série de países. Uma das formas de praticar este princípio são as cooperativas, formas de negociar, produzir e consumir localmente (BENYUS, 2006).

Com isso fecha-se o capítulo de referencial bibliográfico que apoia a construção do modelo proposto. Assuntos relacionados a Modelos de Operação, Sustentabilidade e Biomimética foram tratados.

Na sequência do trabalho o desenvolvimento é apresentado: o Modelo de Operação Sustentável Base, assim como a pesquisa de integração entre Biomimética e Modelos de Operação Sustentáveis e, por fim, o Modelo de Operação Sustentável Biomimético.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo descreve o modelo de operação sustentável base, criado como objetivo específico para posterior melhoria com conceitos biomiméticos de sistemas naturais do tipo III. Também é demonstrada a pesquisa que define os pontos de melhorias no modelo de operação sustentável base. Por fim o artefato final, o modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética é colocado, juntamente com o detalhamento de sua revisão pelo grupo de especialistas.

4.1 MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE

Um sistema de operação pode ser visto como um conjunto de componentes cuja função é converter entradas (*'inputs'*) em alguma saída (*'output'*) desejada, por meio do que se chama processo de transformação (AQUILANO; CHASE, 1990). Aplicado a um modelo esquemático e simplificado, a característica de sustentabilidade é acrescentada pelas premissas de contemplar os aspectos ambientais, econômicos e sociais em sua estrutura; buscar zero agressão ao meio ambiente; ser economicamente viável e; operar com responsabilidade social.

Deste modo, nesta fase da pesquisa, um Modelo de Operação Sustentável Base e seus constructos foram criados para que, posteriormente, possam ser aprimorados com conceitos dos sistemas naturais biomiméticos do tipo III.

Os constructos foram criados com base na pesquisa apontada na Tabela 1. Como resultado das palavras chave utilizadas, diferentes autores foram estudados com artigos contendo os temas desta pesquisa. A partir da leitura das obras selecionadas, complementada por livros com o tema sustentabilidade, verificou-se que os autores tratam assuntos similares, porém com diferentes pontos de vista ou abordagens. Isto se dá devido à própria preferência do autor ou mesmo devido ao ano em que o artigo foi escrito. Por exemplo, o termo “mão de obra”, que ao longo do tempo passa a ser referenciado como “colaborador” na lista de constructo, foi tratado como “pessoas”. Entende-se que esta variação na forma com que se trata cada tema é natural e que fortalece o modelo de operação proposto na medida em que acrescenta diferentes interpretações sobre cada constructo. Por essa razão foram mantidos artigos mais antigos, como o de Alcalay e Buffa (1963). O resultado da pesquisa, indicando o que cada autor trata, é mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Relação entre os constructos e os autores

	Alcalay e Buffa (1963)	Reismant e Buffa (1964)	Griffin (1994)	Yi et al (2000)	Kleindorfer <i>et al</i> (2005)	Werbach (2010)	Hawken et al (2010)	Manzur e Miles (2010)	Anderson (2011)	Biddle (2011)
Pessoas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Energia	✓	✓			✓			✓	✓	
Equipamento	✓	✓		✓		✓				✓
Terceiros	✓	✓								
Informação		✓	✓	✓		✓				✓
Indicadores e metas		✓	✓	✓		✓				✓
Material		✓			✓		✓			✓
Cliente									✓	✓
Projeto					✓		✓			✓
Produto/serviço					✓	✓				✓
Resíduos sólidos e líquidos					✓			✓	✓	✓
Emissões/Efluentes					✓	✓		✓		
Transporte								✓	✓	
Cadeia de abastecimento					✓					
Destinação						✓		✓	✓	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Com a definição do nome do constructo feita, elaborou-se a sua descrição com base nos autores indicados do Quadro 6. Cada constructo teve sua definição descrita para que os especialistas pudessem contribuir em uma etapa posterior em um grupo focal.

Quanto às perguntas a serem respondidas no grupo focal, foram definidas as seguintes: i) O constructo é suficiente? Ou seja, de fácil entendimento e contempla os conceitos necessários? ii) Existe algum constructo desnecessário? Qual? Por quê? iii) Existem constructos que deveriam ser incluídos? Quais? Por quê?

Com relação aos constructos, os relatos dos especialistas contribuíram com a criação de um constructo denominado “Capital Financeiro”, argumentado como fator essencial em qualquer operação e não apresentado na proposta inicial. Outro ponto importante foi a

sugestão de incluir no modelo, juntamente com cada constructo, uma frase que o define, como por exemplo, para o constructo “energia” a frase “maximizando as renováveis”. O grupo também contribuiu para a ilustração dos pressupostos do modelo junto aos constructos em uma mesma figura. Para eles, isso torna o entendimento do modelo ainda mais claro.

Portanto a lista a seguir demonstra quais são os componentes de um modelo de operação sustentável unindo pontos de vista de diferentes autores, com a revisão de especialistas em um grupo focal.

Cada constructo, devidamente fortalecido por meio do *focus group*, é detalhado a seguir:

- a) pessoas: Alcalay e Buffa (1963) definem como a carga hora da mão de obra para produzir determinado produto/serviço ou algum tipo de suporte a operação, para Reismantt e Buffa (1964) adequadamente selecionadas e no tempo certo para suportar a operação. O impacto das ações envolvendo os funcionários é levado em consideração quando do momento da tomada de decisão pela preocupação com as gerações futuras (KLEINDORFER et al., 2005), valorizando e respeitando as pessoas;
- b) energia: transforma os processos (REISMANTT e BUFFA, 1964; KLEINDORFER et al, 2005) na medida que possibilita que as entradas sejam transformadas em saídas. Pode ser de diferentes tipos, tais como elétrica, eólica, solar, desde que renováveis;
- c) equipamento: máquinas, dispositivos, instrumentos e hardwares utilizados para a transformação ou suporte na realização do produto/prestação do serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi et al, 2000), seguros às pessoas e não agressores ao meio ambiente;
- d) terceiros: para Alcalay e Buffa (1963), denominado de forma mais ampla como qualquer serviço de apoio, com impacto direto para suporte ao processo. Com a característica de ser contratado externamente por decisão estratégica com base em algum tipo de capacidade técnica ou financeira, que a empresa deseja terceirizar (REISMANTT; BUFFA, ELWOOD S., 1964);
- e) informação: Reismantt e Buffa (1964) caracterizam como o conjunto de dados processados que flui entre os constructos do modelo;
- f) indicadores e metas: afetam diretamente o produto/serviço por se tratar de um componente essencial para a tomada de decisão por parte da liderança (GRIFFIN, 1994);
- g) material: matéria prima e insumo utilizado no processamento (KLEINDORFER et al, 2005). Busca-se a maximização da utilização de materiais renováveis e pode ser

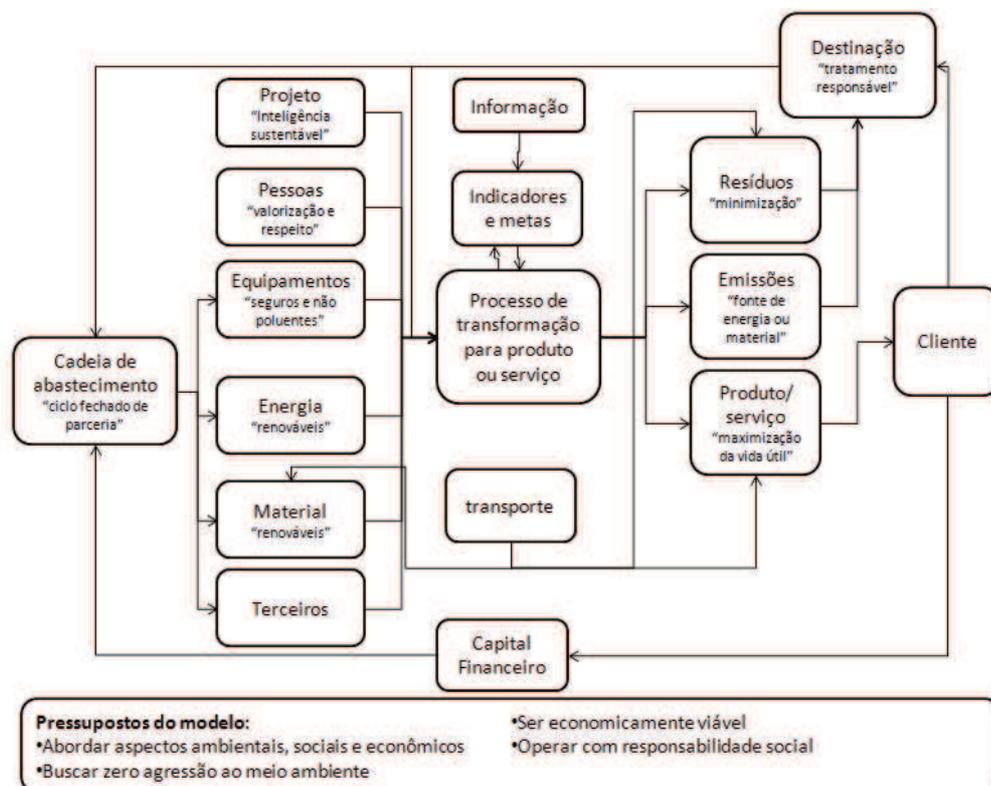
- classificado em: i) agrega valor ao produto, quando o cliente está disposto a pagar e, ii) não agrega valor ao produto: mesmo que o cliente não esteja disposto a pagar, é necessário ao processo de transformação;
- h) projeto: planejamento do processo produtivo do produto/serviço, contemplando suas características funcionais (KLEINDORFER et al, 2005). Contempla, desde esta etapa, características como a facilidade de reparo, incentivando a reutilização, assim como materiais não agressores ao meio ambiente de forma inteligente, aumentando a vida útil do produto/serviço;
 - i) cliente: o receptor das saídas do processo, remunerando a operação pelos serviços ou produtos em função de ter suas necessidades atendidas (BIDDLE, 2011);
 - j) produto/serviço: segundo Kleindorfer et al. (2005), trata-se do objeto de satisfação de um cliente. É tudo que tem valor para alguém (KOTLER, 1998). Busca-se o aumento de sua vida útil com a intenção de reduzir o consumo de material para a sua geração;
 - k) resíduos: é aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento ou refugo nos processos produtivos ou de suporte aos processos produtivos (KLEINDORFER et al., 2005). Tem sua quantidade e impacto reduzidos ao logo do tempo;
 - l) emissões: qualquer tipo de emissão de fluido, ou seja, gases e líquidos, podendo ser poluentes ou não poluentes. Para os poluentes busca-se a eliminação e para os não poluentes, a utilização como energia ou material para outro processo (MAZUR; MILES, 2010);
 - m) transporte: para Anderson (2011), responsável por mover/transferir os produtos/serviços da empresa, dentro da fábrica, de uma fábrica para outra, de fornecedores e para clientes;
 - n) cadeia de abastecimento: possuem a função de abastecimento, inclusive utilizando-se de materiais já utilizados anteriormente (KLEINDORFER et al, 2005). No modelo proposto, responsáveis pelo fornecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, bem como a captação de material para reaproveitamento em um ciclo fechado de parceria entre empresas;
 - o) destinação: é a forma de tratar o que não foi aproveitado no produto/serviço ou mesmo durante o processo de transformação de maneira responsável. Pode-se classificar em: i) descarte: disposto em local e em condições não agressivas ao meio ambiente e comunidade; ii) reutilização: diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010); iii) reciclagem: processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima com a finalidade de diminuir a

quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011) iv) *Upcycling*: utilização direta, sem a utilização de energia adicional para transformação, de algo que é classificado primeiramente como resíduo ou emissão como matéria prima, insumo ou mesmo um novo produto.

- p) capital financeiro: é o valor financeiro que circula no modelo. Tem raciocínio de longo prazo nas decisões que envolvem sua utilização, justificando o zelo pela sustentação da existência da empresa (CARVALHO, 2008).

A união dos constructos é tratada neste trabalho como um Modelo de Operação Sustentável Base, como representado na Figura 9. A criação deste modelo foi realizada com a relação dos constructos a partir da lógica representada pelos autores do Quadro 6. Novamente o grupo de especialistas foi atuante e algumas relações foram alteradas. Com relação ao constructo Indicadores e Metas, a seta que inicialmente apresentava apenas um sentido, passou a ser indicada nos dois sentidos, representando um ciclo entre Indicadores e Metas e Processo de transformação, que segundo os integrantes do grupo de especialistas, é mais próximo da realidade e mais robusto quanto a proposição de modelo de operação.

Figura 9 – Modelo de Operação Sustentável Base



A figura acima representa um conjunto de constructos sendo processados de modo a atender uma demanda. Os pressupostos do modelo firmam a abordagem sustentável e contemplam aspectos ambientais, econômicos e sociais.

No modelo, a cadeia de abastecimento fornece, além de recursos naturais como, por exemplo, água, equipamentos, energia, material e terceiros. Como entradas, a cadeia de abastecimento tem o capital financeiro necessário para a operação e materiais retornados para nova utilização. Há busca da relação de ciclo fechado de aproveitamento de material e as decisões das empresas objetivam o relacionamento de longo prazo. Parcerias são criadas para que existam ganhos para todas as partes envolvidas.

O projeto do produto/serviço é considerado uma entrada do processo de transformação. Desde o projeto, realizado pela própria operação (não terceirizado) há a preocupação com meio ambiente, resultante em produtos/serviços com vida útil estendida. O resultado desta inteligência sustentável aplicada é a menor utilização de matéria prima, recursos naturais ou insumos virgens.

As pessoas, outra entrada do processo de transformação, tem importância significativa ao modelo devido a aspectos sociais. São consideradas na tomada de decisão por parte da empresa por não significarem apenas mão de obra, mas parte de famílias onde as próximas gerações estão incluídas.

O processo de transformação dentro do modelo tem como resultados o produto/serviço e também resíduos e emissões. Esta atividade nada mais é do que o uso dos recursos para que o produto/serviço seja gerado. A transformação pode ser quanto às propriedades físicas como a composição, forma, característica ou ainda quanto à localização, quando em uma operação de entrega de encomendas. Obviamente esta utilização, em um modelo de operação sustentável, preconiza a eficiência no uso destes recursos, produzindo cada vez “mais com menos”.

Indicadores e metas são considerados como entrada e saída, em um ciclo fechado de tomada de decisão pelos gestores da operação. As metas são definidas em curto, médio e longo prazo, sinalizando a direção em que a operação está tomando. Aspectos ambientais, econômicos e sociais são relacionados como indicadores.

A informação é conjunto de dados que flui entre os constructos, porém ela é representada no modelo apenas como entrada dos indicadores e metas como forma de simplificar a representação.

O constructo transporte tem a responsabilidade de mover ou transferir produtos/serviços, materiais, resíduos ou emissões dentro do modelo. Para isso, o uso em eficiência máxima do equipamento que realiza o transporte, juntamente com rotas inteligentes que reduzem as distâncias percorridas, ou até mesmo evitar a necessidade de transporte são alternativas válidas no modelo.

Os produtos/serviços, resíduos e emissões são as saídas do processamento. No modelo, são consideradas também as emissões não poluentes em seu conceito, que abarca líquido ou gases. Os resíduos, sólidos para o modelo, são gerados por motivo de não aproveitamento ou refugo. E os produtos/serviços, terceira saída do processo de transformação, são a forma de atendimento das expectativas dos clientes.

Dentro do modelo, o processo de destinação faz o papel de classificar as entradas provenientes dos resíduos, emissões e, mesmo, dos clientes, quando no fim de uso. A classificação pode resultar em descarte, quando não existe mais utilização para o material e este precisa ser cuidadosamente armazenado; reutilização, quando se pode reparar e voltar ao uso; reciclagem, quando uma nova transformação é realizada ao final da vida útil do resíduo ou emissão, retornando-o ao uso e; *upcycling*, quando um resíduo ou emissão, classificado como inútil é utilizado em sua forma, sem processo algum de transformação, como matéria prima ou insumo para outro processo.

O capital financeiro é o “sangue” da operação, como citado por um dos componentes do *focus group*. É capaz de manter o modelo em operação por permitir a compra de novos materiais, pagamentos e todas as demais transações financeiras. Assim como outros constructos, tem raciocínio de longo prazo nas decisões que envolvem sua utilização, justificando o zelo pela sustentação da existência da empresa. Este constructo foi adicionado ao modelo após a realização do *focus group*, a partir de críticas sobre o desbalanceamento do modelo inicial proposto, que pedia para o aspecto ambiental e colocava em segundo plano o financeiro. Segundo o grupo de especialistas, este constructo contribui para este balanceamento, além de reforçar a sustentabilidade econômica da operação que também visa ao lucro.

A ligação entre o capital financeiro e a sustentabilidade poder ser exemplificada em ações como o “princípio do equador”, um conjunto de diretrizes elaboradas por instituições bancárias com a finalidade de uniformizar critérios de concessão de crédito à empresas, levando em consideração riscos ambientais e sociais. Com isso, espera-se que a análise de risco em atividades de financiamento de projetos seja comum de forma global (DIAS, 2011).

De fato o *focus group* teve importância fundamental no fortalecimento do Modelo de Operação Sustentável Base, que adicionou valor aos constructos na medida em que evitava a adição de exemplos, procurando torná-los mais claros por meio dos conceitos. Como resultado, alguns destes conceitos foram alterados ou unificados. Por exemplo, o constructo Terceiros, que teve seu conceito alterado em função de uma limitação inicial. A proposta inicial contemplava apenas a terceirização por motivo de falta de capacidade, quando na verdade isto pode ocorrer também por motivos estratégicos, em que a operação decide não ter determinada capacidade. Ao constructo Projeto adicionou-se a ideia de projeto de processo ao conceito inicial, que contemplava apenas projeto de produto; ao constructo Transporte, a ideia de transferência foi agregada para que o constructo não fosse limitado a apenas mover fisicamente, podendo também transferir arquivos eletrônicos. Ao modelo de operação como esquema, o grupo incrementou a representação das premissas adotadas de: abordar aspectos ambientais, sociais e econômicos; buscar zero agressão ao meio ambiente; ser economicamente viável e operar com responsabilidade social. Jargões como “inteligência sustentável”, “seguros e não poluentes”, “parceria de longo prazo” e outros que podem ser visualizados no modelo em cada caixa representativa a algum constructo, foram colocados de maneira torná-los simples quanto ao entendimento.

Com o Modelo de Operação Sustentável Base estabelecido, a forma de melhorá-lo segundo aspectos estudados na Biomimética pode ser explorada. O critério estabelecido foi a priorização dos princípios biomiméticos menos aderentes aos Modelos de Operação Sustentáveis conhecidos atualmente pelo grupo de especialistas, como demonstrado a seguir.

4.2 A INTEGRAÇÃO ENTRE MODELOS DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEIS E BIOMIMÉTICA

De maneira a identificar as oportunidades de melhoria existentes nos modelos de operação sustentáveis atuais, foi conduzida uma pesquisa. Tal ferramenta, demonstrada no Apêndice A, foi criada com base nos 10 princípios dos sistemas naturais do tipo III, sendo

conceituados e exemplificados. Antes das questões, foi inserido um texto breve com a apresentação dos objetivos da pesquisa e a garantia da confidencialidade dos dados (MIGUEL, 2010). As questões solicitaram a ordenação da aderência de cada princípio com os atuais modelos de operação sustentáveis. As respostas variam de 0 (significando inexistência de aderência) a 10 (indicando aderência máxima do princípio biomimético com os atuais modelos de operação sustentáveis).

Para a pesquisa, o menor nível de aderência (pontuações mais baixas em relação aos demais princípios) representa que determinado sistema natural maduro do tipo III possui pouca aderência aos modelos de operação sustentáveis atuais, portanto tem maior oportunidade de melhoria se aplicado ao Modelo de Operação Sustentável Base. Exemplificando, a apresentação de uma aderência baixa ao princípio “operar com base em informação” significa que, na opinião do grupo de especialistas, os modelos de operação sustentáveis atuais apresentam lacunas quanto a este conceito e que, se o utilizassem mais, poderiam agregar ainda mais valor.

Estes questionários foram enviados via *e-mail* para os especialistas, selecionados com os critérios de: ter publicação sobre os temas Biomimética ou Operações Sustentáveis, atuar ou ter experiência na área de meio ambiente, ser graduado ou ter graduação em andamento em Biologia. Além disso, e conforme (MIGUEL, 2010), foram realizados acompanhamentos semanais por *e-mail*, com o objetivo de aumentar a taxa de retorno dos questionários.

A pesquisa foi enviada para um grupo de 108 pessoas e a taxa de retorno, após 4 semanas, foi de 25%. Além disso, em 9% dos casos houve falha de entrega por e-mail não operante. Esta ocorrência é relacionada ao fato de que, nos casos em que o contato do especialista foi coletado no artigo publicado, este poderia estar fora de operação no momento do envio. Outros 66% não responderam a pesquisa, confirmando a posição de Miguel (2010), que afirma que, neste momento, o pesquisador tem pouco controle sobre a pesquisa.

De qualquer forma, a taxa de 25 % de retorno não representa fragilidade à pesquisa, pois esta foi utilizada para priorizar os princípios dos sistemas naturais do tipo III, que agregariam valor ao modelo de operação sustentável base, e não para validar uma

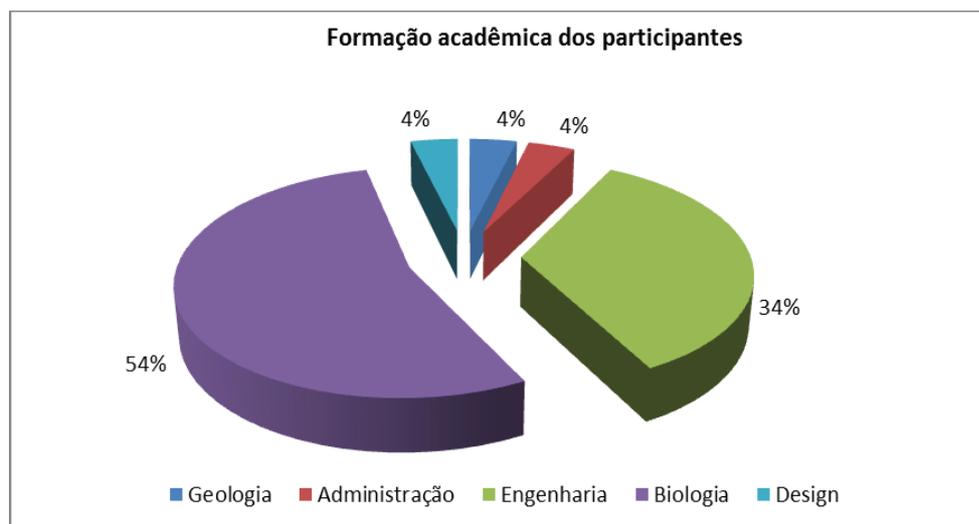
proposta ou expandir a conclusão de uma amostra à uma população em aspectos relevantes para a pesquisa.

Dada esta explicação, a pesquisa segue com o detalhamento da mesma, bem como a análise dos resultados obtidos.

4.2.1 Perfil dos Participantes

Primeiramente, o perfil dos respondentes é traçado. Devido à proximidade aos temas modelos de operação sustentáveis e Biomimética, a predominância de participantes da área da engenharia e biologia é verificada.

Gráfico 1 – Formação acadêmica dos participantes



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Seguindo com a análise do perfil dos respondentes, evidencia-se no Gráfico 2 a predominância de pesquisadores, resultado natural do critério de seleção contemplar a presença em pesquisas verificadas durante a elaboração deste trabalho.

Gráfico 2 – Atividades dos participantes

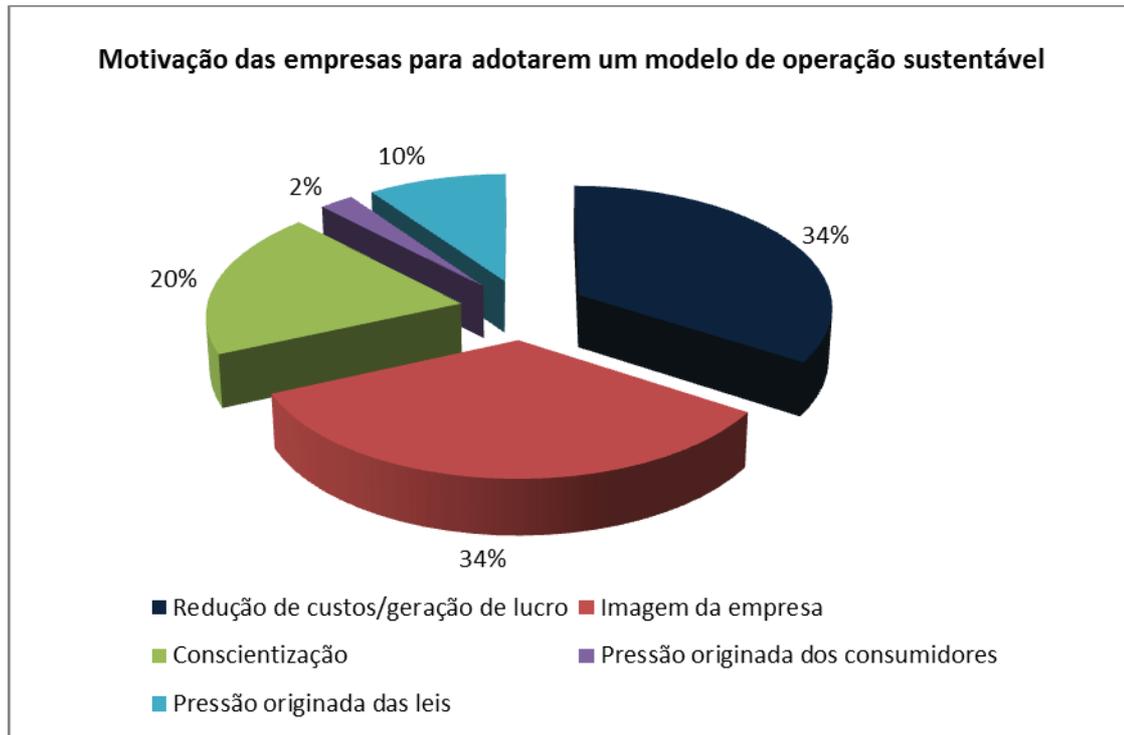


Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

4.2.2 A Motivação das Empresas para Adotar Modelos de Operação Sustentáveis

Especificamente tratando-se dos resultados da pesquisa quanto ao tema, uma pergunta inicial colocada de forma aberta procurou entender a motivação das empresas ao adotarem modelos de operação sustentáveis. Verificou-se que o resultado financeiro e a preocupação quanto à imagem da empresa junto aos seus *stakeholders* são os fatores dominantes para que uma empresa busque a sustentabilidade em seus modelos de operação.

Gráfico 3 – Motivação das empresas para adotar modelos de operação sustentáveis



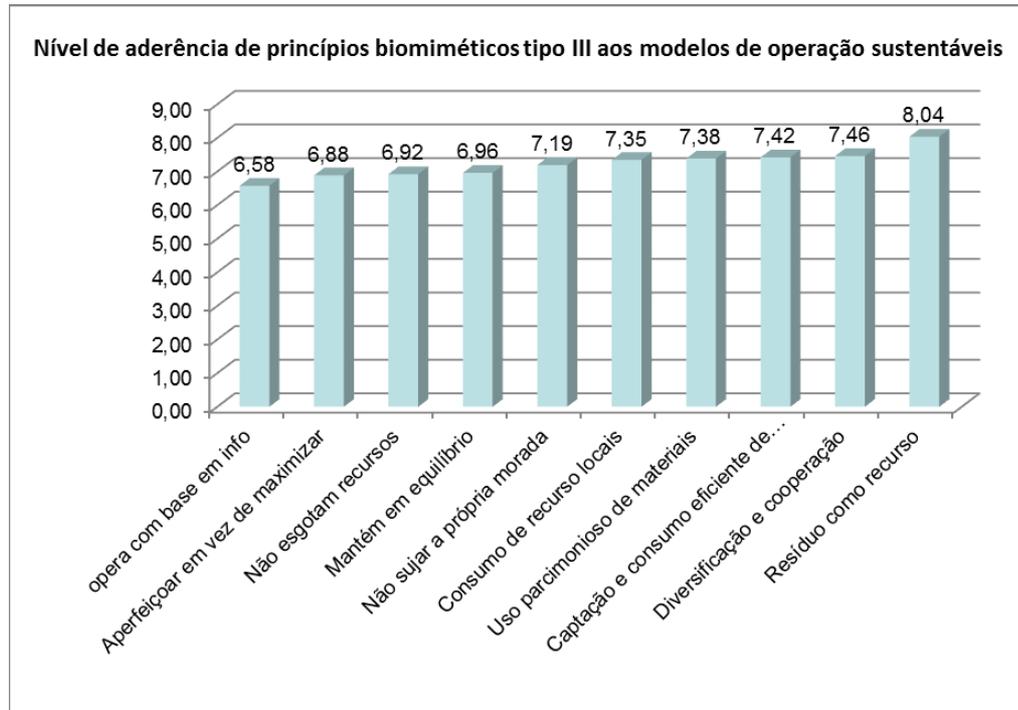
Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Tal estatística revela-se concordante aos motivos citados por Kleindorfer et al. (2005), que expõe motivações relacionadas ao rápido crescimento nos custos de energia e matéria prima e também o aumento da conscientização da população. A pressão originada por leis, outra motivação citada por Kleindorfer et al. (2005), é ordenada em quarto lugar na visão dos especialistas.

4.2.3 Nível de Aderência dos Modelos de Operação Sustentáveis aos Princípios Naturais do Tipo III da Biomimética

Seguindo com os resultados, a principal informação para a continuidade da proposta de melhoria dos modelos de operação sustentáveis é o nível de aderência entre os princípios dos modelos naturais do tipo III da Biomimética e os modelos de operação sustentáveis. Tal dado é gerado por meio da média das notas dos especialistas e ordenado de forma crescente, representando o grau de prioridade para o trabalho. A resposta apresentada por meio do Gráfico 4 é referente à pergunta: avalie a aderência dos modelos de operação sustentáveis a cada um dos princípios biomiméticos tipo III por meio de uma escala de avaliação que inicia em zero, representado nenhuma aderência, até 10, onde a aderência é total em sua opinião.

Gráfico 4 – Nível de aderência dos princípios biomiméticos do tipo III aos modelos de operação sustentáveis



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Para a pesquisa, a menor média de pontuação na aderência representa a maior oportunidade para melhoria dos modelos de operação sustentáveis atuais.

Antes mesmo da análise direta que classifica a utilização do princípio para a melhoria do modelo de operação sustentável base, percebe-se que, na opinião dos especialistas consultados, os temas operações sustentáveis e biomimética tem certo grau de sobreposição evidenciado pela média elevada nos resultados, apontando um valor mínimo de 6,58. Trata-se esse comportamento como natural uma vez que as abordagens possuem objetivos comuns.

O princípio que possui a menor aderência frente aos modelos atuais de operação sustentáveis trata de operar com base em informação. Este princípio dos sistemas naturais do tipo III sugere que a informação tenha fluidez pela operação, não apenas da forma tradicional, ou seja, dos níveis hierárquicos mais altos da empresa para os mais baixos, mas também na ordem inversa. A informação que é originada da base da operação deveria ser utilizada preventivamente como “sinalizadores” que permitem ações preventivas, como um termostato que corta a energia quando a temperatura ajustada é atingida, economizando energia (BENYUS, 2006).

Em segunda ordem de prioridade, aperfeiçoar em vez de maximizar surge na visão dos especialistas. O princípio sugere que a otimização seja colocada à frente da maximização no sentido de condução dos negócios. A implicação disso seria evitar crescimentos acelerados de volume de produção e priorizar o lucro mesmo com menores volumes, o que seria mais adequado para a sustentabilidade do negócio em longo prazo (BENYUS, 2006).

Na terceira colocação de prioridade, o princípio que estimula não esgotar recursos é relacionado. Tal princípio preconiza a utilização de recursos em uma velocidade menor do que ele é capaz de se regenerar na natureza, assim como a redução no consumo de recursos não renováveis como petróleo (BENYUS, 2006). Entretanto, percebe-se certa similaridade deste princípio com o próprio conceito de sustentabilidade trazido por Kleindorfer et al. (2005), definido na WCED (*World Commission on Environment and Development*) em 1987 como o desenvolvimento que satisfaz a capacidade do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades. Ambos tratam da utilização de recursos frente a sua capacidade de regeneração na natureza. Este assunto foi levado à discussão ao grupo de especialistas que reagiu posicionando-se para que este princípio fosse desconsiderado para a etapa de melhoria do Modelo de Operação Sustentável Base com conceitos dos sistemas naturais maduros do tipo III. Um integrante do grupo ainda reforça a ideia com a frase “entendo que exista um alinhamento muito forte entre o que é o princípio natural tipo III não esgotar recursos e o que é a sustentabilidade, acredito que estes pontos têm grande sobreposição e não agregaria a pesquisa utilizá-lo como inspiração para o modelo inicial”, concordando com a ideia de utilizar o quarto maior *gap* – manter-se em equilíbrio - para aprimorar o Modelo de Operação Sustentável Base.

O princípio que orienta manter-se em equilíbrio exemplifica a natureza quanto ao processo fechado das águas, onde não existe quantidade de elementos aumentada ou diminuída, simplesmente trocada. Tal sistema fechado deveria ser mimetizado por empresas que atualmente apenas transformam recursos em resíduos (BENYUS, 2006).

O princípios com pontuações abaixo do valor 7, com exceção ao não esgotar recursos, entendido como premissa para a sustentabilidade, formaram a base para o aprimoramento do modelo de operação sustentável base. Entretanto anteriormente a esta etapa se faz necessário o entendimento da relação entre os princípios dos sistemas naturais do tipo III e o Modelo de Operação Sustentável Base, como apresentado a seguir.

4.3 SOLUÇÕES DA NATUREZA PARA OS PRINCÍPIOS PRIORIZADOS DA BIOMIMÉTICA APLICADOS PARA O MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE

Para que sejam identificadas oportunidades de melhoria, uma busca na base de dados EBSCO foi realizada. Cabe salientar que não se trata de um exaustivo estudo sobre as estratégias da natureza e sim uma busca inicial de subsídios para a complementação do modelo de operação sustentável base. A geração de ideias para tornar mais robusto o Modelo de Operação Sustentável Base foi feita com a pesquisa de palavras chave nas menores pontuações em aderência, conforme tabela abaixo.

Tabela 2 – Busca de oportunidades para complementar o Modelo de Operação Sustentável Base sob a ótica da Biomimética

Nível de aderência	Princípio tipo III	Palavras chave	Resultado	Pesquisas utilizadas
6,58	Opera com base em informação	Biomimetic AND run on information	0	0
		Biomimetic AND information behavior	1	1
		Biomimetic AND information	2	2
		Biomimicry AND Information system	7	1
6,88	Aperfeiçoar invés de maximizar	Biomimetic AND optimize rather than maximize	0	0
		Biomimetic AND optimization	2	1
		Biomimetic AND optimize	4	1
6,96	Manter-se em equilíbrio	Keep in balance AND nature	21	4
		Biomimetic AND closed system	131	5
TOTAL			168	15

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

4.3.1 Operar com Base em Informação

Os engenheiros do século 21 devem estar aptos para enfrentar, com um passo veloz de mudança tecnológica, um mundo altamente conectado e repleto de problemas complexos (BECERIK-GERBER et al., 2010).

Neste sentido, a Biomimética pode amparar estes profissionais com o uso de informação e tomada de decisão. Em um estudo sobre como formigas operárias decidem o seu caminho até o alimento em meio a bifurcações, Grüter et al. (2010) analisaram como estes animais decidem com base em informações particulares (experiência passada) ou utilizando o feromônio, hormônio liberado na trilha para identificá-la. O estudo conclui que, quando os dados de experiências particulares e feromônios são disponíveis simultaneamente, os animais optam por suas experiências passadas para tomar a decisão final de qual caminho escolher até o alimento. Grüter et al. (2010) também afirmam que, na existência das duas informações, experiência ou ferormônio, as formigas operárias não gastam mais tempo para tomar a decisão quando comparado a situações em que apenas uma informação é disponível. A relação do estudo com o Modelo de Operação Sustentável Base é a descentralização da informação, reforçada na proposta de Sette (2010), e demonstrada por meio da Quadro 7. Sette (2010) desenvolveu uma proposta de indicadores para a avaliação de desempenho de processos produtivos industriais sob a ótica da Biomimética e por este motivo, em sua tabela de avaliação, o nível mais elevado para a informação gerada na operação é a que também é disseminada, tanto externamente como internamente na operação.

Quadro 7 – Critério de avaliação para a informação gerada na operação

Nível 1–pontuação 1	Nível 2–pontuação 2	Nível 3–pontuação 3	Nível 4–pontuação 4
Não gera informação	Gera e não dissemina informação	Gera e dissemina internamente as informações	Gera e dissemina interna e externamente, promovendo <i>feedback</i>

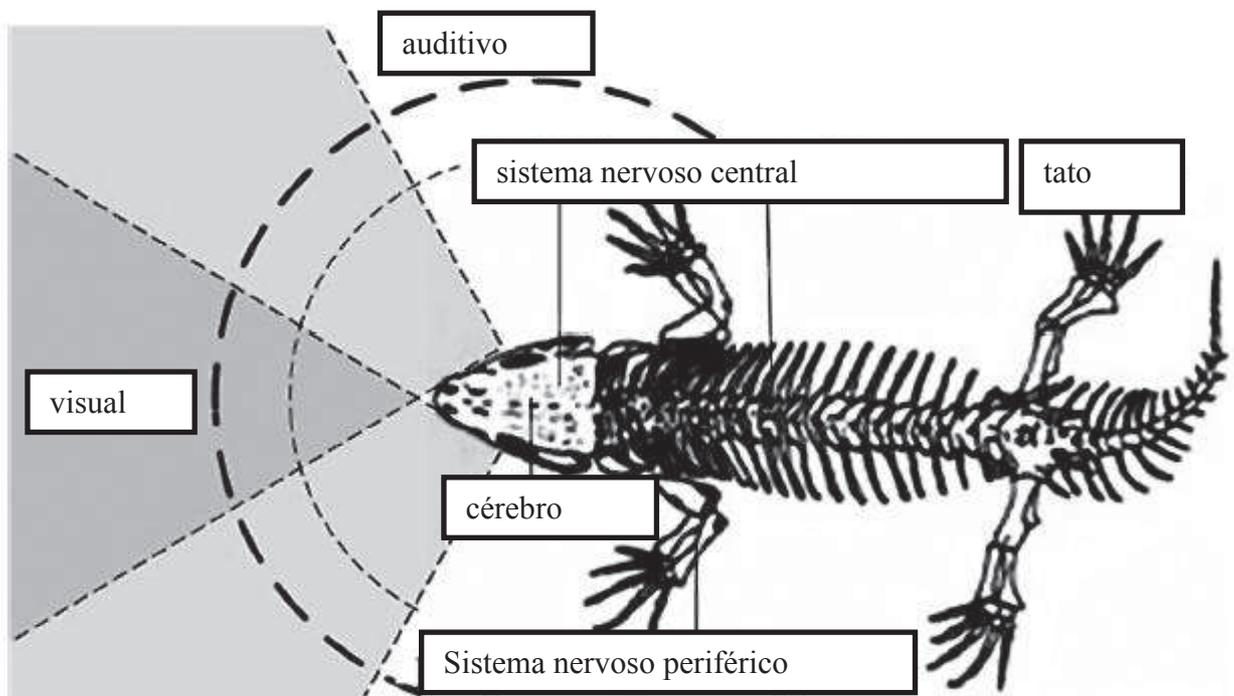
Fonte: Sette (2010)

Outra aplicação relacionada à operação baseada em informação é citada por Silvakumar et al. (2012), que em sua pesquisa explicam o que uma célula do nosso organismo

pode ensinar à modelos de operação. Neste contexto, as proteínas executam um papel central e compõem a metade do peso de uma célula. O papel mais conhecido de uma proteína é a função que efetua como enzima catalisadora de processos na célula. São realizadas em torno de 4000 reações de catalisação e muitas proteínas são envolvidas no processo de sinalização e decodificação de sinais entre os processos dentro de uma célula. O sistema de imunidade do corpo humano é o exemplo do uso de informação, que alerta os anticorpos de modo que combatam o que é detectado como uma invasão ao organismo humano. De modo geral os componentes de uma célula têm conexões que permitem a troca de informação inequívoca, permitindo a rapidez e a ausência do erro de comunicação destes organismos naturais.

Certamente a natureza utiliza informação para a tomada de decisão, a exemplo de um simples réptil, estudado por Jia et al. (2009), com a finalidade de mimetizá-lo para aplicar suas características de locomoção em um robô. Jia et al. (2009) demonstram a forma com que este animal capta a informação e a transmite para as patas (ilustrada na Figura 10). A informação sensorial é recebida pelo animal na proporção de 80% visualmente, 10% auditivamente e o restante por outros sensores no corpo (JIA et al., 2009).

Figura 10 – Sistema de informação em um réptil



Fonte: Jia et al. (2009)

Com isso, percebem-se alguns pontos em que o Modelo de Operação Sustentável Base é passível de ser melhorado. O caso das formigas operárias que tomam suas próprias decisões sugere que a decisão seja descentralizada - simples formigas operárias tomam suas próprias decisões utilizando experiência e feromônio, uma substância gerada pelo animal que indica o caminho a ser percorrido. No Modelo de Operação Sustentável Base, a informação é tratada como o conjunto de dados fluindo entre os constructos, sem a preocupação declarada sobre o exato local onde deveria ser disponibilizada (para as formigas, o ponto onde ela precisa tomar a decisão sobre qual caminho tomar em meio ao labirinto do seu formigueiro) e seus usuários (o tipo de formiga responsável por carregar alimento ao formigueiro).

Células inspiram o Modelo de Operação Sustentável Base no aspecto prevenção de erro na disponibilização da informação e antecipação do seu uso. As células têm conectores específicos que permitem conexões apenas com outras células que deveriam receber tal informação. Além disso, a informação é utilizada para prever uma falha em nosso corpo, permitindo correção antecipada, como os anticorpos. Neste sentido, o volume de informação do Modelo de Operação Sustentável deveria ser maior em constructos anteriores ao processo de transformação, permitindo que a informação seja utilizada de maneira preventiva.

O sistema de informação dos répteis é sugestivo quanto a sua estrutura, que combina mecanismos de visão, audição e tato, distribuídos por uma coluna dorsal. A mimetização para o Modelo de Operação Sustentável Base deve buscar a integração da informação entre os níveis do modelo como a coluna animal, assim como a diversificação das formas da informação, que no caso do réptil é a visão, a audição e o tato em três diferentes regiões corpóreas.

Sumarizando as lições, transformadas para alterações no Modelo de Operação Sustentável Base, chega-se a:

- a) gerar informação em diversos níveis da operação (mimetizado do réptil);
- b) personalizar a informação ao seu usuário, permitindo sua ação e não priorizar a informação a níveis hierárquicos mais elevados na operação (mimetizado das formigas operárias);
- c) priorizar a disponibilização de informação em constructos anteriores ao processo de transformação de maneira a atuar de forma preventiva (mimetizado das células de anticorpos).

4.3.2 Aperfeiçoar em Vez de Maximizar

Na agricultura, plantações sazonais como o milho são como os sistemas industriais atuais. Esta planta transforma nutrientes em biomassa e depois, rapidamente, força a produção dos grãos. Assim que estes são gerados, a planta rapidamente seca e morre. Ao contrário disso, os sistemas naturais do tipo III crescem rapidamente somente até determinada fase, após isso se estabilizam, mantendo a biomassa constante e desacelerando a produção. O foco passa a ser o aperfeiçoamento dos seus processos em vez da maximização da produção de frutos ou grãos (BENYUS, 2006).

Ao se verificar o comportamento dos prados, campos constituídos por gramíneas e outras plantas não lenhosas, verifica-se a diferença entre maximizar e aperfeiçoar a produção. Nos prados, a água da chuva é simplesmente absorvida e retida, e mesmo que forte, a chuva escorre suavemente pelos caules. O contrário ocorre em plantações onde a maximização é almejada. Em uma plantação de milho, por exemplo, a chuva atinge o solo desprotegido, compacta-o e depois escorre, levando consigo preciosas camadas de solo. Outra evidência da busca pelo aperfeiçoamento é que durante o inverno apenas 30% das raízes dos prados morrem, as outras 70% são beneficiadas com a matéria orgânica depositada no solo pelas raízes mortas. Seguindo com as comparações, ao invés de apenas uma cultura, como o exemplo do milho, os campos de prado têm aproximadamente 230 espécies de plantas, o que significa que sempre haverá algumas espécies que conseguirão sair-se bem conforme o clima que se apresente. Além da maior resistência às intempéries do tempo, a diversidade é o maior e melhor método de controlar pragas, pois muitas destas costumam especializar-se em um tipo de planta (BENYUS, 2006).

A contribuição dos prados com o Modelo de Operação Sustentável Base se dá pela visão de aperfeiçoamento dos constructos. Em cada etapa do modelo pode-se verificar o possível aproveitamento e interação com outros constructos com o objetivo de não haver desperdícios intermediários. Como as raízes mortas dos prados que fortalecem o solo para as raízes remanescentes, o modelo pode utilizar saídas de cada constructo, primeiramente identificados apenas como resíduo, como matéria prima ou insumo para outros. Tal iniciativa ampliaria a visão inicial e restrita de maximizar a produção do produto/serviço final, fortalecendo a busca pela eficiência dos recursos.

Figura 11 – Prado de *Grindelwald*. Ao fundo, algumas árvores e os Alpes Suíços



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Prado>, acesso em 03/05/13

Liu e Passino (2002) apresentam uma forma complementar aos prados quando afirmam que animais que se alimentam de vegetais forrageiros buscam obter o aperfeiçoamento da taxa entre a energia obtida pelo tempo de pastoreio, ou seja, não buscam se alimentar mais e sim obter alimentos melhores, com melhor retorno de energia para que a sobrevivência da espécie seja mantida. Benyus (2006) vai além, com a ideia de que este princípio biomimético diz respeito à redução da produção, com ênfase na qualidade, em vez de na quantidade de coisas novas. Atualmente os fabricantes operam na esperança de que seus produtos apresentem defeitos irreparáveis para que possam vender novos produtos ao consumidor. Seria muito melhor para o meio ambiente se fabricássemos mais produtos com alto ciclo de vida útil, se utilizássemos mais produtos reconicionados, enfim se mudássemos para um sistema econômico onde o importante seria a manutenção de muitos produtos e não apenas a venda de muitos produtos. Esta preocupação é ressaltada por Sette (2010), ao propor um indicador de reaproveitamento do produto final descartado pelo consumidor. Este indicador é formulado pela razão entre o material descartado pelos consumidores e o material reaproveitado pela empresa geradora.

Concentrando as lições Biomiméticas originadas do conceito de otimização, tem-se:

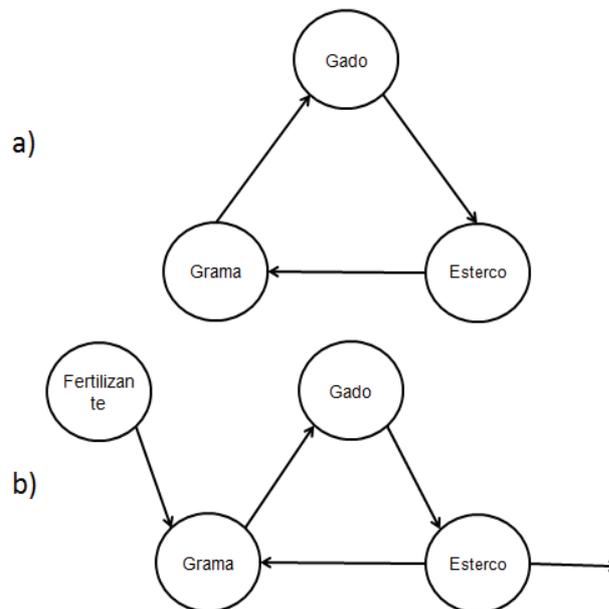
- a) avaliar cada constructo do Modelo de Operação Base no sentido de reduzir desperdícios, gerando novos insumos ou matéria prima para outros constructos (mimetizado dos prados);

- b) gerar produtos ou serviços de alta vida útil para evitar a utilização de novas matérias primas virgens (mimetizado de animais de pastoreio).

4.3.3 Manter-se em Equilíbrio

Ao se falar de sistemas naturais maduros do tipo III, como por exemplo, um prado, na verdade se fala de subciclagens em uma ciclagem muito maior, a biosfera. Esta é a camada de ar, terra e água que sustenta a vida, é um sistema fechado (BENYUS, 2006). Para Deserpa e Fung (1978), um sistema fechado é entendido como um sistema com partes que interagem com trocas recíprocas onde nenhuma parte tem movimento unilateral. Em termos econômicos, isso significa que nenhuma variável pode ser vista somente como uma entrada ou apenas uma saída. Deste modo, cada saída deveria ser vista como uma entrada para outro processo em um ciclo completo.

Figura 12 – Sistema fechado natural, sistema aberto com intervenção humana.



Fonte: Deserpa e Fung (1978)

Seguindo um rumo contrário, os sistemas abertos são aqueles em que nem todas as partes interagem ou então não interagem por completo (DESERPA; FUNG, 1978). São como as indústrias que transformam materiais em resíduos e não tem reciclagem suficiente (BENYUS, 2006), ou como indústrias que cortam árvores para que sejam transformadas em papel, que depois é utilizado e simplesmente jogado fora (ASIMOV, 1979).

Relacionado a sistemas fechados, Taub (1974) cita processos com a finalidade de regeneração de recursos com a aplicação em compartimentos de viagem de astronautas em missões espaciais. O autor demonstra por meio de processos físico-químicos e fotossintéticos a transformação de urina em água potável e gás carbônico em oxigênio, comprovando a aplicabilidade e vantagem da manutenção do equilíbrio de um sistema fechado.

De fato a natureza está repleta destes exemplos. A água que escorre das mais altas montanhas até os oceanos evapora, transforma-se em chuva e inicia seu ciclo novamente. Outro exemplo: Os animais, que convertem alimento e oxigênio em água e dióxido de carbono, e mesmo assim, ano após ano, tanto alimento como oxigênio não acabam. Isso porque esta é apenas a metade do ciclo que é completado pelas plantas. Estas, movidas pela energia solar, transformam o dióxido de carbono em oxigênio e a água em alimentos para os animais (ASIMOV, 1979).

Concentrando as lições Biomiméticas originadas do conceito de equilíbrio, tem-se: tratar a operação como um sistema fechado, onde as entradas e saídas do modelo se mantêm em equilíbrio (mimetizado do sistema fechado da água na natureza).

4.4 MELHORIA NO MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BASE SOB A ÓTICA DOS PRINCÍPIOS PRIORIZADOS DA BIOMIMÉTICA

No que tange à revisão do Modelo de Operação Sustentável sob a ótica da Biomimética, novamente o grupo focal foi atuante. A avaliação do grupo de especialistas incidiu sobre a relação de cada solução da natureza, referente aos princípios priorizados da Biomimética com cada um dos constructos do Modelo de Operação Sustentável Base.

O Quadro 7 sintetiza o objetivo da avaliação para responder a seguinte pergunta: o princípio biomimético modifica o constructo? A marcação do quadro representa que o constructo foi modificado com base no princípio do sistema natural do tipo II. A segunda questão a ser respondida foi: como ficaria a sua descrição? Esta é detalhada no Quadro 8.

Quadro 8 – Relação entre o Modelo de Operação Sustentável Base e os princípios dos sistemas naturais do tipo III

	Operar com base em informação	Aperfeiçoar em vez de maximizar	Manter-se em equilíbrio
Pessoas	✓		
Energia		✓	✓
Equipamento			
Terceiros	✓		✓
Informação	✓		
Indicadores e metas	✓		
Material		✓	✓
Cliente	✓		
Projeto			
Produto/serviço			
Resíduos		✓	✓
Emissões		✓	✓
Transporte		✓	
Cadeia de abastecimento	✓		
Destinação			✓
Capital financeiro		✓	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Estas relações foram construídas por meio do debate e respeitaram a ideia de que, afirmando que existe a relação, o constructo pode ser melhorado quanto a sua descrição. Desta forma, o princípio ‘operar com base em informação’ contribui aos constructos que poderiam ser utilizados como sensores ou captadores de informação. Também foram considerados aspectos preventivos e a descentralização da informação. O princípio ‘otimizar em vez de maximizar’ é relacionado a eficiência de recursos e o princípio ‘manter-se em equilíbrio’ tem como pano de fundo as externalidades ao modelo, na intenção de criar um sistema fechado ao modelo de operação.

O Quadro 9 demonstra detalhadamente cada constructo com a sua descrição na versão do Modelo de Operação Sustentável Base e, em seguida, com a descrição final após a revisão no grupo focal baseada em cada um dos princípios biomiméticos utilizados.

Quadro 9 – Melhorias nos constructos a partir dos princípios biomiméticos priorizados

(continua)

Constructo	Conceito Modelo de Operação Sustentável Base	Conceito Modelo de Operação Sustentável Sob a Ótica da Biomimética
Pessoas	Alcalay e Buffa (1963) definem como a carga hora da mão de obra para produzir determinado produto/serviço ou algum tipo de suporte à operação; para Reismantt e Buffa (1964), adequadamente selecionadas e no tempo certo para suportar a operação. O impacto das ações envolvendo os funcionários é levado em consideração quando do momento da tomada de decisão pela preocupação com as gerações futuras (KLEINDORFER <i>et al.</i> , 2005), valorizando e respeitando as pessoas.	Carga hora da mão de obra para produzir produto/serviço ou algum tipo de suporte a operação, é adequadamente selecionada quanto ao tempo e qualidade. O impacto das ações envolvendo os funcionários é levado em consideração quando do momento da tomada de decisão pela preocupação com as gerações futuras, valorizando e respeitando as pessoas. Além disso, funcionam como sensores de captação de informação originada na sociedade onde estão inseridas.
Energia	Transforma os processos (REISMANTT e BUFFA, 1964; KLEINDORFER <i>et al.</i> , 2005) na medida que possibilita que as entradas sejam transformadas em saídas. Pode ser de diferentes tipos, tais como elétrica, eólica, solar, desde que renováveis.	Utilizada para transformar entradas em saídas nos processos, pode ser gerada fora do modelo desde que por fontes renováveis ou dentro do modelo, prioritariamente, como subproduto de outro constructo atuando em sistema fechado.
Equipamento	Máquinas, dispositivos, instrumentos e hardwares utilizados para a transformação ou suporte na realização do produto/prestação do serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi et al, 2000), seguros às pessoas e não agressores ao meio ambiente.	Máquinas, dispositivos, instrumentos e hardwares utilizados para a transformação ou suporte na realização do produto/prestação do serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi et al, 2000), seguros às pessoas e não agressores ao meio ambiente.

(continuação)

Constructo	Conceito Modelo de Operação Sustentável Base	Conceito Modelo de Operação Sustentável Sob a Ótica da Biomimética
Terceiros	Para Alcalay e Buffa (1963), denominado de forma mais ampla como qualquer serviço de apoio, com impacto direto para suporte ao processo. Com a característica de ser contratado externamente por decisão estratégica com base em algum tipo de capacidade técnica ou financeira, que a empresa deseja terceirizar (REISMANTT; BUFFA, ELWOOD S., 1964)	Serviço de apoio, com impacto direto no suporte do processo. É contratado externamente por decisão estratégica com base em algum tipo de capacidade técnica ou financeira que a empresa deseja terceirizar. Atuam como sensores de captação de informação e tem relação de longo prazo com a operação, mantendo o equilíbrio da relação cliente fornecedor, suportando decisões em parceria.
Informação	Reismantt e Buffa (1964) caracterizam como o conjunto de dados processados que flui entre os constructos do modelo.	Conjunto de dados processados que flui entre os constructos, permitindo a tomada de decisão preventiva em relação aos problemas e independente do nível hierárquico na operação, promovendo tanto o feedback quanto o feedforward aos constructos.
Indicadores e Metas	Afetam diretamente o produto/serviço por se tratar de um componente essencial para a tomada de decisão por parte da liderança (GRIFFIN, 1994)	Afetam diretamente o processo por se tratar de um componente essencial para a tomada de decisão com enfoque preventivo por parte da liderança.
Material	Matéria prima e insumo utilizado no processamento (KLEINDORFER <i>et al</i> , 2005). Busca-se a maximização da utilização de materiais renováveis e pode ser classificado em: i) agrega valor ao produto, quando o cliente está disposto a pagar e, ii) não agrega valor ao produto: mesmo que o cliente não esteja disposto a pagar, é necessário ao processo de transformação.	Matéria prima e insumo utilizado no processamento. Busca-se a máxima eficiência da utilização tanto dos renováveis quanto dos originados como subprodutos de outros constructos, tudo que se retira da natureza é devolvido na mesma medida. São divididos em dois tipos: i) quando agrega valor ao produto/serviço, ou seja, o cliente está disposto a pagar; ii) quando não agrega valor, porém é necessário ao processo de transformação.

(continuação)

Constructo	Conceito Modelo de Operação Sustentável Base	Conceito Modelo de Operação Sustentável Sob a Ótica da Biomimética
Projeto	Planejamento do processo produtivo do produto/serviço, contemplando suas características funcionais (KLEINDORFER et al, 2005). Contempla, desde esta etapa, características como a facilidade de reparo, incentivando a reutilização, assim como materiais não agressores ao meio ambiente de forma inteligente, aumentando a vida útil do produto/serviço.	Planejamento do processo produtivo do produto/serviço, contemplando suas características funcionais (KLEINDORFER et al, 2005). Contempla, desde esta etapa, características como a facilidade de reparo, incentivando a reutilização, assim como materiais não agressores ao meio ambiente de forma inteligente, aumentando a vida útil do produto/serviço.
Cliente	O receptor das saídas do processo, remunerando a operação pelos serviços ou produtos em função de ter suas necessidades atendidas. (BIDDLE,2011).	Receptor dos produtos/serviços da operação retorna capital financeiro e em função disso. Atua como sensor de captação de informação de feedback.
Produto / Serviço	Segundo Kleindorfer <i>et al</i> , (2005), trata-se do objeto de satisfação de um cliente. É tudo que tem valor para alguém (KOTLER, 1998). Busca-se o aumento de sua vida útil com a intenção de reduzir o consumo de material para a sua geração.	Segundo Kleindorfer <i>et al</i> , (2005), trata-se do objeto de satisfação de um cliente. É tudo que tem valor para alguém (KOTLER, 1998). Busca-se o aumento de sua vida útil com a intenção de reduzir o consumo de material para a sua geração.
Resíduo	É aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento ou refugo nos processos produtivos ou de suporte aos processos produtivos (KLEINDORFER <i>et al</i> , 2005). Tem sua quantidade e impacto reduzido ao logo do tempo.	É aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento ou refugo nos processos produtivos ou de suporte aos processos produtivos. Tem sua quantidade e impacto reduzidos ao logo do tempo, sua utilização é feita da forma mais eficiente possível e na maior quantidade possível dentro da própria operação.
Emissões	Qualquer tipo de emissão de fluído, ou seja, gases e líquidos, podendo ser poluentes ou não poluentes. Para os poluentes busca-se a eliminação e para os não poluentes, a utilização como energia ou material para outro processo (MAZUR; MILES, 2010).	Qualquer tipo de emissão de fluído, ou seja, gases e líquidos, podendo ser poluente ou não poluente. Para os poluentes busca-se a eliminação e para os não poluentes, a utilização como energia ou material em nível máximo de eficiência dentro da operação.

(continuação)

Constructo	Conceito Modelo de Operação Sustentável Base	Conceito Modelo de Operação Sustentável Sob a Ótica da Biomimética
Transporte	Para Anderson (2011), é o responsável por mover/transferir os produtos/serviços da empresa, dentro da fábrica, de uma fábrica para outra, de fornecedores e para clientes.	Move/transfere os produtos/serviços da empresa, em nível máximo de eficiência , dentro da fábrica, de uma fábrica para outra, de fornecedores e para clientes.
Cadeia de abastecimento	Possui a função de abastecimento, inclusive utilizando-se de materiais já utilizados anteriormente (KLEINDORFER <i>et al</i> , 2005). No modelo proposto, responsáveis pelo fornecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, bem como a captação de material para reaproveitamento em um ciclo fechado de parceria entre empresas.	Possui a função de fornecimento/abastecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, inclusive em casos em que estes itens já foram utilizados anteriormente. Atuam em um ciclo fechado de parceria entre empresas gerando informação à operação no modo <i>feedforward</i> .
Destinação	É a forma de tratar o que não foi aproveitado no produto/serviço ou mesmo durante o processo de transformação de maneira responsável. Pode-se classificar em: descarte: disposto em local e em condições não agressivas ao meio ambiente e comunidade; reutilização: diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010); reciclagem: processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima para diminuir a quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011) <i>Upcycling</i> : utilização direta de algo que é classificado primeiramente como resíduo ou emissão como matéria prima, insumo ou mesmo um novo produto.	É a forma de tratar, prioritariamente dentro da operação , o que não foi aproveitado no produto/serviço ou mesmo durante o processo de transformação de maneira responsável. Pode-se classificar em: descarte: disposto em local e em condições não agressivas ao meio ambiente e comunidade; reutilização: diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010); reciclagem: processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima para diminuir a quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011) <i>Upcycling</i> : utilização direta de algo que é classificado primeiramente como resíduo ou emissão como matéria prima, insumo ou mesmo um novo produto

(conclusão)

Constructo	Conceito Modelo de Operação Sustentável Base	Conceito Modelo de Operação Sustentável Sob a Ótica da Biomimética
Capital Financeiro	É o valor financeiro que circula no modelo. Tem raciocínio de longo prazo nas decisões que envolvem sua utilização, justificando o zelo pela sustentação da existência da empresa.	É o valor financeiro que circula no modelo. Tem raciocínio de longo prazo e nível máximo de eficiência nas decisões que envolvem sua utilização, justificando o zelo pela sustentação da existência da empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Com a visão dos três princípios naturais do tipo III, adicionando valor aos constructos do Modelo de Operação Sustentável Base, tem-se então um Modelo de Operação Sustentável Biomimético, apresentado a seguir.

4.5 O MODELO DE OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL BIOMIMÉTICO

A consolidação de todos os constructos já alterados em um modelo sob a ótica da Biomimética é apresentada da seguinte maneira:

A cadeia de abastecimento, apesar de estar fora do escopo da empresa focal, é de extrema importância para o Modelo de Operação Sustentável Biomimético. Tem contato indireto com os clientes da empresa focal devido à recepção da destinação realizada e contato direto por meio do abastecimento, quando material ou fornecimento, quando serviço, aos constructos de entrada de equipamentos, energia, material e terceiros. A relação da cadeia de abastecimento com o modelo é de longo prazo. Neste sentido, a troca de fornecedores é evitada. No Modelo de Operações Sustentável Biomimético os fornecedores são desenvolvidos e retribuem esta parceria com produto/serviço de alta qualidade, além de informações no sentido *feedforward*, onde a informação pode ser utilizada como entrada preventiva ao modelo, não limitada como o *feedback*, que tem como premissa a retroalimentação do processo, demonstrando o sentido reativo e não preventivo.

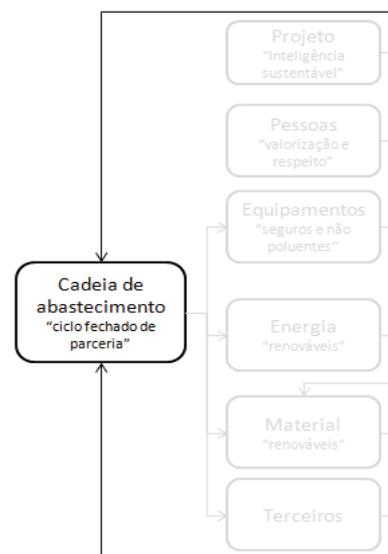
A maximização do conceito de ciclo fechado é buscada por meio do estímulo ao aumento das relações de cliente/fornecedor em um número restrito de empresas. Ao contrário dos modelos tradicionais de operação, o Modelo de Operação Sustentável Biomimético não tem como meta principal a redução do custo com fornecedores. A relação de longo prazo é

proporcionada com o desenvolvimento dos fornecedores e não a sua troca quando ocorre o primeiro problema.

O viés Biomimético constitui ao constructo a característica de atuar como sensor de captação de informação ao modelo, antevendo situações onde a rápida tomada de decisão é necessária. O segundo ponto que é conferido ao constructo visa a eficiência de recursos. Busca-se reutilizar resíduos e emissões evitando consumo de materiais virgens. A parceria e o ciclo fechado é consequência do princípio Biomimético de manter-se em equilíbrio. Para isso, todo o possível é aproveitado e o resíduo de uma empresa pode ser a matéria prima de outra. Por exemplo, processos que geram calor como tratamento térmico são possíveis geradores de energia térmica para outros. O constructo final é definido como abaixo:

- a) cadeia de abastecimento: possui a função de fornecimento/abastecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, inclusive em casos em que estes itens já foram utilizados anteriormente. Atuam em um ciclo fechado de parceria entre empresas gerando informação à operação no modo *feedforward*;

Figura 13 – Corte A do Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O projeto do produto/serviço contempla características funcionais, como a facilidade de manutenção que pode ser gerada por meio da facilidade dos acessos a determinados componentes. A busca por produtos/serviços com alta vida útil tem relação com a quantidade

de matéria prima virgem utilizada. Quanto maior a vida útil, menos material precisa ser retirado da natureza e por este motivo considera-se o projeto do produto/serviço em um escopo de “berço à berço”. Exatamente o contrário do que se pode evidenciar em alguns produtos com vida útil extremamente curta, que podem ser lançados praticamente obsoletos por terem um produto substituto sendo lançado pouco tempo depois. Toma-se como exemplo a televisão de plasma, que logo foi substituída pelas televisões de LCD (*Liquid Crystal Display*), que já perderam espaço para as que transmitem imagens em três dimensões.

A inteligência sustentável ao produto ou serviço é conferida ao constructo na medida em que aspectos ambientais, econômicos e sociais são levados em consideração. Por exemplo, um produto que pode tomar decisões por conta própria, como um movimentador de material que é capaz de identificar posições vazias de armazenagem bem como a rota necessária para chegar ao destino. Entretanto neste contexto o projeto tem escopo mais abrangente abarcando também, além de produto/serviço, o próprio processo produtivo. O constructo final e a sua definição é:

- b) projeto: planejamento do processo produtivo do produto/serviço, contemplando suas características funcionais (KLEINDORFER et al, 2005). Aborda, desde esta etapa, características como a facilidade de reparo, incentivando a reutilização, assim como materiais não agressores ao meio ambiente de forma inteligente, aumentando a vida útil do produto/serviço;

As pessoas, consideradas como uma das entradas do processo de transformação, tem papel fundamental no modelo. Além da obviedade da utilização da mão de obra, preocupação essencial dos modelos tradicionais, o Modelo de Operação Sustentável Biomimético se diferencia pela preocupação em adequar cada indivíduo à atividade necessária e, em tempo hábil, para o processo solicitante. As decisões tomadas e impactantes para a vida das pessoas do modelo são feita com extremo cuidado. Impactos negativos tanto às pessoas do modelo quanto aos familiares são evitados. Uma atividade perigosa ou insalubre é evitada porque tem impacto também na família da pessoa, não somente a ela. O Modelo de Operação Sustentável Biomimético não permite que exista risco a uma pessoa, não somente pelo funcionário envolvido, mas também pelos seus filhos que podem não ter um pai ou uma mãe de volta depois do trabalho porque foram expostos a uma atividade. Modelos de operação tradicionais não se preocupariam com isso, ou estariam preocupados, no máximo, com o seu funcionário.

Com a ótica da Biomimética o constructo é fortalecido por meio da adoção do conceito de sensor de captação de informação. A mimetização ocorre comparando-se uma operação a um réptil. Nos répteis os sensores de informação estão espalhados por todo o seu corpo. Esta é a ideia em uma operação onde as pessoas tem capacidade de atuar como sensores por toda a operação. Nos modelos tradicionais de operação a informação e a decisão ocorrem somente nos níveis hierárquicos mais elevados, sendo o oposto do que é proposto neste trabalho. O constructo se apresenta como a seguir:

- c) pessoas: carga hora da mão de obra para produzir produto/serviço ou algum tipo de suporte a operação, é adequadamente selecionada quanto ao tempo e qualidade. O impacto das ações envolvendo os funcionários é levado em consideração quando do momento da tomada de decisão pela preocupação com as gerações futuras, valorizando e respeitando as pessoas. Além disso, funcionam como sensores de captação de informação originada na sociedade onde estão inseridas;

Os equipamentos são presentes ao modelo sendo fornecidos pela cadeia de abastecimento. Neste sentido, quando utilizados para a transformação propriamente dita ou para suportá-la, são considerados equipamentos o maquinário, os dispositivos de fixação de peças, instrumentos de medição ou até mesmo um *hardware* como um CLP (controlador lógico programável). Tão importante quanto atender às especificações técnicas ou capacidade de produção em quantidade, os equipamentos não podem gerar risco à pessoa que o opera ou ao meio ambiente.

- d) equipamento: máquinas, dispositivos, instrumentos e hardwares utilizados para a transformação ou suporte na realização do produto/prestação do serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi et al, 2000), seguros às pessoas e não agressores ao meio ambiente;

A energia utilizada para transformar, originada por fontes renováveis, tem aspectos biomiméticos atribuídos com a maximização da energia gerada no próprio modelo. O que foi considerado perda em um processo, agora é observado como fonte energética. A reutilização de calor, movimento, ar, luz, umidade e outras formas de energia são redirecionadas para dentro do próprio modelo de operação em um ciclo fechado, o que o difere de um modelo tradicional de operação onde o recurso é simplesmente utilizado sem preocupação alguma, ou

mesmo um modelo de operação sustentável, que se preocupa em não esgotar os recursos naturais, porém não tem enfoque na geração de energia no próprio modelo.

- e) energia: utilizada para transformar entradas em saídas nos processos, pode ser gerada fora do modelo desde que por fontes renováveis ou dentro do modelo, prioritariamente, como subproduto de outro constructo atuando em sistema fechado;

O material, podendo ser um insumo como uma ferramenta de corte ou um produto químico. Ou mesmo a matéria prima para o produto/serviço como aço ou plástico, ou então recursos naturais como a água, constituem o constructo. O ciclo fechado se apresenta novamente e tudo que é retirado da natureza é devolvido. Existe o entendimento de que os materiais podem agregar ou não valor ao cliente, porém a busca pela máxima eficiência na utilização é constante. É perfeitamente sabido que a natureza não pode pagar o custo da ineficiência da operação. Modelos tradicionais de operação utilizam materiais de forma desordenada, sem foco em eliminação de desperdícios ou reaproveitamento.

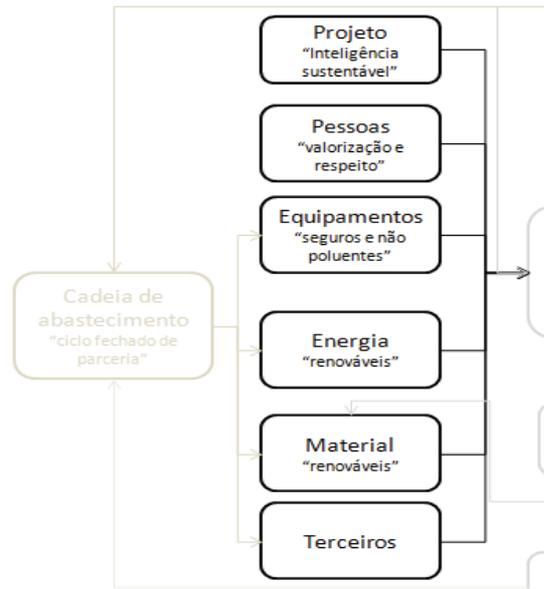
- f) material: matéria prima e insumo utilizado no processamento. Busca-se a máxima eficiência da utilização tanto dos renováveis quanto dos originados como subprodutos de outros constructos, tudo que se retira da natureza é devolvido na mesma medida. São divididos em dois tipos: i) quando agrega valor ao produto/serviço, ou seja, o cliente está disposto a pagar; ii) quando não agrega valor, porém é necessário ao processo de transformação;

O serviço de apoio, contratado pela empresa focal, fornece apoio ao modelo de operação. Uma atividade terceirizada não tem a premissa de que a operação não tem a capacidade técnica. Esta pode não ser o desejo da operação, que opta pela terceirização. De qualquer forma, as relações de longo prazo são vistas como fundamentais, o desenvolvimento de fornecedores é adotado em vez de apenas a busca pela substituição, em caso de não atendimento de algum requisito. Novamente os sensores de captação de informação são acionados na forma de terceiros, oportunizando *inputs* para a tomada de decisão da operação e diferenciando-a de um modelo de operação comum, sem vínculo algum com seus terceiros, além da mínima prestação de serviço.

- g) terceiros: serviço de apoio, com impacto direto no suporte do processo. É contratado externamente por decisão estratégica com base em algum tipo de capacidade técnica

ou financeira que a empresa deseja terceirizar. Atuam como sensores de captação de informação e tem relação de longo prazo com a operação, mantendo o equilíbrio da relação cliente fornecedor, suportando decisões em parceria;

Figura 14 – Corte B no Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A informação percorre o modelo de forma completa. Porém por limitações gráficas, na figura do modelo ela se apresenta ligada apenas ao constructo indicadores e metas. O destaque do constructo se dá tanto pelo sentido da informação em *feedback* e *feedforward*. A primeira forma é a mais comum, quando um processo é retroalimentado com os resultados do seu processo posterior, entretanto a segunda forma, tratada como *feedforward* é quando o processo é alimentado pelo processo anterior, permitindo decisões preventivas. A utilização de uma informação originada de um terceiro, sinalizando a impossibilidade de realizar uma atividade projetada para a sua realização sem a sua participação ou consulta, pode ser considerada um exemplo. Portanto a informação em sentido *feedback* e *feedforward* pode ser aplicada ao se analisar cada constructo em um ambiente onde a informação é adequada para que cada um dos níveis hierárquicos da operação possa utilizá-la. Seu constructo é descrito como:

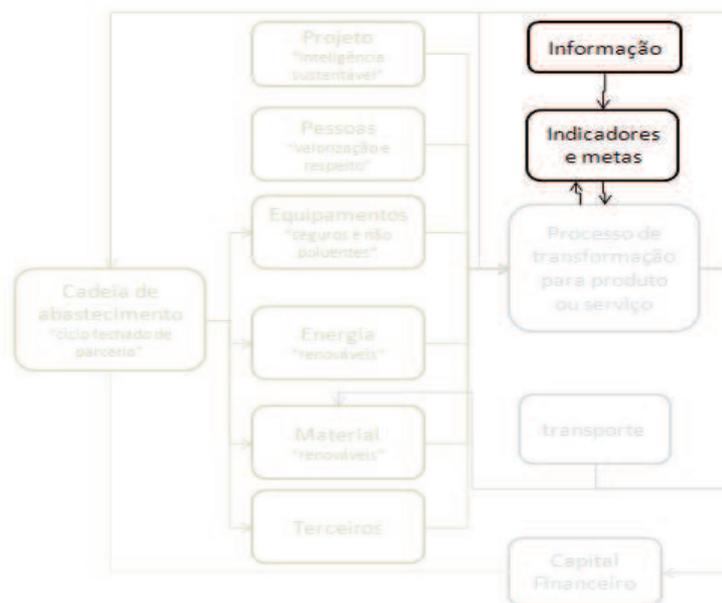
- h) informação: conjunto de dados processados que flui entre os constructos, permitindo a tomada de decisão preventiva em relação aos problemas e independente do nível

hierárquico na operação, promovendo tanto o *feedback* quanto o *feedforward* aos constructos;

Diretamente ligado ao processo de transformação está o constructo Indicadores e Metas. O enfoque preventivo dos indicadores é maximizado. Qualquer indicador que mede quantidade de desperdício, como refugo e qualquer tipo de consumo é visto como secundário ao modelo; este tipo de indicador é utilizado em modelos de operação tradicionais. Os indicadores buscados estão ligados ao processo, em que existe tempo hábil para a decisão antes que ocorra a falha. A mimetização é originada dos anticorpos que defendem o organismo das doenças e agem antecipadamente aos possíveis danos que um vírus pode causar.

- i) indicadores e metas: afetam diretamente o processo por se tratar de um componente essencial para a tomada de decisão com enfoque preventivo por parte da liderança.

Figura 15 – Corte C no Modelo de Operação Sustentável Biomimético



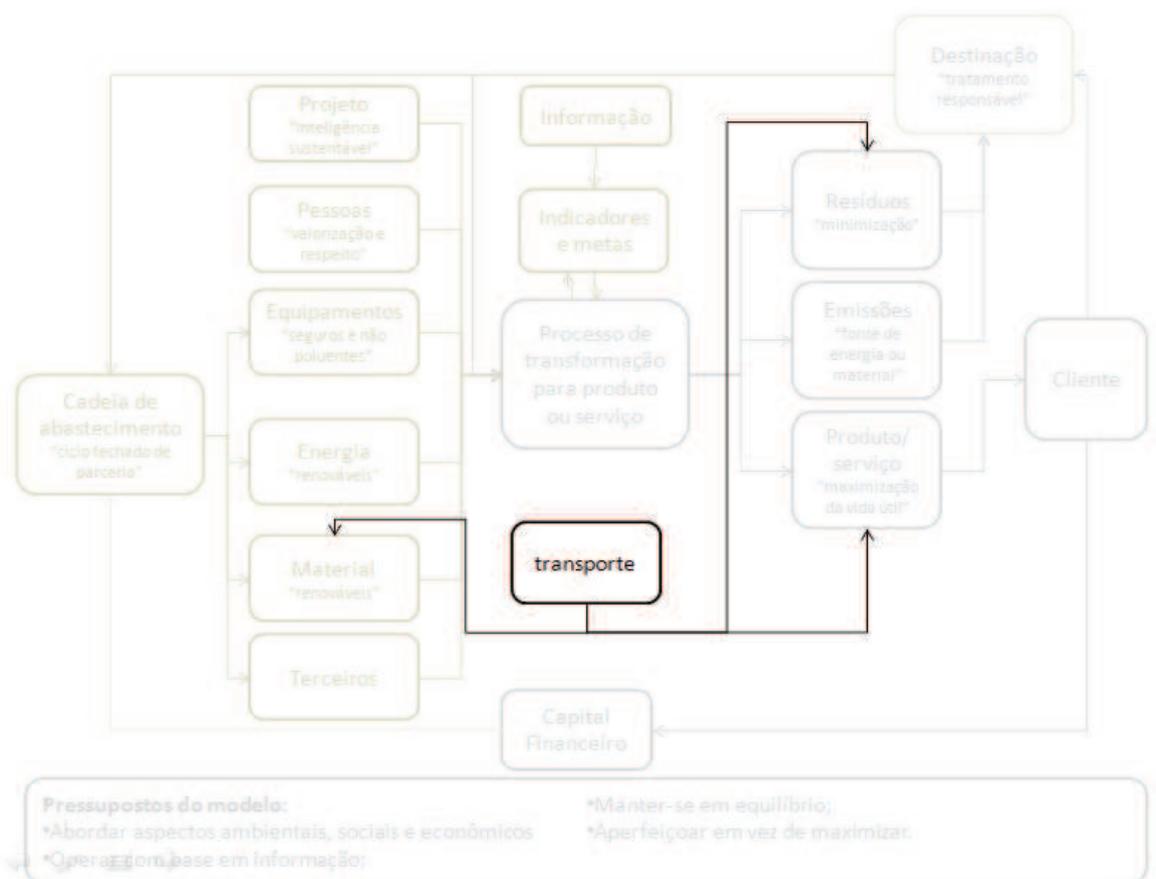
Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O transporte não é limitado a itens fisicamente colocados no modelo. Apesar de ser representado graficamente no modelo sendo ligado a material, produto e resíduo, a transferência de dados, por exemplo, também é contemplada pelo constructo. Novamente a

busca contínua pela eficiência é maximizada para que o menor volume de desperdício seja gerado. Modelos tradicionais utilizam transporte sem a preocupação com sua eficiência, estes são considerados simplesmente mais uma atividade dentro da operação. Rotas, tipos de transporte e a própria eficiência do processo são deixados de lado, preteridos em função da atividade fim e tendo os custos simplesmente colocados no produto/processo.

- j) transporte: move/transfere os produtos/serviços da empresa, em nível máximo de eficiência, dentro da fábrica, de uma fábrica para outra, de fornecedores e para clientes;

Figura 16 – Corte D no Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Em seguida, apresenta-se ao modelo de operação sustentável biomimético o processo de transformação em produto ou serviço. Esta é a etapa onde a produção ou prestação do serviço é realizada. Não se limita a uma fábrica com máquinas, podendo até mesmo não ter

local de fabricação em caso de uma prestação de serviço. O modelo é amplo para que possa cobrir diferentes formas de transformação sem a pretensão de limitar-se aos mais comuns.

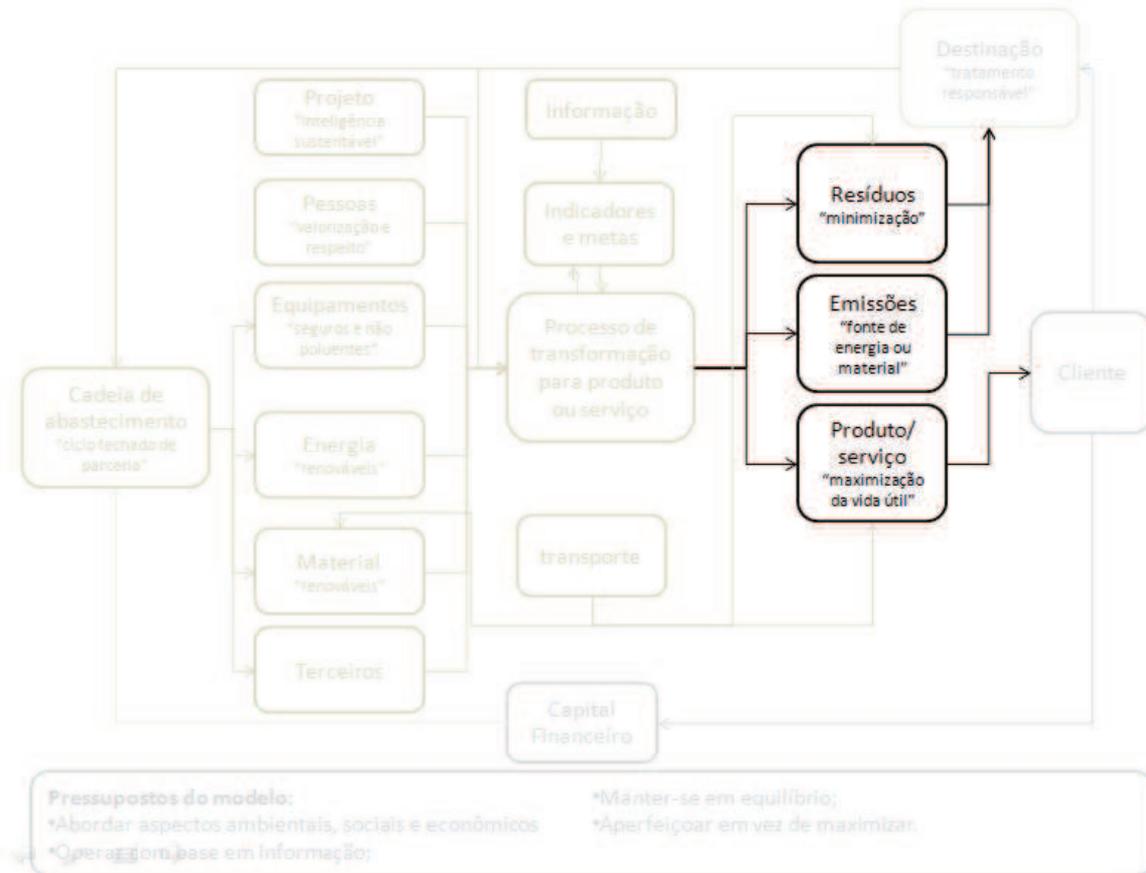
Desta etapa de transformação resultam os produtos ou serviços, aqueles que têm como objetivo satisfazer a necessidade do cliente. O enfoque sustentável e biomimético se dá pelo fato de que o modelo objetiva a maximização da qualidade destes produtos ou serviços. Mais uma vez, intrínseco ao modelo, a ideia de aumentar a vida útil dos produtos e serviços é conectada à redução da utilização de matéria prima virgem. Operações tradicionais, nesta posição preferem lançar produtos com vida útil limitada, induzindo clientes a comprar novos produtos por meio de novos lançamentos ou, até mesmo, limitando o acesso a manutenção dos produtos com elevados custos de manutenção e assistência técnica precária.

- k) produto/serviço: segundo Kleindorfer et al, (2005), trata-se do objeto de satisfação de um cliente. É tudo que tem valor para alguém (KOTLER, 1998). Busca-se o aumento de sua vida útil com a intenção de reduzir o consumo de material para a sua geração;

Entretanto produtos e serviços não são as únicas saídas do processo de transformação. Juntamente com estes, emissões e resíduos são resultantes. As emissões, gases ou líquidos expelidos e os resíduos, considerados materiais sólidos, são presentes. A diferenciação do modelo significa encarar resíduos e emissões não mais como “restos” de um processo e sim como “subprodutos” que podem ser utilizados assim como os produtos ou serviços principais. Um gás pode ser um combustível, um fluido despejado pode ser força motriz, calor pode ser energia. Nos modelos de operação tradicionais esta energia é desperdiçada. Muitas vezes, ainda se paga para que seja descartada. Os conceitos finais, revisados pelos especialistas são:

- l) resíduos: é aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento ou refugo nos processos produtivos ou de suporte aos processos produtivos. Tem sua quantidade e impacto reduzidos ao logo do tempo, sua utilização é feita da forma mais eficiente possível e na maior quantidade possível dentro da própria operação;
- m) emissões: qualquer tipo de emissão de fluido, ou seja, gases e líquidos, podendo ser poluente ou não poluente. Para os poluentes busca-se a eliminação e para os não poluentes, a utilização como energia ou material em nível máximo de eficiência dentro da operação.

Figura 17 – Corte E no Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O cliente recebe o produto ou serviço que deseja, na quantidade e tempo esperados, e fornece o *feedback* para que a operação possa melhorar a cada ciclo. Além disso, por meio do capital financeiro que ele retorna em troca do produto ou serviço é que a operação se sustenta economicamente. Para o Modelo de Operação Sustentável Biomimético o cliente está junto à operação, não necessariamente de forma geográfica, mas na conexão de parceria desta relação cliente e fornecedor. Ele é capaz de fornecer informação para que a operação possa se orientar visando o seu melhor atendimento. O constructo final cliente é apresentado a seguir:

- n) cliente: receptor dos produtos/serviços da operação retorna capital financeiro e em função disso. Atua como sensor de captação de informação de retroalimentação.

O capital financeiro retorna ao modelo para um novo ciclo de utilização. A caracterização deste constructo como um recurso remete o modelo a utilizá-lo com a maior eficiência possível. Gastos devem ser planejados de modo que os desperdícios sejam evitados.

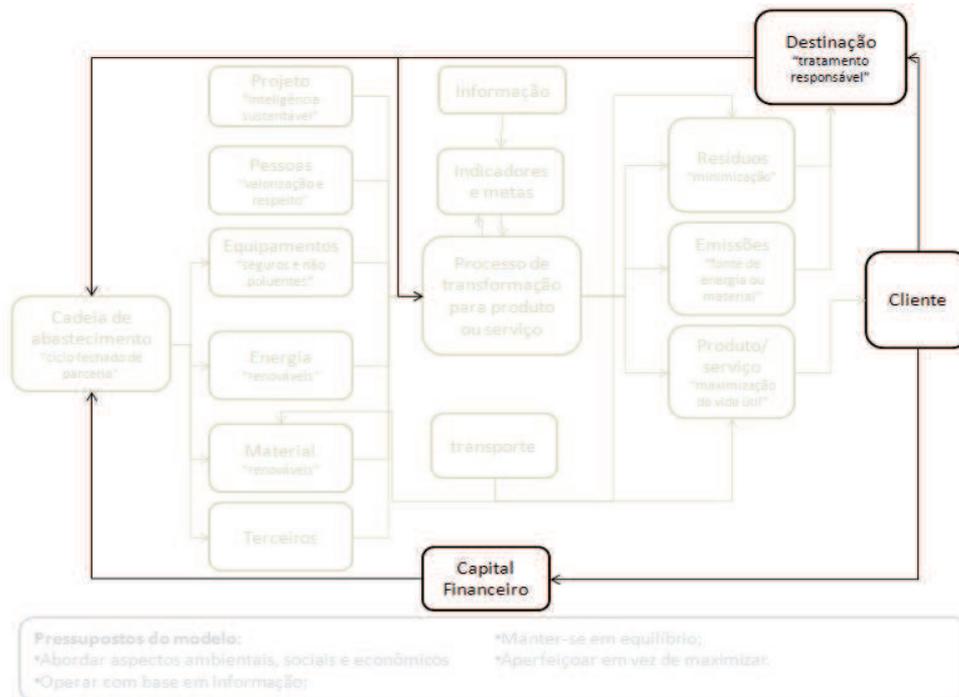
Neste ponto a busca pela sobrevivência a longo prazo é mais importante que a maximização do faturamento. Ser economicamente viável pode significar manter faturamento estável e aumentar lucro de forma lenta e estável por meio da redução dos desperdícios. Definitivamente fazer a operação crescer em volume de vendas não é uma prioridade. Em vez disso, sustentar-se em longo prazo certamente está entre as metas deste tipo de operação. Por este motivo explorar recursos que não são renováveis, praticar relações comerciais onde quem ganha é sempre a própria operação e nunca os fornecedores, tratar funcionários como mão de obra sem utilizar sua inteligência, entre outras ações deste tipo não são praticadas no Modelo de Operação Sustentável Biomimético. Como resultado do grupo focal, o constructo capital financeiro é:

- o) capital financeiro: é o valor financeiro que circula no modelo. Tem raciocínio de longo prazo e nível máximo de eficiência nas decisões que envolvem sua utilização, justificando o zelo pela sustentação da existência da empresa;

A destinação tem um papel importante no modelo. As entradas, originadas de resíduos, emissões e também dos clientes, têm utilização maximizada no modelo de operação sustentável biomimético. O *upcycling*, caracterizado pela utilização do resíduo ou emissão sem a necessidade de aplicação de energia adicional é sempre a primeira opção. Em modelos tradicionais a destinação é essencialmente responsável, isto é, existe a preocupação em não agredir a natureza. No Modelo de Operação Sustentável Biomimético o descarte é uma opção, entretanto a proposta principal é que a destinação seja um novo uso e não um “descarte consciente”.

- p) destinação: é a forma de tratar, prioritariamente dentro da operação, o que não foi aproveitado no produto/serviço ou mesmo durante o processo de transformação de maneira responsável. Pode-se classificar em: a) descarte: disposto em local e em condições não agressivas ao meio ambiente e comunidade; b) reutilização: diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010); c) reciclagem: processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima com a finalidade de diminuir a quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011) d) *Upcycling*: utilização direta de algo que é classificado primeiramente como resíduo ou emissão como matéria prima, insumo ou mesmo um novo produto;

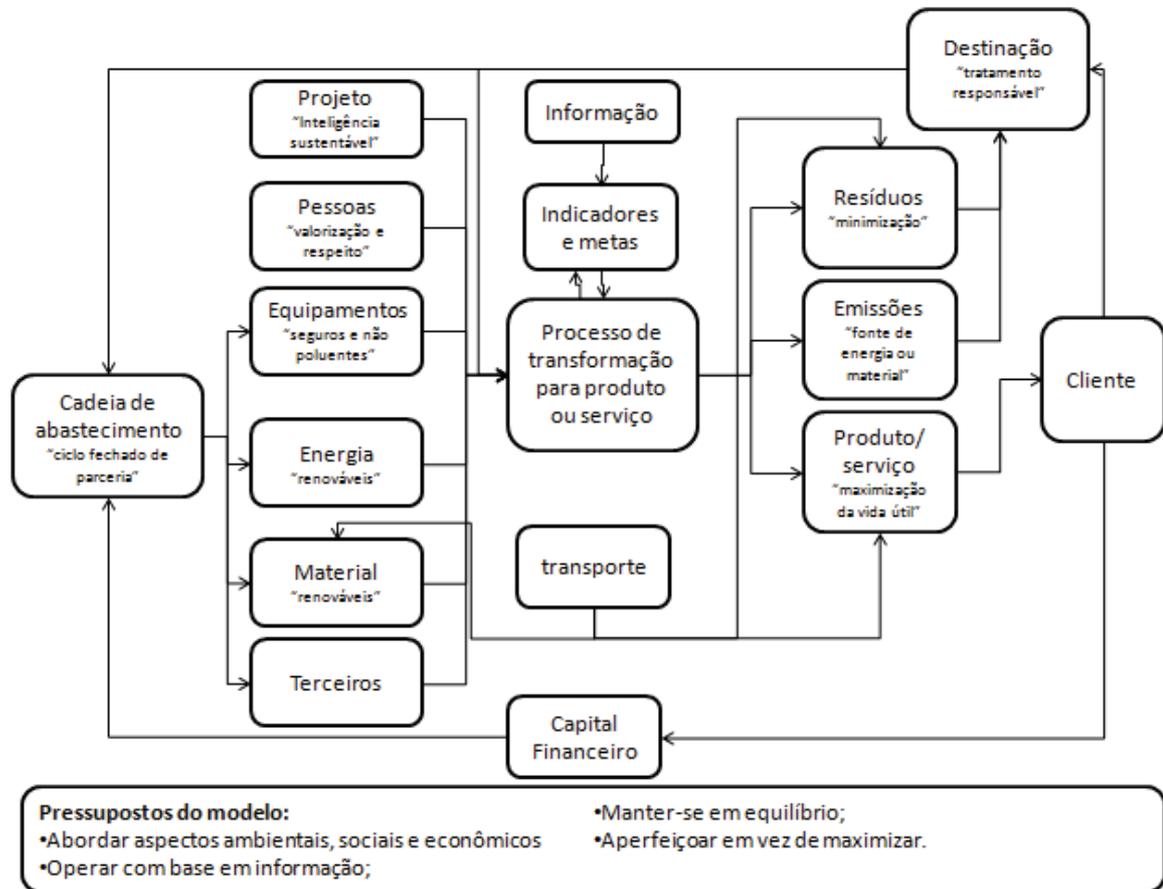
Figura 18 – Corte F no Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O modelo final é representado como na Figura 19. Seus pressupostos combinam a característica principal de modelos sustentáveis de considerar aspectos ambientais, econômicos e sociais com os três princípios dos modelos naturais maduros do tipo III: i) Operar com base em informação; ii) Manter-se em equilíbrio; iii) Aperfeiçoar em vez de maximizar. Assim a convergência proporcionada pela fusão de modelos já considerados sustentáveis à Biomimética pode agregar valor às operações.

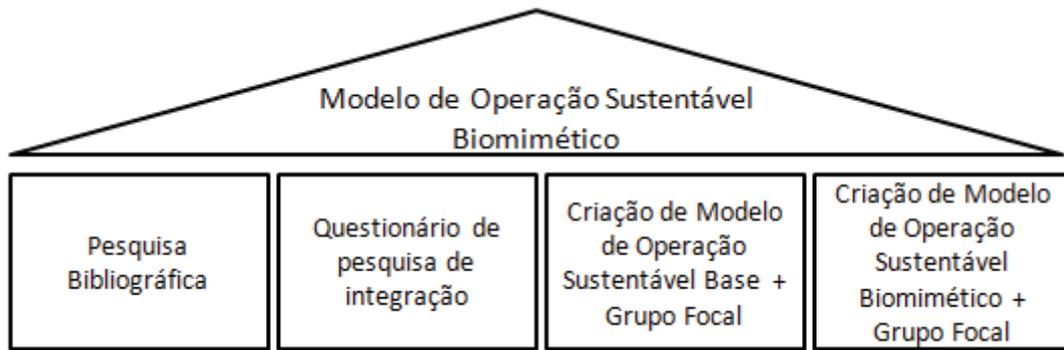
Figura 19 – Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De forma resumida a proposta de Modelo de Operação Sustentável Biomimético foi construída por meio de atividades de pesquisa bibliográfica, avaliações de especialistas por meio de um questionário e dois grupos focais. Estes pontos são representados na Figura 20 e formam o alicerce de sustentação do artefato proposto. A pesquisa bibliográfica trouxe sustentação teórica para a criação do modelo proposto. O questionário foi o instrumento criado para a realização da verificação da integração entre os assuntos biomimética e operação sustentável. Por fim o Modelo de Operação Sustentável Base, gerado para consolidar o ponto de vista de diversos autores e fortalecido em um grupo focal e o próprio Modelo de Operação Sustentável Biomimético, com seus constructos também fortalecidos em um grupo focal.

Figura 20 – Embasamento do Modelo de Operação Sustentável Biomimético



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo abarca as considerações finais sobre a pesquisa, bem como as suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA

Para o atendimento do objetivo geral da pesquisa, fez-se necessária a criação de um instrumento de pesquisa com a intenção de avaliar o nível de integração entre os modelos sustentáveis atuais e a Biomimética. Este objetivo específico, como demonstrado na seção 4.2, foi desenvolvido. Permitiu priorizar o princípio dos sistemas naturais maduros utilizados como agregadores de valor ao Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética e mostrou que os assuntos Operações Sustentáveis e Biomimética não são totalmente desconexos, nenhum princípio apresentou “zero” como nível de integração assim como nenhum “dez” foi resultante do questionário, indicando uma parcela de contribuição da Biomimética que foi percebida e utilizada no modelo final, exposto na seção 4.5.

No seguimento do trabalho, o segundo objetivo específico de criar um Modelo de Operação Sustentável Base foi executado e demonstrado na seção 4.1. Percebe-se a existência de modelos sustentáveis como descritos na seção 3.1, entretanto a pesquisa na base de dados ilustrou que em dez autores, o ponto de vista sobre operações sustentáveis é diferente. O que um autor cobre em sua obra, outro pode não contemplar. Isso foi exposto no Quadro 6 e revisado por um grupo de especialistas.

O terceiro objetivo específico necessário para o desenvolvimento do trabalho tem sua explanação na seção 4.3. Elementos que contribuíssem para que o Modelo de Operação Sustentável Base se tornasse um Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética foram buscados na base de dados, expostos na Tabela 2. A busca demonstrou a aplicação dos princípios a artigos relacionados, porém a maior incidência de aplicação permaneceu em produtos e não a processos ou operações, confirmando o que foi descrito na introdução deste trabalho e valorizando o artefato entregue como uma contribuição para a Biomimética no que tange a aplicações em modelos de operação.

A proposta principal desta pesquisa foi a criação de um modelo teórico de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética. Por meio da seção 4.5, o desenvolvimento deste

objetivo foi descrito em sua fase final, apresentando o modelo na forma esquemática e os constructos que apoiam a sua definição. A apresentação dos elementos constituintes, como explicitado na questão de pesquisa com a pergunta “quais deveriam ser os elementos constituintes de um modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética?” também é atendida com a relação e as definições de cada constructo, devidamente validado com um grupo de especialistas.

Além disso, o Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética constitui o artefato proposto pelo método de pesquisa. Da sua avaliação, por meio de um questionário de integração entre Modelos de Operação Sustentáveis e Biomimética e duas reuniões de *focus group*, resultaram ajustes que reforçaram o entendimento dos especialistas sobre a eficácia do modelo, atendendo a premissa de avaliação do artefato da *Design Science Research*.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Mesmo que o trabalho tenha sido norteado pelos respectivos objetivos, do ponto de vista do pesquisador algumas limitações precisam ser descritas.

No que se refere ao meio utilizado para o levantamento da aderência entre Modelos de Operação Sustentáveis e Biomimética, o questionário aplicado fez-se uso dos que eram de conhecimento dos próprios entrevistados e não do Modelo de Operação Sustentável Base. Fato este ocorrido devido à criação do Modelo de Operação Sustentável Base ter sido feita após o envio da pesquisa, o que não invalida os resultados obtidos, uma vez que a pesquisa apenas priorizou os princípios a serem utilizados para aprimorar o modelo.

Ainda tratando-se do questionário aplicado, a taxa de retorno foi de 25%. Baixas taxas de retorno são comuns quando questionários de pesquisa são aplicados, porém entende-se que quanto maior o retorno, maior robustez a pesquisa pode alcançar. As avaliações do grupo de especialistas suprimiu esta possível fragilidade da pesquisa.

No que tange ao grupo de especialistas, é evidente que a base de conhecimento dos integrantes encontra-se nas ciências exatas, o que poderia enfraquecer a análise do ponto de vista da sustentabilidade e Biomimética. Este ponto foi observado e tratado com a inserção de

especialistas que, apesar de formação em ciências exatas, possuem experiência profissional ou acadêmica em áreas de meio ambiente ou mesmo sustentabilidade.

Quanto aos autores que foram apresentados na tabela que gerou o Modelo de Operação Sustentável Base, existe uma limitação frente a outros possíveis autores não contidos na tabela. Preferiu-se a fidelidade ao método, que consistia em avaliar as palavras chave para o tema e não autores conhecidos.

Quanto ao processo de avaliação do artefato final é preciso formalizar a limitação de que apenas a criação do mesmo foi realizada com o grupo focal, portanto em sua forma final como apresentado na Figura 19, o artefato não foi validado, justificando a sugestão de que esta etapa seja realizada em um trabalho futuro.

Dito isso, cabe salientar que a contribuição deste trabalho permanece válida na criação do Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética, objetivo principal. Todas as limitações referem-se a passos intermediários a esta contribuição e foram tratados de forma que seus impactos ao artefato final foram minimizados.

5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que a continuidade deste trabalho seja feita por meio das proposições abaixo.

Primeiramente a aplicação prática do Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética pode contribuir para o avanço da definição e avaliação dos seus constructos e a relação entre eles. Na aplicação prática, pode-se ainda sugerir a extensão para uma cadeia de suprimentos onde a ampliação da aplicação poderá trazer novos pontos de vista, agregadores à proposta inicial.

O aprimoramento do modelo proposto também poderá ser realizado com um trabalho dedicado à ampliação da utilização dos princípios dos modelos naturais do tipo III da Biomimética. Este trabalho utilizou três dos dez princípios e os outros poderiam ser utilizados em um novo trabalho.

Ao longo da realização, perceberam-se alguns pontos de sobreposição entre os princípios naturais do tipo III entre si. Um exemplo pôde ser observado ao se estudar o

princípio Preservação dos recursos naturais e o princípio ‘Não sujar a própria morada’, muitas vezes tornam-se extremamente similares e esta característica poderia ser explorada em aplicações práticas envolvendo o artefato proposto.

Potencializando a aplicação do artefato proposto neste trabalho, uma sugestão de continuação da pesquisa é a geração de um método de transição de um modelo de operação tradicional, ou mesmo sustentável, para o Modelo de Operação Sustentável sob a Ótica da Biomimética.

REFERÊNCIAS

- A. GEORGES; ROMME, L. **Making a difference**: Organization as design. *Organization Science*, v. 14, 2003.
- AKEN, J. E. V. **Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences**: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. March, 2004.
- ALCALAY, J. A.; BUFFA, E S. A PROPOSAL FOR A GENERAL MODEL OF A PRODUCTION SYSTEM. **International Journal of Production Research**, 1963.
- ALMEIDA, F. **Experiências empresariais em sustentabilidade**. Avanços, dificuldades e motivações de gestores e empresas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- ANDERSON, R. C. **Lições de um empresário radical**. 9. ed. São Paulo: Cultrix, 2011.
- ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; BORTOLOTTI, P.; KLIPPEL, M.; PELLEGRIN, I. DE. **Sistemas de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ARCHITECTURE Learning from Termites How to Create Sustainable Buildings. Disponível em < <http://biomimicry.net/about/biomimicry/case-examples/architecture/>> Acesso em: 30 set. 2012
- ASIMOV, I. Cycles. **The Saturday Evening Post**, 1979.
- BECERIK-GERBER, B.; ASCE, A. M.; KENSEK, K. Building Information Modeling in Architecture , Engineering , and Construction : Emerging Research Directions and Trends. **Journal Of Professional Issues In Engineering Education And Practice**, n. July, 2010.
- BENYUS, J. M. **Biomimética**. 12. ed. São Paulo, 2006.
- BEQUETTE, F. WASTE-FREE MANUFACTURING--FEASIBLE GOAL OR WILD GOOSE CHASE? **Academic Search Complete**, v. 49, 1996.
- BERGMILLER, G.; MCCRIGHT, P. R.; WEISENBORN, G. Lean and sustainability programs: Evidence of operational synergy for lean manufacturers and logical growth toward sustainability. **Review Business Research**, v. 11, n. 5, p. 58-69, 2011.
- BIDDLE, I. Operations Management For A Sustainable Future. **Busidate**, p. 2-6, 2011.
- BIOINSPIRED adhesive tape Disponível em < <http://www.asknature.org/product/2dbddc320a256b0c84fb3ef7b9131e1d>> Acesso em: 30 set. 2012
- BOLUDA, J. A.; ZUCCARELLO, P.; PARDO, F.; VEGARA, F.; ESTELL, V. A. Selective Change Driven Imaging: A Biomimetic Visual Sensing Strategy. **sensor**, p. 11000-11020, 2011.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **The craft research**. 3. ed. Chigago: Chigago Press, 2008.

BORCHARDT, M.; SELLITTO, M. A.; PEREIRA, G. M. Adopting Ecodesign Practices : Case Study of a Midsized Automotive Supplier. **Environmental Quality Management**, p. 7-22, 2009.

CARVALHO, EUGENIA MARIA DE FARIA. **Conceito de Capital**. Postado em: out. 2010 no Blog Economia & Gestão. Disponível em: <http://ecogest.blogspot.com.br/2008/03/conceito-de-capital.html>. Acesso em: 19 jun. 2013

CLAUDIO, H.; PIMENTA, D.; PEREIRA, R. A produção mais limpa como ferramenta da sustentabilidade empresarial : um estudo no estado do Rio Grande do Norte. **Produção**, v. 22, p. 462-476, 2012.

DAVIS, MARK M.; AQUILANO, NICHOLAS J.; CHASE, RICHARD B.; **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre: Artmed, 1999

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DESERPA, A. C.; FUNG, K. K. LIMITS TO GROWTH THROUGH FUNGTIONAL. **Social Science Quarterly**, v. 59, n. 2, 1978.

DIAS, MARCO ANTONIO; MACHADO, EDUARDO LUIS. **Princípios do Equador: Sustentabilidade e impactos na conduta ambiental dos bancos signatários brasileiros**. Postado em: ago. 2011 no Blog Engenharia da Qualidade. Disponível em: <http://engenhariadaqualidade.blog.com/files/2011/08/Artigo-sobre-Princ%C3%ADpio-do-Ecuador.pdf>. Acesso em:18 jun. 2013

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**, 2013.

ENERGY Learning from Humpback Whales How to Create Efficient Wind Power. Disponível em < <http://biomimicry.net/about/biomimicry/case-examples/energy/>> Acesso em: 30 set. 2012

FLORINA-CRISTINA, F.; HABTOM, M.; DEAKY, M. V. Method for Optimization Production Systems by Computer Aided Modeling and Simulation. **Journal of Electrical and Eletronics Engineering**, v. 5, 2012.

FREITAS, H. M. R.; OLIVEIRA, M. Focus group - pesquisa qualitativa: resgatando a teoria, instrumentalizando o seu planejamento. **Revista Produção**, v. 33, 1998.

GRIFFIN, R. K.; BALDWIN, D.; SUMICHRAS, R. T. Self-Management Information System for the Service Industry: A Conceptual Model. **Journal of Management Information System**, v. 10, n. 4, p. 111-133, 1994.

GROOVES gather water: thorny devil. Disponível em

<<http://www.asknature.org/strategy/3f47ec0d4343c94f82e19e103ac20c34>> Acesso em: 30 set. 2012

GRÜTER, C.; CZACZKES, T. J.; RATNIEKS, F. L. W. Decision making in ant foragers (*Lasius niger*) facing conflicting private and social information. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 141-148, 20 jul 2010.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. **Capitalismo Natural**. 13. ed. São Paulo: Pensamento Cultrix, 2010.

JIA, W.; CHEN, X.; HUANG, Q. *et al.* Reptile-Inspired Biomimetic Modeling Control Actuated by Behaviors. **Advanced Robotics**, v. 23, n. 7-8, p. 847-864, jan 2009.

KLEINDORFER, P. R.; SINGHAL, K.; WASSENHOVE, L. N. V. Sustainable Operations Management. **Production and Operations Management Society**, v. 14, n. 4, p. 482-492, 2005.

KOTLER, P. A Generic Concept of Marketing. **Marketing management**, v. 7, 1998.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; ERCK, R. P. G. VAN. Assessing the sustainability performances of industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 4, p. 373-385, mar 2005.

LIU, Y.; PASSINO, K. M. Biomimicry of Social Foraging Bacteria for Distributed Optimization: Models, Principles, and Emergent Behaviors. **Journal Of Optimization Theory And Applications**, v. 115, n. 3, p. 603-628, 2002.

LOGAR, N. Chemistry, Green Chemistry, and the Instrumental Valuation of Sustainability. **Minerva**, v. 49, n. 1, p. 113-136, 20 fev 2011.

MANSON, N. Is operations research really research? **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 1 dez 2006.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. **Léxico Lean**. 2. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

MARTEEL, A. E.; DAVIES, J. A.; OLSON, W. W.; ABRAHAM, M. A. Green Chemistry and Engineering: Drivers, Metrics, and Reduction to Practice. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 401-428, nov 2003.

MATHIEU, P. Zero Emission Technologies: An Option for Climate Change Mitigation. **International Journal of Green Energy**, v. 2, n. 2, p. 193-199, abr 2005.

MAZUR, L.; MILES, L. **Conversas com os mestres da sustentabilidade**. São Paulo: Editora Gente, 2010.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MOORE, S. B.; MANRING, S. L. Strategy development in small and medium sized enterprises for sustainability and increased value creation. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 2, p. 276-282, jan 2009.

MULHOLLAND, K. L. **Identification of cleaner production improvement opportunities**. Hoboken: American Institute of Chemical Engineers, 2006.

MULLER, M. A. **Avaliação da percepção do grau de sinergia empresarial em organizações constituídas de multiunidades de negócio**. [S.l.]: UNISINOS, 2011.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Bookman, 1997.

PAULI, G. **Emissão Zero**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.

PAULI, G. Upsizing - **Como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar poluição**. 3ª ed. Porto Alegre: Fundação ZERI Brasil, 2001.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso**. [S.l.]: Universidade de São Paulo, 2003.

RAVICHANDRAN, S. Implementation of Green Chemistry Principles into practice. v. 3, n. 3, p. 1046-1049, 2011.

REISMANTT, A.; BUFFA, ELWOOD S. A GENERAL MODEL FOR PRODUCTION AND OPERATIONS SYSTEMS *. **Management Science**, v. 11, n. 1, p. 64-80, 1964.

ROMM, J. J. **Um passo além da qualidade, como aumentar seus lucros e produtividade através de uma administração ecológica**. São Paulo: Futura, 1996.

SAVITZ, A. W. **A empresa sustentável**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SETTE, T. C. C. **Desenvolvimento de uma proposta de indicadores para avaliação do desempenho ambiental dos processos produtivos industriais sob a ótica da Biomimética**. [S.l.]: UNISINOS, 2010.

SIVAKUMAR, N.; BALASUBRAMANYA, A.; SUNDARESAN, C. N. Sustainable Supply Chain Excellence : A Biomimetic Perspective. **UIP Journal of Supply Chain Management**, v. 9, p. 21-40, 2012.

SLACK, N. D. C. **Focus on Flexibility**. **International Handbook of Production & Operations Management**, 1989.

TAUB, F. B. Closed Ecological Systems. **University of Washington**, 1974.

TEN inspirational and creative bionic designs. Disponível em:

<<http://www.yankodesign.com/2009/06/03/ten-inspirational-and-creative-bionic-designs/>>.

Acesso em: 30 set. 2012

TRANSPORTATION Learning Efficiency from Kingfishers. Disponível em <
<http://biomimicry.net/about/biomimicry/case-examples/transportation/>> Acesso em: 30 set.
2012

TRULLEN, J.; BARTUNEK, J. M. What a Design Approach Offers to Organization Development. **The Journal of Applied Behavioral Science**, v. 43, n. 1, p. 23-40, 1 mar 2007.

VENZKE, C. S. **A situação do Ecodesign em empresas moveleiras da região de Bento Gonçalves, RS**: Análise da postura e das práticas ambientais. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

VIEIRA, A. S. A contribuição do design “ verde ”: um estudo de caso da empresa Wöllner The contribution of ecological design : the case study of Wöllner. **Revista de design Inovação e gestão estratégica**, v. 2, 2011.

WERBACH, A. **Estratégia para sustentabilidade**. Uma nova forma de planejar sua estratégia empresarial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

WHEELWRIGHT, S. C. Manufacturing Strategy: Defining the missing link. **Strategic Management Journal**, v. 5, 1984.

YI, D. W.; KIM, S. H.; CHOI, H. R.; PARK, N.-K.; LEE, T.-W. Developing a conceptual model for sharing container terminal resources: a case study of the Gamman container terminal. **Maritime Policy & Management**, v. 27, n. 2, p. 155-167, abr 2000.

YOUSON, M. When is a car not a car? When it ’ s a fish discovers Matt Youson as he enjoys something of the life aquatic over at DaimlerChrysler. **Interiormotives**, n. october, 2005.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE INTEGRAÇÃO ENTRE BIOMIMÉTICA E OPERAÇÕES SUSTENTÁVEIS

Roteiro de entrevista - Levantamento de campo sobre a adoção de conceitos de Biomimética em Operações sustentáveis visando investigar a validade de uma proposta com este fim.

Olá, meu nome é Maykel Royer, mestrando do Curso de Engenharia de Produção da UNISINOS (Universidade do Vale do Rio dos Sinos) localizada em São Leopoldo/ RS, no Brasil. Estou realizando uma pesquisa que visa investigar a oportunidade de integração entre os temas Biomimética e Modelos de Operação Sustentável (MOS).

A questão de pesquisa tem como objetivo identificar quais são as características de um modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética. A hipótese formada é que Modelo de Operação Sustentável, explicado como o conjunto de estratégias de alinhamento de uma empresa para manter o equilíbrio ambiental, econômico e social, pode ser aprimorado com a utilização dos dez princípios dos sistemas naturais maduros tipo III, descritos em “Biomimética”, livro de Janine Benyus (2006). Alguns exemplos de modelos de operação sustentáveis são Manufatura Enxuta, Produção mais limpa, logística reversa e Ecodesign são discutidos em detalhes na pesquisa, porém não se limite a eles para preencher este questionário. Já a Biomimética estuda modelos da natureza como forma de inspiração para a solução de problemas humanos. A premissa adotada é que a natureza, após 3,8 bilhões de anos de evolução, aprendeu e mantém apenas o que funciona. Desta forma, valorizando a natureza, deveríamos mudar o foco de “o que extrair” da natureza para “o que aprender” com ela. O caso do perfil de uma hélice em uma usina eólica, inspirada na nadadeira de uma baleia para reduzir atrito é um exemplo de aplicação.

Cada um dos princípios será detalhado junto à pergunta, facilitando a compreensão quanto ao tema, assim será necessário menos tempo para participar da pesquisa.

Suas justificativas deverão estar suportadas por características, pressupostos ou métodos dos modelos teóricos que você conhece e não necessariamente em experiências empresariais. Assim os dados auxiliarão a identificar possíveis lacunas na teoria de Modelos de Operação Sustentáveis potencialmente melhoradas pela Biomimética.

Você foi selecionado para responder este questionário por ter publicações acerca dos temas envolvidos. Os resultados intermediários e finais poderão ser encaminhados para o seu e-mail, caso você sinalize o interesse. São perguntas simples e, portanto, não levará muito tempo para responder.

Também é importante ressaltar que seus dados pessoais não serão expostos na pesquisa. A confidencialidade dos dados será de tal forma que de maneira alguma você poderá ser identificado pelo leitor da pesquisa.

Informações sobre o entrevistado:

Nome:

Formação Acadêmica:

Atividade que executa:

E-mail:

Fone:

Outros contatos:

A) QUESTÕES GERAIS:

1. Qual a motivação das empresas para adotarem modelo de operação sustentável?

2. Quais os métodos /ferramentas/técnicas que as empresas usualmente utilizam para a aplicação de modelo de operação sustentável?

B) QUESTÕES ESPECÍFICAS:

A seguir será apresentado cada um dos dez princípios biomiméticos dos sistemas maduros tipo III. Sua atividade consiste em avaliar a aderência dos modelos de operação sustentáveis a cada um deles por meio de uma escala de avaliação que inicia em zero, representado nenhuma aderência, até 10, onde a aderência é total em sua opinião.

Uso de resíduos como recursos: Sistemas maduros utilizam resíduos como recursos na medida em que se tornam auto suficientes. O conceito por trás deste princípio faz referência a sobrevivência, uma vez que qualquer sistema que aumenta mais e mais a sua biomassa, sem reutilizar seus resíduos, provavelmente esgotará tudo ao seu redor, gerando o seu próprio fim. Conjuntos de empresas reunidas em um ecoparque industrial, organizadas como uma cadeia alimentar fabril, com o lixo de uma empresa sendo repassado para outra na forma de matéria prima é um exemplo de aplicação prática.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Diversificação e cooperação para uso completo do habitat: Este princípio trata da fluidez do processo produtivo, onde além do produto principal, os subprodutos resultantes tem a mesma importância, inclusive econômica. Na natureza, nenhuma migalha é desperdiçada e esta interação entre as espécies gera uma estabilidade para os sistemas maduros. No mundo empresarial a descoberta de novos nichos, aumentando receitas e utilizando subprodutos antes descartados é um caminho a ser seguido.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Captação e consumo eficiente de energia: Faz referência a captação e utilização da energia solar, utilizada como combustível na maioria dos processos naturais. A energia solar é primeiramente utilizada pelas plantas, através da fotossíntese, e a eficiência na sua utilização chega a 95%. Além disso, o caso dos animais que fazem uso do que sobra da energia solar utilizada pelas plantas, é exemplar quanto a eficiência na utilização e é isso que os faz percorrer o menor percurso possível para obter o que precisam. Em empresas a melhoria da eficiência energética tem sido perseguida com a utilização da energia solar, eólica, hidráulica ou ainda com a melhoria das atuais, como lâmpadas compactas ou paredes isolantes térmicas.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Aperfeiçoar ao invés de maximizar: Uma planta de época, que cresce, gera o seu fruto e morre não é um sistema maduro pois investe toda a sua energia para gerar o fruto, não se preocupando na permanência de sua espécie. Por outro lado, sistemas maduros crescem com rapidez e, ao atingir certo nível, reduzem essa velocidade, preocupando-se com sua existência. Isto significa que os sistemas maduros reduzem os ciclos, melhorando seus processos ao invés de apenas maximizar a produção. Sobrevivem os que conseguem viver com meios que dispõem. Na indústria isso indica que indústrias mais lucrativas, mesmo que menores, são a tendência no lugar de empresas que apenas ganham mercado com grandes escalas de produção.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Uso parcimonioso de materiais: Adaptação da forma a função e atribuição de mais funções a uma mesma forma. A natureza tem processos criados exatamente para a necessidade, sem excessos, como o exemplo dos favos nas colmeias, feitos com a relação de maior espaço e menor quantidade de material. Na indústria a criação de aparelhos multifuncionais, como impressoras que permitem a realização de cópias e fax corroboram para que a utilização de matéria prima seja reduzida, atribuindo várias funções a um mesmo produto.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Não sujar a própria morada: Este princípio é baseado no fato de que os seres vivos não sujam ou poluem o próprio local onde vivem. As cobras não produzem veneno em excesso, elas produzem somente o que precisam justamente porque sabem que energia em excesso pode ser perigosa, podendo causar seu próprio envenenamento. Nas empresas, iniciativas voltadas a redução dos impactos ambientais gerados, ilustra este princípio.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Não esgotam recursos: Trata-se de não utilizar recursos renováveis, como madeira e fibras naturais, mais rapidamente do que eles podem recompor-se e não utilizar os recursos não renováveis, assim como petróleo, gás e carvão, mais rapidamente do que a capacidade de criarmos substitutos. A reciclagem de recursos não renováveis deveria ser bastante utilizada, mesmo que isso envolva a necessidade de explorar aterros onde por muito tempo depositamos nossos resíduos.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Manter-se em equilíbrio: Tal princípio faz referência a natureza como um sistema fechado, onde todos os tipos de matéria são trocados na biosfera em um nível total

estabilizado em relação a sua quantidade, por exemplo a quantidade de carbono, nitrogênio e enxofre. Busca-se este equilíbrio uma vez que se têm indícios de que a quantidade de dióxido de carbono vem aumentando em torno de 0,4% ao ano. O problema é que nas indústrias, processos são “abertos” e o material é simplesmente transformado em produtos e resíduos. Isso precisa ser alterado para um processo “fechado” onde se pode aproveitar ao máximo todos os recursos.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Operar com base em informação: Este princípio diz respeito a atenção aos sinais da natureza quanto a extrapolação dos limites, do excesso de utilização de recursos além do que pode ser gerado pela própria natureza. Além da atenção aos sinais, as empresas de uma mesma economia deveriam estar conectadas entre si de modo a possuir o conhecimento do que precisam e o que tem para oferecer. No modelo natural não é uma mensagem universal transmitida de cima que obtém sucesso e sim uma quantidade muito grande de mensagens provenientes da base e disseminadas por toda a comunidade.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

Consumo de recursos locais: Refere-se ao baixo deslocamento para encontrar recursos. Pode-se interpretar também este princípio de modo que permanecer consumindo recursos do próprio local onde está estabelecido é uma forma de se tornar

especialista ao redor de onde vive e ainda reduzir o consumo de energia na busca de mais recursos. Nas indústrias, o desenvolvimento de fornecedores locais, mão de obra local, bem como a instalação de operações menores e mais próximas dos centros de consumo colabora com a redução das distâncias e aplicação deste princípio.

Nível de aderência de modelos de operações sustentáveis:

01 02 03 04 05 06 07 08 09 010

Justifique com conceitos, premissas ou métodos em caso de resposta igual ou maior a nível 1.

APÊNDICE B – MATERIAL DE PREPARAÇÃO PARA GRUPO FOCAL 1

Material de apoio para realização do FOCUS GROUP:

O que é um focus group e qual é o seu papel:

Segundo Freitas (1998), o FG (Focus Group) é uma ferramenta para a pesquisa qualitativa que tem sido usada em áreas como gestão, marketing, decisão, sistemas de informação e, principalmente, em ciências sociais. Complementa Freitas (2008) apresentando o objetivo do FG como sendo a obtenção do entendimento dos participantes sobre o tópico de interesse de pesquisa, não importando se for utilizado sozinho ou com outros métodos, nem mesmo se busca questões ou respostas.

Quanto à aplicação em conjunto com outros métodos, Freitas (1998) afirma que o FG pode ser usado como uma pesquisa, fornecendo evidências referentes aos posicionamentos dos respondentes sobre os tópicos em questão.

Neste sentido, você terá o papel de especialista, avaliando a consistência e promovendo sugestões de melhoria no modelo proposto.

O que será tratado durante o evento

Estou realizando uma pesquisa que visa investigar a oportunidade de integração entre os temas Biomimética e Modelos de Operação Sustentável (MOS)

A questão de pesquisa tem como objetivo identificar quais são as características de um modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética e a hipótese formada é que um MOS pode ser aprimorado com a utilização dos dez princípios dos sistemas naturais maduros tipo III, descritos em “Biomimética”, livro de Janine Benyus (2006).

Nesta fase da pesquisa, um MOS base é proposto. A atividade consistirá em questionar esta proposta de forma a torná-la ainda mais robusta conceitualmente. Tal contribuição do focus group será o pilar para a futura agregação de valor, a ser realizada em outra data, que visa a pesquisa com a adição de conceitos biomiméticos ao MOS.

Dados adicionais para a sua pré avaliação:

Projeto					✓		✓			✓
Produto/serviço					✓	✓				✓
Resíduos					✓			✓	✓	✓
Emissões					✓	✓		✓		
Transporte								✓	✓	
Cadeia de abastecimento					✓					
Destinação						✓		✓	✓	

Cada constructo pode ser detalhado como segue:

Pessoas: Para Alcalay e Buffa (1963), este constructo é adotado simplesmente como a carga hora da mão de obra para produzir determinado produto, entretanto Reismantt e Buffa (1964) complementam com a relação de um profissional adequadamente selecionado e no tempo certo para suportar a operação, enquanto Griffin (1994) e Yi *et al* (2000) aprofundam o detalhamento nas divisões da mão de obra nos níveis operacional, tático e estratégico. Com viés sustentável, Kleindorfer *et al*, (2005) cita o termo pessoas, em modelos de operação, com a preocupação nas próximas gerações. Abrange todas as possibilidades de envolvimento do ser humano com o modelo de operação, não se limitando a mão de obra empregada na operacionalização do modelo.

Energia: Move os processos (REISMANTT e BUFFA, 1964; KLEINDORFER *et al*, 2005) e pode ser de diferentes tipos, tais como elétrica, eólica, solar, gerada pela queima de combustível, etc. Alcalay e Buffa (1963) afirmam que este constructo pode ser demonstrado por meio de uma taxa entre a energia utilizada e a produção realizada.

Equipamento: Máquinas e dispositivos utilizados para a transformação do produto ou serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi *et al*, 2000)

Serviço: Para Alcalay e Buffa (1963), denominado de forma mais ampla como qualquer serviço de apoio, com impacto direto para suporte do processo. Reismantt e Buffa (1964), complementam com a característica de ser contratado externamente por falta de algum tipo de capacidade, técnica ou financeira, da empresa

Informação, indicadores e metas: Reismantt e Buffa (1964) caracterizam como o conjunto de dados que flui entre os constructos do modelo. Em adição aos dados, software e hardware utilizados fazem parte deste constructo (YIN *et al*, 2000). Griffin (1994) acrescenta que a informação afeta diretamente o serviço por se tratar de um

componente essencial para a sua realização e para a tomada de decisão por parte da liderança.

Material: Insumo utilizado no processamento (KLEINDORFER et al, 2005). Para o modelo proposto, acrescenta-se o detalhamento de que material pode ser utilizado diretamente no processamento, permanecendo agregado ao produto ou auxiliar ao processo de produção mesmo não permanecendo agregado.

Projeto: Planejamento do produto e suas características (KLEINDORFER et al, 2005).

Produto/Serviço: Segundo Kleindorfer *et al*, (2005), trata-se do objeto de desejo, com ciclo de vida limitado, de um cliente.

Desperdício/Refugo: É aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento nos processos produtivos (KLEINDORFER et al, 2005).

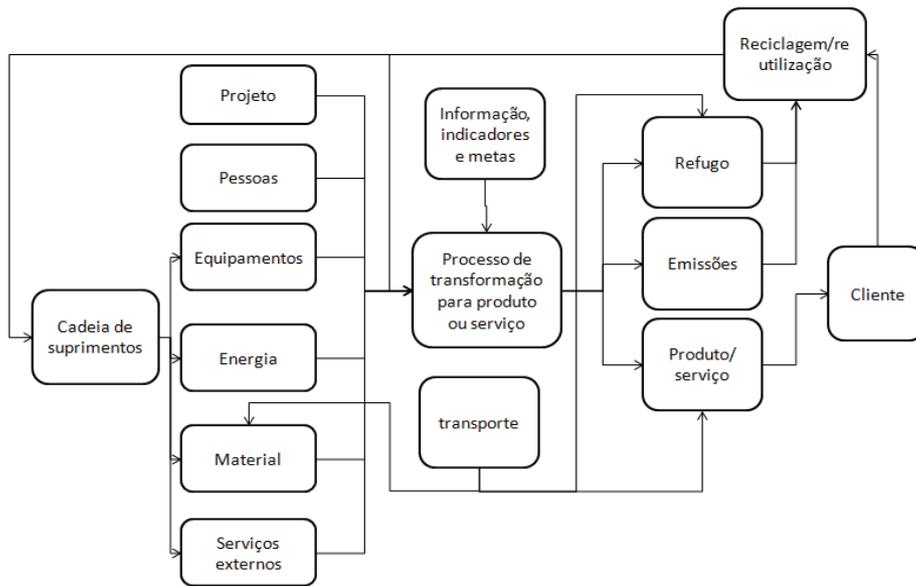
Emissões: Segundo Kleindorfer *et al*, (2005) exemplificados como solventes poluentes. No modelo, ampliado para qualquer tipo de emissão de fluído, ou seja, gases e líquidos.

Transporte: Para Anderson (2011), responsável por mover os produtos da empresa, dentro da fábrica, de uma fábrica para outra e para clientes.

Cadeia de Suprimentos: Conjunto de empresas (fornecedores, produtores, revendedores) que possuem a função de suprir, inclusive utilizando-se de materiais já utilizados anteriormente (KLEINDORFER et al, 2005). No modelo proposto, responsáveis pelo fornecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, bem como a captação de material para reaproveitamento.

Reciclagem/reutilização: A reciclagem é o processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima com a finalidade de diminuir a quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011). Já a reutilização diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010)

O MOS base:



Os constructos são relacionados entre si no modelo seguindo as características dos autores da tabela acima. Basicamente são demonstrados por modelos constructos de “entrada”, de “saída” e “outros”, caracterizando algum tipo de suporte ao processo principal de transformação (BIDDLE, 2011; ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964).

Outros autores apenas citam os constructos, desenvolvendo-os sem a ilustração de um modelo que os relaciona (GRIFFIN, 1994; YI *et al*, 2000; KLEINDORFER, 2005; WERBACH, 2010; HAWKEN *et al*, 2010; ANDERSON, 2011).

No modelo proposto caracteriza os constructos de “entrada” com as caixas onde são apresentadas setas saindo. “Saídas” com as caixas onde as setas estão entrando e, os constructos “outros”, são: o transporte e o sistema de informação.

As perguntas que deveremos responder ao final do evento são:

Os constructos abordados são coerentes e consistentes para a caracterização de um MOS?

Quais os constructos deveriam ser incluídos ou excluídos?

O MOS base apresentado faz sentido frente a sua proposta?

Outras considerações:

APÊNDICE C – MATERIAL DE PREPARAÇÃO PARA GRUPO FOCAL 2

Material de apoio para Focus Group 2

Constructos do modelo de operação sustentável base:

Pessoas: Alcalay e Buffa (1963) definem como a carga hora da mão de obra para produzir determinado produto/serviço ou algum tipo de suporte a operação, para Reismantt e Buffa (1964) adequadamente selecionadas e no tempo certo para suportar a operação.

O impacto das ações envolvendo os funcionários é levado em consideração quando do momento da tomada de decisão pela preocupação com as gerações futuras (KLEINDORFER *et al.*, 2005), valorizando e respeitando as pessoas.

Energia: Transforma os processos (REISMANTT e BUFFA, 1964; KLEINDORFER *et al.*, 2005), podendo ser de diferentes tipos, tais como elétrica, eólica, solar, desde que renováveis.

Equipamento: Máquinas, dispositivos, instrumentos e hardwares utilizados para a transformação ou suporte na realização do produto/prestação do serviço (ALCALAY e BUFFA, 1963; REISMANTT e BUFFA, 1964; Yi *et al.*, 2000), seguros às pessoas e não agressores ao meio ambiente.

Terceiros: Para Alcalay e Buffa (1963), denominado de forma mais ampla como qualquer serviço de apoio, com impacto direto para suporte ao processo. Com a característica de ser contratado externamente por decisão estratégica com base em algum tipo de capacidade técnica ou financeira, que a empresa deseja terceirizar (REISMANTT; BUFFA, ELWOOD S., 1964)

Informação: Reismantt e Buffa (1964) caracterizam como o conjunto de dados processados que flui entre os constructos do modelo.

Indicadores e metas: Afetam diretamente o produto/serviço por se tratar de um componente essencial para a tomada de decisão por parte da liderança (GRIFFIN, 1994)

Material: Matéria prima e insumo utilizado no processamento (KLEINDORFER *et al.*, 2005). Busca-se a maximização da utilização de materiais renováveis e pode ser classificado em: i) agrega valor ao produto, quando o cliente está disposto a pagar e, ii) não agrega valor ao produto: mesmo que o cliente não esteja disposto a pagar, é necessário ao processo de transformação.

Projeto: Planejamento do processo produtivo do produto/serviço, contemplando suas características funcionais (KLEINDORFER *et al.*, 2005). Contempla, desde esta etapa, características como a facilidade de reparo, incentivando a reutilização, assim como materiais não agressores ao meio ambiente de forma inteligente, aumentando a vida útil do produto/serviço.

Cliente: O receptor das saídas do processo, remunerando a operação pelos serviços ou produtos em função de ter suas necessidades atendidas. (BIDDLE, 2011).

Produto/Serviço: Segundo Kleindorfer *et al*, (2005), trata-se do objeto de satisfação de um cliente. É tudo que tem valor para alguém (KOTLER, 1998). Busca-se o aumento de sua vida útil com a intenção de reduzir o consumo de material para a sua geração.

Resíduos: É aquilo que se descarta por motivo de não aproveitamento ou refugo nos processos produtivos ou de suporte aos processos produtivos (KLEINDORFER *et al*, 2005). Tem sua quantidade e impacto reduzido ao longo do tempo.

Emissões: Qualquer tipo de emissão de fluído, ou seja, gases e líquidos, podendo ser poluentes ou não poluentes. Para os poluentes busca-se a eliminação e para os não poluentes, a utilização como energia ou material para outro processo.

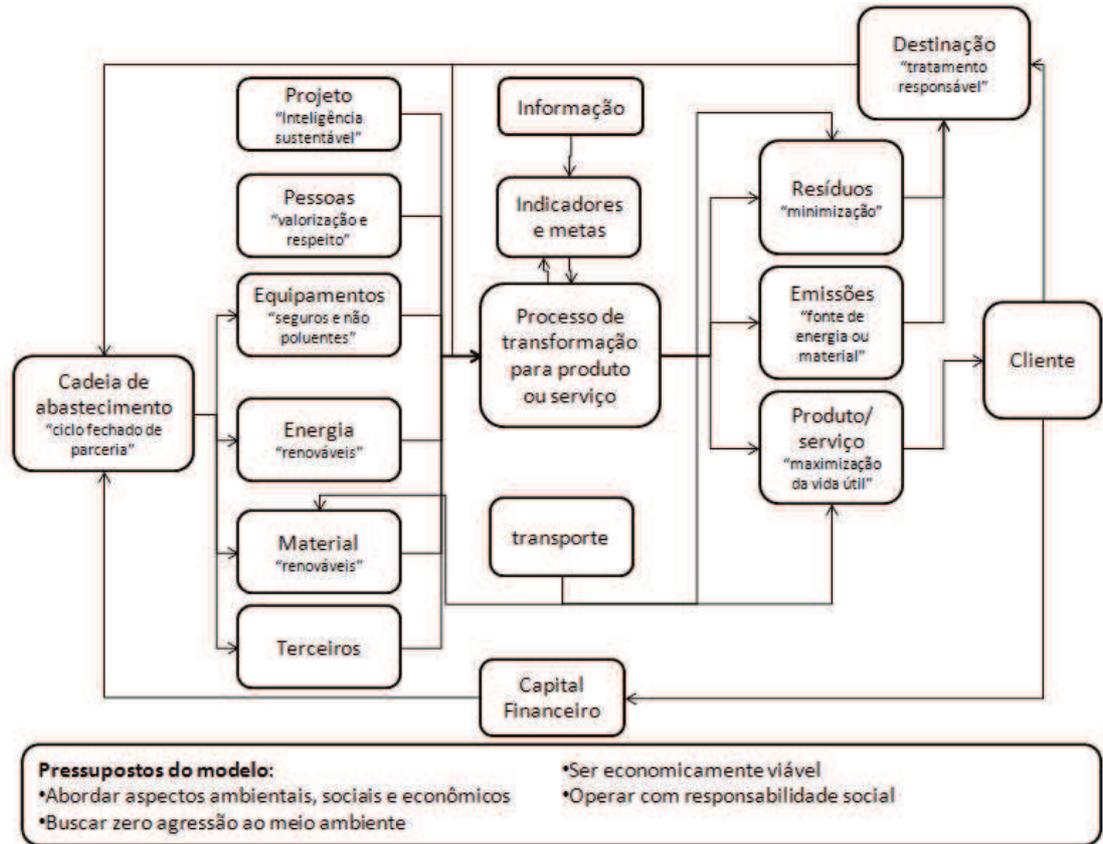
Transporte: Para Anderson (2011), responsável por mover/transferir os produtos/serviços da empresa, dentro da fábrica, de uma fábrica para outra, de fornecedores e para clientes.

Cadeia de Abastecimento: Possuem a função de abastecimento, inclusive utilizando-se de materiais já utilizados anteriormente (KLEINDORFER *et al*, 2005). No modelo proposto, responsáveis pelo fornecimento de equipamentos, energia, material e serviços externos, bem como a captação de material para reaproveitamento em um ciclo fechado de parceria entre empresas.

Destinação: É a forma de tratar o que não foi aproveitado no produto/serviço ou mesmo durante o processo de transformação de maneira responsável. Pode-se classificar em: a) descarte: Disposto em local e em condições não agressivas ao meio ambiente e comunidade; b) reutilização: Diz respeito a produtos que são reparados, voltando ao uso (WERBACH, 2010); c) reciclagem: processo de transformação de um produto no fim de sua vida útil em matéria prima com a finalidade de diminuir a quantidade de matéria prima virgem, reduzir custos e evitar a poluição ambiental (ANDERSON, 2011) d) *Upcycling*: Utilização direta de algo que é classificado primeiramente como resíduo ou emissão como matéria prima, insumo ou mesmo um novo produto.

Capital Financeiro: É o valor financeiro que circula no modelo

Modelo de operação sustentável base:



Princípios dos sistemas naturais tipo III da Biomimética:

Operam com base em informações: Empresas inovadoras e sistemas maduros têm excelentes canais de comunicação e transmitem informação a todos os membros. Ao invés de informações “de cima para baixo”, estas são provenientes da base. As empresas adaptadas a este princípio utilizam sinais, tais como: lucratividade, demanda e consumo dos seus produtos, entre outros para agir proativamente. Funcionam como o termostato de um aquecedor que é acionado quando a temperatura desejada é alcançada, economizando energia (BENYUS, 2006).

Aperfeiçoam, em vez de utilizar ao máximo: Uma planta de época, que cresce, gera o seu fruto e morre não é um sistema maduro pois investe toda a sua energia para gerar o fruto, não se preocupando na permanência de sua espécie. Por outro lado, sistemas maduros crescem com rapidez e, ao atingir certo nível, reduzem essa velocidade, preocupando-se com sua existência. Isto significa que os sistemas maduros reduzem os ciclos, melhorando seus processos ao invés de apenas maximizar a produção. Sobrevivem os que conseguem viver com meios que dispõem. Na indústria isso indica que indústrias mais lucrativas, mesmo que menores, são a

tendência no lugar de empresas que apenas ganham mercado com grandes escalas de produção (BENYUS, 2006).

Não esgotam recursos: Este princípio trata da sobrevivência com os dividendos e não com os lucros. Isso significa não consumir mais do que se pode regenerar os recursos ou controlar o crescimento dos que consomem, como a população. Remete-se a um estilo de vida mais simples reduzindo recursos não renováveis como petróleo, gás, metais, substituindo-os por renováveis como fibras, substâncias químicas derivadas de plantas, de maneira parcimoniosa (BENYUS, 2006).

Pergunta a ser respondida no Focus Group para cada constructo:

O princípio biomimético modifica o constructo? Como ficaria sua descrição?

APÊNDICE D – APRESENTAÇÃO REALIZADA NO GRUPO FOCAL 2

-FOCUS GROUP para revisão do Modelo de operação sustentável sob a ótica da Biomimética MOSBIO

Como parte do método de trabalho da pesquisa:
**“Proposta de desenvolvimento de um modelo de operação
sustentável sob a ótica da biomimética”**

*Mestrando: Maykel Royer
Orientador: Dr. Luis Henrique Rodrigues*

Maio de 2013



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Agenda

- **Bloco 1 - Contextualização da pesquisa: 9:00 as 9:20**

Explicação sobre a pesquisa – 5 min;

Modelo de operação sustentável base – 10 min;

Pesquisa de integração - 5 min.

- **Bloco 2 – Apresentação das contribuições da Biomimética:
09:20 as 11:27**

Apresentação dos 3 princípios biomiméticos aplicado ao MOS base – 15 min;

Preenchimento da Matriz com contribuições do grupo para cada constructo (x16) –
2min

Discussão grupo (x16)– 5 min;

- **Bloco 3 – Contribuições finais e encerramento: 11:27 as
11:47**

Contribuições sobre os MOSBIO completo – 10 min;

Agradecimentos – 10 min.



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Introdução

É uma representação simplificada, um esquema conceitual ou matemático de um fenômeno que fornece uma estrutura idealizada para uma avaliação (FLORINA CRISTINA *et al*, 2012)

Um sistema de produção pode ser visto como um conjunto de componentes cuja função é converter um conjunto de entradas ('inputs') em alguma saída ('output') desejada, por meio do que se chama processo de transformação. (AQUILANO E CHASE, 1990)

Proposta de desenvolvimento de modelo de operação sustentável a luz da biomimética .

Ciência que estuda os modelos da natureza e depois imita-os ou inspira-se neles ou em seus processos para resolver problemas humanos (BENYUS, 2006)

Para a pesquisa, um MOS é a representação simplificada de uma operação que visa o atendimento de uma demanda. Esta representação se dá por meio de componentes/constructos e suas relações, definidas de maneira a contemplar aspectos ambientais, econômicos e sociais.

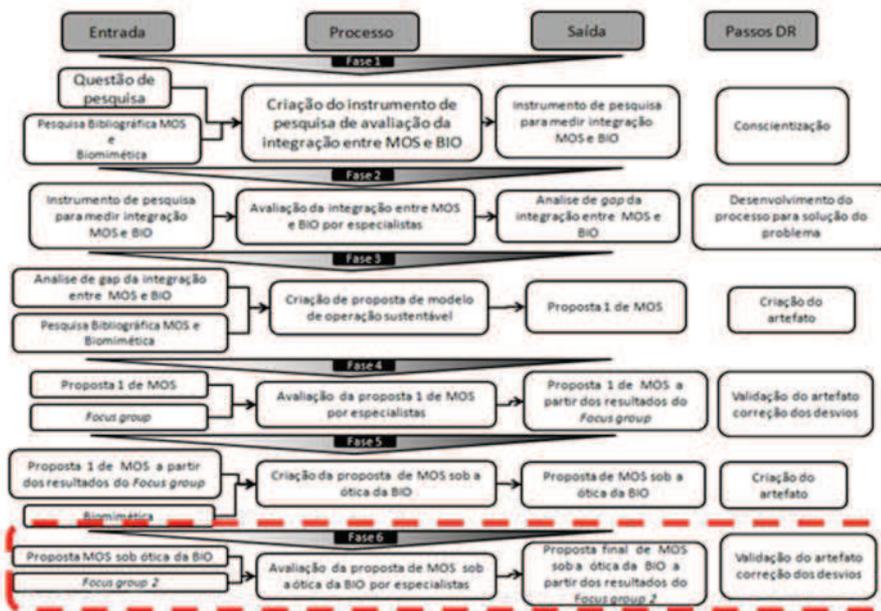


JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades



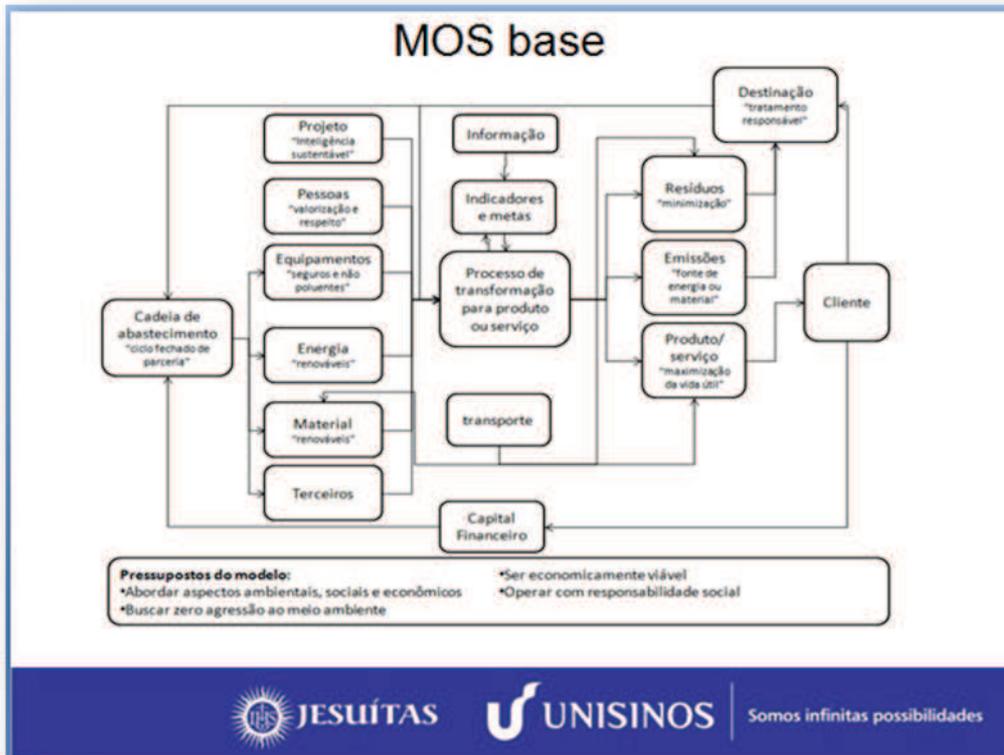
JESUÍTAS



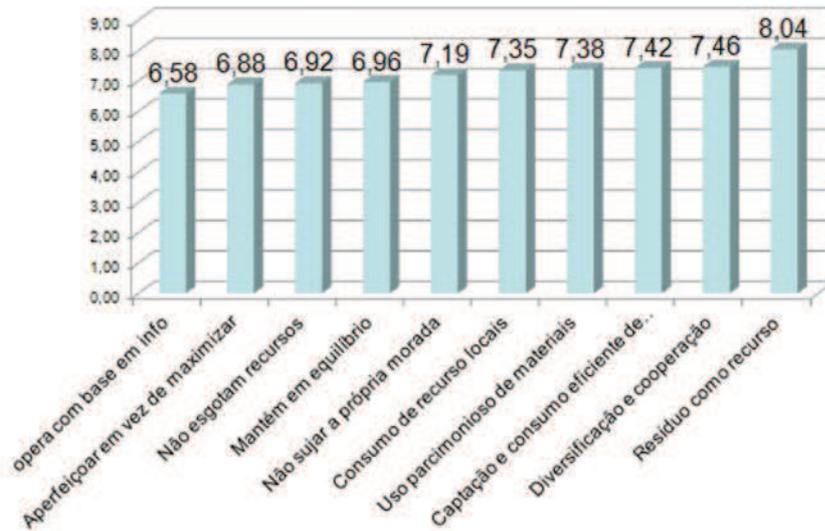
UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

	Alenky e Buffa (1963)	Reinhardt e Buffa (1964)	Griffin (1994)	Yretal (2000)	Klenderfor et al (2005)	Werbach (2010)	Haack et al (2010)	Mazzar e Miles (2010)	Anderson (2011)	Biddle (2011)	Focus Group
Pessoas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Energia	✓	✓						✓	✓		
Equipamento	✓	✓		✓		✓				✓	
Terceiros	✓	✓									
Informação		✓	✓	✓		✓				✓	
Indicadores e metas		✓	✓	✓		✓				✓	
Material		✓			✓		✓			✓	
Cliente									✓	✓	
Projeto					✓		✓			✓	
Produto/serviço					✓	✓				✓	
Resíduos					✓			✓	✓	✓	
Emissões					✓	✓		✓			
Transporte								✓	✓		
Cadeia de abastecimento					✓						
Destinação						✓		✓	✓		
Capital financeiro											✓



Nível de aderência de princípios biomiméticos tipo III aos modelos de operação sustentáveis



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Operam com base em informação: Empresas inovadoras e sistemas maduros têm **excelentes canais de comunicação** e transmitem informação a **todos os membros**. Ao invés de informações “de cima para baixo”, estas são provenientes da base. As empresas adaptadas a este mandamento utilizam sinais, tais como: lucratividade, demanda e consumo dos seus produtos, entre outros para **agir proativamente**. Funcionam como o termostato de um aquecedor que é acionado quando a temperatura desejada é alcançada, economizando energia (BENYUS, 2006).



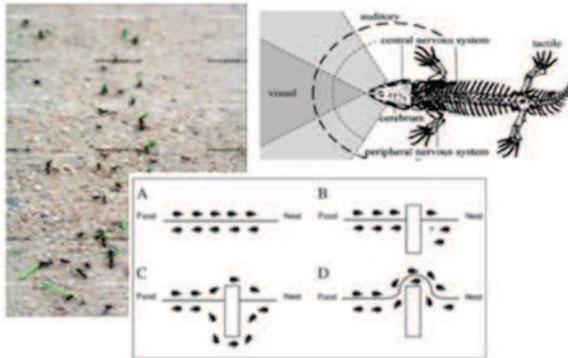
JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Operar com base em informação



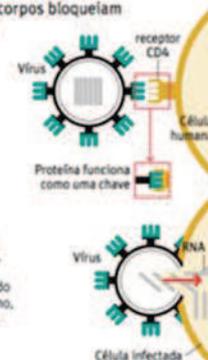
NEUTRALIZANDO O ASSASSINO

Como os novos anticorpos bloqueiam a infecção pelo HIV

COMO O VÍRUS INVADE A CÉLULA

1 O vírus da Aids infecta as células usando proteínas de sua superfície

2 Essas proteínas funcionam como uma "chave" bioquímica, que se encaixa na "fechadura" das células do sistema de defesa humano, o chamado receptor CD4



COMO FUNCIONAM OS ANTICORPOS

Uma proteína da superfície do HIV foi modificada para se fixar nas células, que produzem os anticorpos VRC01 e VRC02



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Aperfeiçoam, em vez de utilizar ao máximo: Uma planta de época, que cresce, gera o seu fruto e morre não é um sistema maduro pois investe toda a sua energia para gerar o fruto, não se preocupando na permanência de sua espécie. Por outro lado, sistemas maduros crescem com rapidez e, ao atingir certo nível, **reduzem** essa **velocidade**, preocupando-se com sua **existência**. Isto significa que os sistemas maduros **reduzem os ciclos, melhorando seus processos em vez de apenas maximizar a produção**. Sobrevivem os que conseguem viver com meios que dispõem. Na indústria isso indica que indústrias mais lucrativas, mesmo que menores, são a tendência no lugar de empresas que apenas ganham mercado com grandes escalas de produção (BENYUS, 2006).



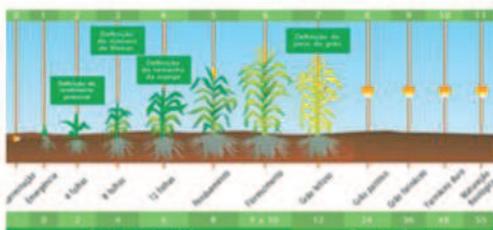
JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Aperfeiçoar em vez de maximizar



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Não esgotam recursos: Este mandamento trata da sobrevivência com os dividendos e não com os lucros. **Isso significa não consumir mais do que se pode regenerar** os recursos ou controlar o crescimento dos que consomem, como a população. Remete-se a um estilo de vida mais simples reduzindo recursos não renováveis como petróleo, gás, metais, substituindo-os por renováveis como fibras, substâncias químicas derivadas de plantas, de maneira parcimoniosa (BENYUS, 2006).

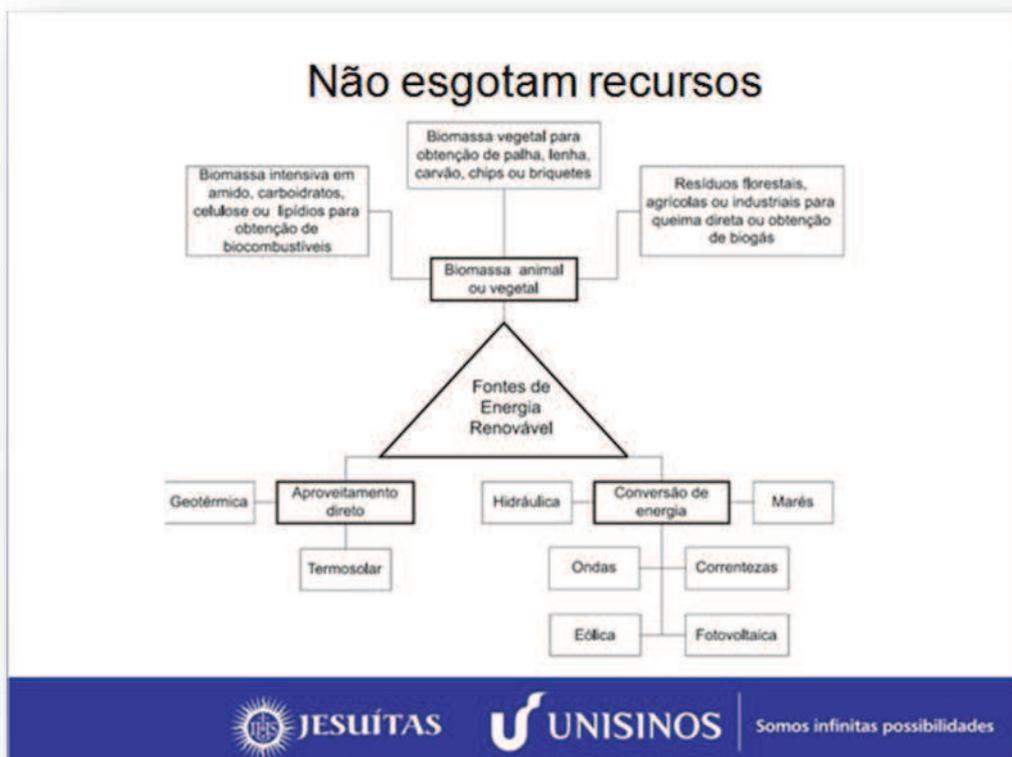


JESUÍTAS



UNISINOS

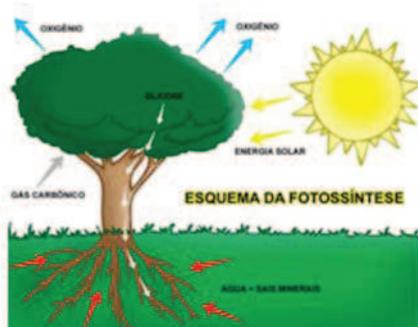
Somos infinitas possibilidades



Manter-se em equilíbrio

Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera: Na natureza existem subciclagens dentro de uma ciclagem maior que é a biosfera, a camada de ar, terra e água que sustenta a vida. Esta é um **sistema fechado**, onde a **quantidade de elementos** é apenas transferida e **não aumentada ou diminuída** quando em equilíbrio. O que acontece é que o ser humano vem desequilibrando este sistema, uma prova é a taxa de crescimento da presença de dióxido de carbono que é de 0,4% ao ano. As indústrias contribuem para esta crescente taxa e precisam aprender a manter em equilíbrio (BENYUS, 2006).

Manter-se em equilíbrio



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades

Correlação

Princípio tipo III	Opera com base em informação	Otimizar em vez de maximizar	Não esgotar recursos
Constructo MOS			
Pessoas			
Energia			
Equipamento			
Terceiros			
Informação			
Indicadores e metas			
Material			
Cliente			
Projeto			
Produto/serviço			
Resíduos			
Emissões			
Transporte			
Cadeia de abastecimento			
Destinação			
Capital financeiro			



JESUÍTAS



UNISINOS

Somos infinitas possibilidades