

**CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS EM MINERAÇÃO**

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

**INTERDISCIPLINARIDADE E O PENSAMENTO SISTÊMICO: UM
ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A
MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA NA GESTÃO
AMBIENTAL SISTÊMICA**

CANOAS, 2011

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

**INTERDISCIPLINARIDADE E O PENSAMENTO SISTÊMICO: UM
ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A
MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA NA GESTÃO
AMBIENTAL SISTÊMICA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração, do Centro Universitário La Salle – Unilasalle, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Muller Kautzmann

CANOAS, 2011

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

INTERDISCIPLINARIDADE E O PENSAMENTO SISTÊMICO: UM ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA NA GESTÃO AMBIENTAL SISTÊMICA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração, no Centro Universitário La Salle – Unilasalle, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Evaldo Luis Pauly – Unilasalle

Prof.^a Dr.^a Maria Ângela Mattar Yunes – Unilasalle

Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos – Universidade Federal do Rio Grande

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Maria Thereza, pela compreensão, carinho, incentivo e entusiasmo ao longo da jornada;
aos meus filhos, Marcello e Julia, que me ensinam coisas novas todos os dias,
e aos meus pais, Walter e Carmen (*in memoriam*), que possibilitaram esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao Prof. Dr. Rubens Kautzmann pela orientação e incentivo; ao Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos, pela co-orientação e generosidade; e aos estagiários, pela dedicação.

“Enfrente o difícil enquanto ainda é fácil; realize a grande tarefa por meio de uma série de pequenos atos”.

Lao Tsé

RESUMO

A crescente degradação ambiental, fruto das relações de produção e consumo encaminhadas pelo atual Modelo de Desenvolvimento Econômico (MDE), nos motivou a realizar uma investigação que, abordando a problemática ambiental, pudesse reforçar a importância da educação ambiental (EA) como instrumento de gestão ambiental sistêmica (GAS), colaborando assim para a materialização da visão da sustentabilidade do desenvolvimento no ensino universitário, mais especificamente nos cursos de Engenharias. Os problemas ambientais não podem ser compreendidos apenas sob a ótica das ciências naturais. Assim, procuramos por uma síntese que, através do Pensamento Sistêmico, nos permitisse entrar em sintonia com nossos objetivos. O desdobramento do trabalho acontece em dois momentos que se completam: primeiro, é feito um resgate dos temas que confluem para a educação ambiental (EA) e para gestão ambiental sistêmica (GAS), propondo, mediante as dinâmicas interações interdisciplinares, o encontro com um modelo global que possibilitasse a emergência de um processo de conhecimento contínuo que, ajustado a nossa proposta e desenhado em mapas conceituais, acabasse por facilitar a visualização do todo do trabalho. Num segundo momento, buscando sinergia para alcançar nosso objetivo, amparado na Dinâmica dos Sistemas, discorremos acerca das possibilidades da implantação da modelagem computacional como ferramenta de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) onde, através de técnicas de simulação com o *software* STELLA, procuramos observar os diferentes cenários que envolvem eventos e características que evoluem no tempo, abordando um estudo de caso que diz respeito aos problemas ambientais causados pela geração de energia elétrica com combustão de carvão no município de Candiota-RS. O estudo procura, a partir do encontro com o entendimento global da questão envolvida, propor uma maneira de pensar que possa cooperar com a implantação dos processos de gestão ambiental sistêmica. A partir das abordagens teóricas que envolvem as complexas interações que permitiram a emergência do nosso objetivo sistêmico, busca-se uma sinergia que venha a facilitar o estudo de aspectos específicos que resultam desse conhecimento mais abrangente.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Pensamento Sistêmico, Gestão Ambiental Sistêmica, Modelagem Computacional.

ABSTRACT

Interdisciplinarity and Systems Thinking: a case study of Environmental Education and Computer Modeling STELLA in Systemic Environmental Management

The increasing environmental damages resulting from the production and consumption relations of the current model of economic development has driven this a study, which by addressing environmental issues is aimed at supporting the importance of Environmental Education (EE) as a tool for Systemic Environmental Management (SEM). Thus it is expected to collaborate to a materialized understanding of the development sustainability in higher education, particularly within the engineering programs. Considering that environmental issues are not possibly looked at through the lens of natural sciences alone, this study searches for a synthesis that would enable our goals to be achieved through Systems Thinking. The study is developed in two stages that complete each other. First, a summary of themes converging to EE and SEM are brought together, and through dynamic multidisciplinary interactions it is proposed a meeting with the global model, which would make possible the emergence of a process of lifelong knowledge. Adjusted to our proposal and designed in conceptual maps, such an approach should facilitate the global understanding of this study. Secondly, seeking synergy to achieve our goals and supported by the Systems Dynamics, possibilities to implant computational modeling are regarded, as a tool of Environmental Impact Assessment. Through simulation techniques using the software STELLA, different scenarios involving events and characteristics that evolve with time, with a focus to a case study related to environmental damages caused by electricity generation by coal combustion in the municipality of Candiota, RS. Therefore, based on the convergence with a global understanding of this issue, the study seeks to propose a way of thinking to collaborate with the implantation of SEM processes. That is to say, grounded on the theoretical approaches involving the complex interaction that enables the emergence of our systemic objective, it is aimed at a synergy to facilitate the study of specific aspects resulting from this wider knowledge.

Key words: Environmental Education, Systems Thinking, Systemic Environmental Management, Computer Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Projeções originais do modelo dos limites do crescimento, proposto por Dennis Meadows	28
Figura 2 – Nível ótimo de poluição	33
Figura 3 – Programa de gestão ambiental conforme a Norma ISO 14001	41
Figura 4 – Modelo de implantação de um sistema de gestão ambiental pela série 14000	43
Figura 5 – Curva da procura ou demanda	52
Figura 6 – Curva da oferta	53
Figura 7 – Ponto de equilíbrio de mercado	53
Figura 8 – Evolução populacional mostrando tendência exponencial	54
Figura 9 – Modelo de desenvolvimento econômico	56
Figura 10 – Gerador de corrente alternada	67
Figura 11 – Alternador trifásico octopolar	68
Figura 12 – Força eletromotriz gerada no alternador trifásico octopolar	68
Figura 13 – Elo de realimentação de um sistema sem atraso	91
Figura 14 – Retroação	92
Figura 15 – Retroação positiva – aumento da divergência	92
Figura 16 – Elo de retroalimentação de um sistema com atraso (<i>delay</i>)	94
Figura 17 – Estrutura STELLA para crescimento exponencial	101
Figura 18 – Referencial para o processo de modelagem matemática	103
Figura 19 – Crescimento linear de área impactada desenvolvido em STELLA	105
Figura 20 – Crescimento populacional exponencial desenvolvido em STELLA	106
Figura 21 – Evolução temporal de uma fonte natural não renovável e do nível de energia produzido pela fonte, desenvolvido em STELLA	106
Figura 22 – Modelo dinâmico de inter-relacionamento dos três aspectos centrais do pensamento sistêmico	119
Figura 23 – Área impactada pela mineração de carvão na área de estudo	127
Figura 24 – Imperativos e conflitos dos âmbitos social, ambiental e econômico para a sustentabilidade do desenvolvimento	136
Figura 25 – Mapa conceitual I	140

Figura 26 – Mapa conceitual II	141
Figura 27 – Mapa conceitual III	142
Figura 28 – Modelo global do processo dinâmico de conhecimento da SD proposto por Almeida (2011)	143
Figura 29 – Modelo prognóstico linear	146
Figura 30 – Diagrama de fluxo modelado no STELLA	147
Figura 31 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA	148
Figura 32 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA	149
Figura 33 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA	149
Figura 34 – Diagrama causal da variação de energia como consequência da variação populacional	151
Figura 35 – Diagrama de fluxo modelado no STELLA	152
Figura 36 – Equações e saída gráfica obtidas no programa STELLA	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenças entre sustentabilidade forte e sustentabilidade fraca	30
Quadro 2 – Equações de Maxwell	66
Quadro 3 – Comparação entre os fundamentos do pensamento analítico e do pensamento sistêmico	110
Quadro 4 – Principais concepções específicas	112
Quadro 5 – Resumo das formas de se referir à complexidade	113
Quadro 6 – Síntese das posições acerca da natureza do conhecimento obtido sobre a realidade com o pensamento sistêmico	115
Quadro 7 – Padrão CONAMA 020/86 para os parâmetros utilizados	128
Quadro 8 – Resumo dos pontos de amostragem que são influenciados ou não pela atividade carbonífera, considerando os parâmetros analisados	129
Quadro 9 – Histórico dos mais importantes incidentes e acidentes ambientais que são consequências do atual MDE	133

SUMÁRIO

CAPÍTULO PRIMEIRO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1- Considerações iniciais	16
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Organização da dissertação	20
1.4 Justificativa	22

CAPÍTULO SEGUNDO

2 REFERENCIAL TEÓRICO I	24
2.1 A filosofia da natureza e educação ambiental: uma reflexão crítica na busca de uma direção ética	24
2.2 A sustentabilidade do desenvolvimento	25
2.2.1 O que se entende por sustentabilidade	26
2.3 Gestão Ambiental Sistêmica (GAS)	32
2.3.1 Vantagens da gestão ambiental sistêmica (GAS)	32
2.3.2 Instrumentos de gestão ambiental	33
2.3.2.1 Instrumentos de comando e controle de gestão ambiental na esfera pública (abrangência macro)	34
2.3.2.1.1 Pactos internacionais	34
2.3.2.1.2 A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e o controle ambiental, abrangência macro em nível nacional	34
2.3.2.1.2.1 Zoneamento ambiental	35
2.3.2.1.2.2 Gestão dos recursos hídricos	35
2.3.2.2 Instrumentos públicos de gestão ambiental sistêmica (abrangência micro)	36
2.3.2.2.1 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	36
2.3.2.2.1.1 Principais métodos de avaliação de impactos ambientais	37
2.3.2.3 Instrumentos de GAS na esfera privada (abrangência micro)	39
2.3.2.3.1 Análise ambiental	39
2.3.2.3.2 Sistema ISO 14000	40

2.3.2.2.3.1 Gestão ambiental sistêmica (GAS) e a ISO 14001	41
2.4 A Educação Ambiental (EA)	44
2.5 A interdisciplinaridade e o novo paradigma da ciência	44
2.5.1 A interdisciplinaridade sob a ótica de Edgard Morin	45
2.5.2 A articulação dos conhecimentos e a emergência do saber ambiental	46
2.6 Lei da oferta e da procura e o modelo de desenvolvimento econômico	48
2.6.1 Adam Smith e o capitalismo	49
2.6.2 Bens e serviços	50
2.6.3 Lei da oferta e da procura	51
2.6.3.1 Lei da procura	51
2.6.3.2 Lei da oferta	52
2.6.3.3 Interação da procura e da oferta: o preço de equilíbrio	53
2.6.4 Modelo de desenvolvimento econômico (MDE)	54
2.6.5 A terra, sua ocorrência, seu uso e suas limitações	57
2.7 Ecossistemas	58
2.8 A Física e a energia	59
2.8.1 Energia e suas formas	59
2.8.2 A Termodinâmica, a 2ª Lei e a Entropia	60
2.8.2.1 Primeira Lei da Termodinâmica	61
2.8.2.2 Segunda Lei da Termodinâmica	61
2.8.2.3 Entropia	62
2.8.2.4 Entropia e desordem	63
2.8.3 O eletromagnetismo na geração de energia elétrica	65
2.8.3.1 Gerador de corrente alternada e alteradores trifásicos	67
CAPÍTULO TERCEIRO	
3 REFERENCIAL TEÓRICO II	69
3.1 Complexidade e Autoorganização	69
3.1.1 O simples e o complexo	70
3.1.2 O novo paradigma da complexidade	72
3.1.3 A ordem na desordem	73
3.1.4 Autoorganização e Complexidade	75
3.1.4.1 Complexidade e Autoorganização segundo Ilya Prigogine	75
3.1.4.2 Complexidade e Autoorganização sob a ótica de Henri Atlan	77
3.1.5 Complexidade dos sistemas humanos	78
3.1.5.1 Complexidade organizada	80

3.2 A Teoria Geral dos Sistemas e algumas concepções a ela associadas	80
3.2.1 A TGS e a concepção de sistemas abertos e sistemas fechados	83
3.2.2 Organização dos sistemas	83
3.2.3 Hierarquia sistêmica	84
3.3 Investigação a respeito do pensamento sistêmico	85
3.3.1 O pensamento sistêmico	85
3.3.2 Pensamento sistêmico, um modelo interdisciplinar	87
3.3.3 Considerações sobre o paradigma sistêmico	88
3.3.4 O paradigma sistêmico no presente trabalho	89
3.3.5 Retroação (<i>feedback</i>) – alimentação retroativa do sistema	90
3.3.6 Sistemas humanos ou de atividades humanas	94
3.3.7 A coerência sistêmica	95
3.4 O pensamento sistêmico organizacional proposto por Peter Senge	96
3.5 Dinâmica dos sistemas	99
3.5.1 A base da utilidade do modelo dinâmico	102
3.6 Modelos e modelagem	103
3.6.1 Funcionamento do <i>software</i> STELLA	104
3.6.2 Padrões de comportamento dinâmico desenvolvido em STELLA	105
CAPÍTULO QUARTO	
4 EM BUSCA DE UM MODELO DE APRENDIZADO CONTÍNUO, TENDO COMO BASE ALGUMAS CONCEPÇÕES SISTÊMICAS EMERGENTES.....	107
4.1 Princípios do pensamento sistêmico	107
4.1.1 Contextualismo	108
4.1.2 Causalidade contingente	108
4.1.3 Síntese	109
4.1.4 Resumo comparativo entre o pensamento sistêmico e o pensamento analítico	110
4.2 Aspectos da organização sistêmica	110
4.2.1 As características gerais da organização	110
4.2.2 As noções operacionais da organização	111
4.2.3 A aplicação das concepções sistêmicas	111
4.2.4 Resumo das concepções sistêmicas	112
4.3 Análise da descrição da complexidade a partir das abordagens sistêmicas	113
4.4 Síntese do conhecimento que podemos obter com a abordagem sistêmica	115
4.5 Uma nova referência conceitual para construção do conhecimento	116

	14
4.5.1 Considerações gerais	116
4.5.2 O pensamento sistêmico como um processo dinâmico de desenvolvimento contínuo	117
CAPÍTULO QUINTO	
5 METODOLOGIA	121
5.1 Metodologia sistêmica	121
5.2 Metodologia proposta para determinação da área impactada com a utilização do carvão na região de Candiota-RS	125
5.2.1 Confecção do mapeamento das áreas impactadas	126
5.2.2 Aplicação do modelo prognóstico linear tentativo	129
5.3 Considerações metodológicas sobre a utilização do STELLA na pesquisa	130
CAPÍTULO SEXTO	
6 RESULTADOS	132
6.1 Apresentação dos resultados	132
6.1.1 Primeira etapa	132
6.1.2 Segunda etapa	133
6.1.3 Terceira etapa	135
6.1.4 Quarta etapa	136
6.1.5 Quinta etapa	137
6.1.6 Sexta etapa	137
6.1.7 Sétima etapa	138
6.1.7.1 Mapa conceitual I	138
6.1.7.2 Mapa conceitual II	141
6.1.7.3 Mapa conceitual III	141
6.1.8 Oitava etapa	142
6.1.9 Nona etapa	144
6.1.9.1 Estudo de caso: <i>Aplicação de modelo para quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão, Candiota-RS</i>	144
6.1.9.2 Transformação de diagramas causais em diagramas de fluxo	150
CAPÍTULO SÉTIMO	
7 CONCLUSÃO	155
REFERÊNCIAS	160
ANEXOS	
ANEXO A – Artigo: A filosofia da natureza e Educação Ambiental: uma reflexão crítica na busca de uma direção ética	167
ANEXO B – Artigo: A Educação Ambiental (EA) na Universidade e na Empresa	181

ANEXO C – Comentários sobre a Lei n.º 6938 em Seiffert (2007)	200
ANEXO D – ANEXO D – Diretrizes gerais e específicas para o zoneamento ambiental – Decreto n.º 4297/2002 (SEIFFERT, 2007)	202
ANEXO E – Linhas gerais e lógica do processo de AIA desenvolvido para o escopo do EIA-RIMA (BRAGA, 2005)	203
ANEXO F – Análise resultante de um diagnóstico do desempenho ambiental da Usina Termelétrica de Candiota (TEIXEIRA et al., 2004)	205

CAPÍTULO PRIMEIRO

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tratará dos objetivos, organização e justificativas do trabalho.

1.1- Considerações iniciais

O ensino do gerenciamento de organizações, que abrange desde a elaboração de projetos até a entrega final dos produtos ou serviços, na maioria dos casos, sempre visa à satisfação do consumidor, promovendo a integração das fases do projeto, o respeito aos prazos, a análise de resultados, com base na crença do crescimento econômico ilimitado, em que a tecnologia avança, sem levar em conta os efeitos colaterais desse desenvolvimento. Tais efeitos, como a contaminação de ar e água, as secas e enchentes, a diminuição da fertilidade do solo, a desigualdade social, além das doenças típicas do modo de vida ocidental, acabaram por instalar uma crise ambiental que passou a ser o maior desafio global da humanidade neste início de século.

Enfrentar tal crise requer, além de soluções técnicas, soluções educacionais que se configurem em mudanças de comportamentos, atitudes e valores, acabando por questionar o padrão sócio-cultural e a lógica do pensamento fragmentado que a gerou, ou seja, uma reforma do pensamento que proponha uma forma de agir (LEFF, 2006) em que a melhoria da qualidade de vida humana aconteça por meio da gestão dos cíclicos processos que objetivem harmonizar os ecossistemas antrópicos com os ecossistemas naturais. Essa reforma que,

entendemos, inicia na universidade, deverá repensar os processos de ensino, introduzindo a educação ambiental (EA) como tema transversal às diferentes áreas do conhecimento, buscando com isso a sustentabilidade do desenvolvimento (SD) onde se faz necessário, evoluir da linearidade do pensamento analítico e passar a observar, os dinâmicos e complexos fenômenos que envolvem o meio ambiente. Uma mudança na maneira de pensar que possibilite compreender e agir em contextos de crise, nos encaminhando para um novo entendimento das relações humanas com o planeta e, mais profundamente, para uma nova concepção de natureza.

Dentro desse cenário, torna-se importante propor uma discussão que, ao envolver a problemática ambiental, questione a preparação de profissionais para atuar em um mundo globalizado que incentiva a racionalidade econômica do crescimento ilimitado, onde são arquitetados procedimentos pedagógicos que incentivam a relação produção e consumo, baseada num modelo de desenvolvimento econômico, que acaba por incentivar o antropocentrismo a ponto de, não só comprometer a qualidade de vida, como também ameaçar a vida do homem no planeta, (DIAS, 2006).

Com base nessas considerações e, amparado pela experiência adquirida em vários anos como gestor empresarial e docente voltado ao ensino de Engenharia na Universidade Federal do Rio Grande – FURG, em áreas do conhecimento como o empreendedorismo e a geração de energia elétrica, pudemos perceber, tanto no meio universitário como no organizacional, a carência de práticas pedagógicas que incentivassem uma reflexão crítica, no que diz respeito ao dinamismo das interações de técnicas produtivas com o meio ambiente. Tal proposta se amplifica diante da constatação, perante uma análise mais detalhada das ementas do curso de Engenharia Civil, da carência de políticas pedagógicas que incorporem a educação ambiental (EA) como instrumento necessário a gestão ambiental sistêmica (GAS), onde educandos e educadores, principalmente das áreas técnicas, não são preparados para que seus atos e pensamentos se apoiem em medidas que vislumbrem a melhoria da qualidade ambiental. Uma realidade que, segundo Leff (2003), se impõe, devido à compartimentação das propostas pedagógicas do ensino, em que os conteúdos que envolvem a realidade do mundo continuam sendo pensados de forma isolada e fragmentada, negando assim a complexidade da inter-relação do todo com as suas partes.

Assim, com essa forma de pensar, fundamentada numa concepção dinâmica da realidade, seja nos processos que envolvem a natureza ou na própria construção do conhecimento, propusemos um trabalho que, ao superar o pensamento compartimentado analítico, abordasse um estudo que entende a existência de um todo complexo, ou seja, um

sistema que objetiva o conhecimento da sustentabilidade, a partir do entendimento das interações entre as partes que estão presentes nos diferentes processos que envolvem a educação para a gestão dos impactos ambientais e seus procedimentos mitigadores.

Assim, o trabalho por envolver uma sequência lógica de procedimentos, metodologias e técnicas com a finalidade de obter um modelo sistêmico onde, segundo Checkland (1981), o fator humano não é uma parte qualquer do sistema, estando seu aspecto cognitivo integrado às interações do sistema introduzindo aí, outro aspecto da sua complexidade, nos permitindo assim com isso, a observação do encontro com situações específicas a partir do conhecimento do todo. Ou seja, a partir da emergência do conhecimento objetivado pelo sistema encontramos, na modelagem computacional, uma forma de entender e colaborar com o processo de gestão ambiental num estudo de caso associado à mitigação dos impactos gerados pela combustão do carvão na usina termelétrica de Candiota - RS.

Tendo em vista a inexistência de trabalhos sistêmicos, que articulem e sintetizem os fatos antes mencionados, pretendemos com este estudo, contribuir para completar esta lacuna onde, através de modelos teóricos associados a um conjunto de concepções sistêmicas, poderemos consolidar o tratamento de questões de natureza complexa (o observador participa dessa complexidade) que envolvem a interação de diferentes áreas do conhecimento como as ciências naturais, sociais e administrativas e que são relevantes para aplicação em aspectos relacionados ao envolvimento dos engenheiros com os processos de produção e suas inevitáveis interações com o meio ambiente.

Pensando como Morin (1996), que entende a complexidade do mundo como “um tecido de acontecimentos, ações e interações, retroações, determinações, acasos, que constituem o mundo fenomenal em que vivemos, apresentando-se por isso com traços inquietantes da confusão, do inextricável, da desordem, da ambiguidade e da incerteza em constante e dinâmica mutação”, o trabalho se orienta para o encontro com uma estratégia que, através das concepções sistêmicas, associe conhecimentos interdisciplinares focando no caso específico da geração de energia elétrica, seus impactos ambientais e suas formas de gestão, pretendendo com isso, uma forma de colaborar com a integração da educação ambiental, da gestão ambiental sistêmica e o conhecimento necessário à sustentabilidade do desenvolvimento (SD) aos estudos de engenharia.

1.2 Objetivos

A seguir são descritos os objetivos que se buscará atingir com a realização do presente estudo.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar como podemos, através do pensamento sistêmico, colaborar com a articulação da interdisciplinaridade que norteia a educação ambiental (EA) e a gestão ambiental sistêmica (GAS), visando com isso, à materialização da sustentabilidade do desenvolvimento (SD) nos cursos de Engenharia.

1.2.2 Objetivos específicos

Com essa proposta, o objetivo geral virá acompanhado dos seguintes objetivos específicos:

- a) elaborar mapas conceituais que, apoiados na teoria de David Ausubel (1980), possam integrar e hierarquizar um conjunto de princípios científicos e filosóficos onde, através da educação ambiental (EA) e da gestão ambiental sistêmica (GAS), possamos promover uma interface dos problemas ambientais com o atual modelo de desenvolvimento econômico (MDE).
- b) contribuir com base nessa referência bibliográfica, através dos fundamentos do pensamento sistêmico, para a elaboração de um modelo teórico global que objetiva uma forma organizada de pensar a concepção de sustentabilidade.
- c) buscando sinergia com um conhecimento mais abrangente, sintetizado no modelo sistêmico global, elaborar modelos de simulação específicos onde, através da ferramenta computacional STELLA seja possível, observar graficamente a evolução temporal das variáveis ou entidades que interagem nos processos associados à geração de energia elétrica, tendo com agentes mitigadores a educação ambiental (EA) e a gestão ambiental sistêmica (GAS), colaborando dessa maneira, com a construção de um processo pedagógico que possa associar-se ao ensino de Engenharia.

d) o objetivo posterior a dissertação seria, sintetizar os objetivos acima, alertando o meio universitário e organizacional, em especial as engenharias, para a necessidade de rever o paradigma cartesiano que nos encaminhou para o atual MDE propondo, através do pensamento sistêmico e da interdisciplinaridade, viabilizar a prática da EA como tema transversal às diferentes áreas do conhecimento, colaborando assim para a capacitação e comprometimento dos educadores e gestores com a questão da complexidade ambiental.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação será organizada em sete capítulos. O Capítulo Primeiro, introdutório, tem por objetivo situar o leitor no contexto da pesquisa, apresentando de forma sucinta os tópicos que serão desenvolvidos ao longo do trabalho.

Na sequência, o referencial teórico será estruturado em dois capítulos. O Capítulo Segundo diz respeito à organização dos princípios, conceitos e filosofias que confluem para EA e para a GAS na busca dos conhecimentos necessários a uma sustentabilidade forte (GARCIA; VERGARA, 2000). As seções do capítulo serão estruturadas de acordo com a representação do Mapa Conceitual I, cuja fundamentação teórica, parte integrante do capítulo, toma por base os princípios ausubelianos citados por Moreira e Buchweitz (1993). Ainda dentro desse mesmo capítulo, o estudo deverá evidenciar as interações hierárquicas dos conceitos que dizem respeito às ciências naturais e sociais. Em seguida, é realizada a associação dos conceitos citados com conhecimentos específicos de modelos e modelagem computacional, que por fim, proporcionarão o encontro com o entendimento da parte a partir do estudo do todo.

No Capítulo Terceiro, serão organizadas as interações dos conhecimentos conforme representação do Mapa Conceitual II, que aborda as concepções sistêmicas formalizadas.

No Capítulo Quarto, seguindo a orientação do Mapa Conceitual III, serão investigados alguns princípios e noções sistêmicas gerais que são usadas e sedimentadas nas abordagens formalizadas e que dão suporte teórico à concepção do modelo sistêmico de aprendizado contínuo (KASPER, 2000).

Finalizado o referencial teórico, será apresentada no Capítulo Quinto a metodologia adotada, que, na busca dos objetivos descritos, está estruturada da seguinte forma: com base

nos passos do pensamento sistêmico proposto Senge (2005) e referendado por Xavier (2003), serão colhidas as informações necessárias para raciocinar sobre as questões que envolvem a complexidade do objetivo proposto. A seguir, após identificar as relações causais entre os conceitos eliciados, será feita a transformação do modelo mental do pesquisador em elementos do sistema. Tal situação se traduz na elaboração dos mapas conceituais que, amparados pela teoria de David Ausubel (1980), ajudam o indivíduo a aprender sobre a natureza da produção/conhecimento (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1993, p. 10). Na representação do Mapa Conceitual I, serão apresentados os aspectos filosóficos da natureza que permitirão, mediante a interação com os aspectos teóricos da EA e GAS, descrever os conhecimentos científicos e as situações específicas necessárias ao entendimento da real e complexa situação que envolve o estudo.

A seguir, amparado nos conteúdos do mapa conceitual II, que inter-relaciona as abordagens sistêmicas formais e também pelos conteúdos do mapa conceitual III, referente às concepções sistêmicas gerais, será apresentado um quadro de referência conceitual, que sintetizado num modelo dinâmico global de desenvolvimento e aprimoramento contínuo (KASPER, 2000) proporcionará, em sinergia com modelos específicos, através de simulação computacional, sintetizar aprendizados e conhecimentos que estejam em sintonia com o nosso objetivo.

O Capítulo Sexto, referente aos resultados, apresenta num primeiro momento os dados e informações que seguem os passos do pensamento sistêmico (XAVIER, 2003) até o encontro com os conteúdos cognitivos que guiarão os significados das interações obtidas durante a realização dos mapas conceituais, comentando as relações entre os conceitos e o seu grau de generalidade ou abrangência.

Num segundo momento, adotando o modelo proposto por Kasper (2000) é realizado o modelo que sintetiza os conhecimentos dos mapas conceituais nos seus diferentes enlaces, representado pelo modelo que desenha o dinâmico processo de aprendizado contínuo que propõe a construção dos conhecimentos necessários à sustentabilidade do desenvolvimento (SD). A seguir, são apresentados estudos de aspectos específicos que resultam do estudo global, onde, amparado na Dinâmica Sistêmica (FORRESTER, 1990) são obtidos, através de técnicas de simulação computacional com o programa STELLA¹, diferentes cenários para o estudo de caso (TEIXEIRA et al., 2004) que envolve procedimentos mitigadores em áreas impactadas pela geração de energia elétrica.

¹ Palavra que, traduzida para o português, é acrônimo para “Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para Estruturação do Pensamento”.

Finalmente no Capítulo Sétimo apresentam-se as conclusões apuradas durante o estudo onde, através dos resultados obtidos sob a ótica da EA, dos modelos e da modelagem computacional, procuramos contribuir na orientação de futuros trabalhos sobre o ensino e a aplicação dos processos de Gestão Ambiental Sistêmica que busquem a sustentabilidade do desenvolvimento no ensino de Engenharia.

1.4 Justificativa

A presente pesquisa se justifica pela necessidade de implantarmos, por meio dos princípios sistêmicos, uma abordagem da EA como instrumento de gestão ambiental sistêmica para materialização da sustentabilidade, no caso particular do estudo, nos cursos de engenharia.

Tal proposta é incentivada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais que, baseados na Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de outubro de 1987, definem o meio ambiente, por sua vital relevância social, como tema transversal aos eixos principais que são os conteúdos formais das diferentes áreas do conhecimento (LOUREIRO, 2006).

Com esse intuito, para que a EA tenha êxito e conseqüentemente os processos de gestão ambiental, os educandos e os educadores, seja qual forem as suas áreas de especialização, devem ter contato com as questões da complexidade ambiental de uma forma ampla. Esta reflexão sobre o assunto permitirá o surgimento de propostas de ação que possibilitem, no seu fazer pedagógico, o acesso a estratégias que envolvam a interdisciplinaridade, em sintonia com os princípios e objetivos da EA.

Nossa justificativa se associa também aos objetivos da Política Nacional de Educação Ambiental, que, através da Lei n.º 9.795, de abril de 1999, nos seus artigos 4, 10 e 11, além de citar os princípios, objetivos e aplicação da educação ambiental (EA) em todos os níveis e modalidades de ensino, diz que os educadores em atividade devem receber formação complementar em suas áreas de atuação, com o propósito de atenderem adequadamente à construção e implementação dos princípios da sustentabilidade.

Tal construção só poderá ocorrer através da transformação do pensamento a respeito do modelo de desenvolvimento econômico (MDE) vigente e sua interação com as questões ambientais, propondo formas de gestão ambiental nos mais diferentes níveis, que sigam, entre outras, as indicações da Agenda 21 que surgiu como uma proposta na Conferência Sobre o

Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (UNCED) ou ECO-92, tendo como explícita preocupação a formação de uma sociedade mais justa, democrática e sustentável.

Nesse sentido, para que possamos construir uma EA mais efetiva é necessário fazer uma conexão entre os conteúdos necessários, investigando aspectos conceituais importantes, apontando os princípios e noções gerais que convergem para os múltiplos enfoques que exigem o conhecimento da sustentabilidade do desenvolvimento. Assim, pretende-se desenvolver um modelo que sintetiza nossa ideia central entendendo a importância do trabalho nos seguintes níveis:

- 1) citar referências bibliográficas que fundamentam o trabalho;
- 2) contribuir teoricamente para pesquisa da sustentabilidade do desenvolvimento;
- 3) contribuir especificamente para a prática de engenharia, abrindo perspectivas e aplicação no que diz respeito a EA, a GAS e a sustentabilidade do desenvolvimento.

No plano específico a importância do trabalho está em apresentar um quadro de referência geral que estrutura as complexas interações das questões que envolvem a sustentabilidade do desenvolvimento sem com isso, desqualificar outras abordagens já existentes. O campo de pesquisa se estrutura em modelos que tornam imperiosas as investigações sobre a teoria e princípios sistêmicos onde, envolvendo a complexidade organizada faz emergir o objetivo proposto. Ou seja, referirmos o todo a um agrupamento de partes, da qual emergem propriedades que somente podem ser acompanhadas como resultado da interação de todos os componentes.

CAPÍTULO SEGUNDO

2 REFERENCIAL TEÓRICO I

Este capítulo orienta sobre a organização e ordem das filosofias, leis, conceitos e princípios que cooperam para a emersão do objetivo sistêmico proposto no trabalho.

2.1 A filosofia da natureza e educação ambiental: uma reflexão crítica na busca de uma direção ética

Na presente dissertação, trazemos algumas reflexões críticas iniciais sobre a filosofia ocidental, tendo como objetivo evidenciar como a nossa civilização, a partir do empirismo representado pela ciência experimental e pela negação da tradição proposta pela filosofia nos séculos XVI e XVII , acabou por articular a crise ambiental que vivemos, a qual, na visão de Heidegger, se traduz por um desenraizamento daquilo que constitui o ser humano, fazendo-o perder a capacidade de saber habitar, acolher e dialogar com o mundo. Ainda dentro de nossa proposta, procuramos evidenciar a potencialidade de uma ética ambiental em Educação Ambiental que, em reabilitando a tradição entendida por Gadamer, nos permita, através da dialética do ouvir, encontrar um linguajar que torne possível compreender as questões que a natureza nos apresenta.

A temática da filosofia da natureza e educação ambiental: uma reflexão crítica na busca de uma direção ética, é abordada com mais profundidade no artigo publicado pelo

pesquisador na revista *La Salle – Revista de Educação, Ciência e Cultura*, v. 16, n. 1, jan.-jun. 2011 (co-autoria com Rubens M. Kautzmann – Anexo A desta dissertação).

2.2 A sustentabilidade do desenvolvimento

A evolução histórica da humanidade vem mostrando claramente as mudanças que ocorreram e continuam ocorrendo na relação homem-natureza.

Para Leff (2006, p. 123), com o advento da modernidade e da racionalidade do Iluminismo, a natureza não apenas foi fraturada e fragmentada, o seu conceito se deteriorou. Sem uma ordem ontológica que contenha o ser, sem um cosmo ordenador do mundo, sem uma natureza capaz de oferecer referenciais precisos aos conhecimentos, leis traduzíveis em normas de vida e sentidos existenciais, a ordem simbólica foi deslocada, caiu em descrédito.

A vontade de conhecimento engendrada pela epistemologia gerou um excesso de objetividade no mundo. A ânsia de iluminar o mundo através da razão até torná-lo transparente, de nomear e normatizar as coisas com palavras e uma linguagem para designá-las sem ambivalência, de ordenar a realidade empírica com formulações lógicas até alcançar a verdade absoluta, engendrou uma realidade onipresente no horizonte da natureza humana. A metafísica e a racionalidade científica tornaram-se corpo em forma de objeto, corpo sem sensibilidade, sem razão e sem sentido. Se nas sociedades pré-científicas predominaram a magia, a fatalidade do destino e os enigmas da natureza, agora é a intervenção do conhecimento na natureza e nas coisas que desencadeia o risco e a incerteza (LEFF, 2006, p.123).

Para o autor, a crise ambiental atual é fruto da resposta de um Mundo Objeto que transbordou o sujeito do conhecimento (op.cit, p. 127). É fruto da negação da ordem simbólica, da tradição, pelo domínio da pura objetividade. É a coisificação pela racionalidade científica e econômica que produz a entropização do mundo, desencadeando uma reação que não pode ser controlada por uma gestão racional do risco.

O saber, que não resulta da dedução da razão nem por indução da realidade pelo pensamento, é seduzido e iludido pelo objeto. E, no entanto, diante desse discurso que reconhece o poder absoluto do Objeto, o pensamento crítico consegue vislumbrar que este processo de decomposição tem seus referentes na criticidade do Objeto Mundo, do mundo ultra-objetivado e hipereconomizado, onde se manifestam os efeitos da crise ambiental. É dentro desse cenário que as estratégias fatais do objeto em si se expressam no discurso do

desenvolvimento sustentável, em cujos enunciados se transluzem as estratégias de poder que o mundo objetivado exerce, a impossibilidade de abrir seus objetos de conhecimento e reorientar suas tendências, seus falsos fundamentos ideológicos para frear a corrida para a morte entrópica do planeta.

Para Leff (2006, p.133), o princípio da sustentabilidade emerge no discurso teórico e político da globalização econômico-ecológica como a expressão de uma lei-limite da natureza diante da autonomização da lei estrutural do valor. Ressalta o autor que a crise ambiental veio questionar os fundamentos ideológicos e teóricos que impulsionaram e legitimaram o crescimento econômico, negando a natureza e a cultura, deslocando a relação entre o Real e o Simbólico. A sustentabilidade ecológica aparece assim como critério normativo para reconstrução da ordem econômica, como uma condição para a sobrevivência humana e para um desenvolvimento durável; problematiza as formas de conhecimento, os valores sociais e as próprias bases de produção, abrindo uma nova visão do processo civilizatório da humanidade.

A visão mecanicista do mundo produzida pela razão cartesiana e pela dinâmica newtoniana converteu-se no princípio constitutivo da teoria econômica, predominando sobre paradigmas organicistas dos processos da vida e orientando o desenvolvimento antinatural da civilização moderna.

Dessa forma, a racionalidade econômica desterrou a natureza da esfera da produção, gerando processos de destruição ecológica e degradação ambiental que foram aparecendo como externalidades do sistema econômico. A noção de sustentabilidade emerge assim do reconhecimento da função que a natureza cumpre como suporte, condição e potencial do processo de produção.

2.2.1 O que se entende por sustentabilidade

Após a revolução agrícola, caracterizada pela grande mudança da relação homem-natureza, surgiram as primeiras cidades e com elas o uso insustentável dos recursos naturais. Dessa maneira, emergiram os primeiros grandes impactos ambientais. Como resultado dessa nova forma de vida, o homem passou do nomadismo para o sedentarismo, quando ocorre um aumento da capacidade produtiva com o surgimento de outros ofícios que exigiram maior cooperação entre as pessoas para a manutenção da qualidade de vida. Dentro dessa complexidade social surge, em meados do século XVIII, na Inglaterra, a Revolução Industrial. Vários benefícios sociais, como o aumento da expectativa média de vida, conforto material, a

evolução dos meios de informação, transporte, foram consequências da Revolução Industrial. Por outro lado, criou-se um modelo de desenvolvimento econômico (MDE) que trouxe consigo efeitos devastadores, como o consumo excessivo de recursos naturais, poluição do ar, da água e do solo, além da concentração populacional e os problemas sociais oriundos dela. Como resposta à ineficiência desse modelo de desenvolvimento, a humanidade começou a organizar-se de modo a formular uma nova estratégia de desenvolvimento, em que o meio ambiente passa a ser considerado parte fundamental no processo de evolução da sociedade.

A questão da sustentabilidade dentro do atual MDE, vista a partir da perspectiva da lei da entropia (ver seção 2.8.2.3), mostra, na realidade, um quadro de insustentabilidade, pois trata de energias que caminham em direções opostas: enquanto a lei da entropia aponta para os limites materiais e energéticos, o MDE aponta para a necessidade de expansão infinita. Enquanto a entropia aponta para uma questão qualitativa, o MDE é orientado pelas regras quantitativas de mercado.

As ideias que se tem sobre sustentabilidade podem variar, pois estão impregnadas de posições econômicas e político - ideológicas que normalmente estão associadas a estratégias na busca de aprovação de financiamentos para projetos ou para alterar políticas públicas, angariar fundos e conquistar mercados. Por decorrência (GOLDENBERG, 1998, apud GUIMARÃES; TOMAZELLO, 2003, p. 62) percebemos um antagonismo entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável, quando economistas e planejadores substituem desenvolvimento por PNB *per capita*, isto é, quantificando monetariamente o desenvolvimento.

Tal ambivalência do conceito teve origem nas políticas de desenvolvimento pós-guerra que, ao incentivar de forma maciça a industrialização como única forma de superação da pobreza, levou as sociedades a objetivarem o desenvolvimento econômico ao invés do desenvolvimento humano. Do ponto de vista histórico, o surgimento da noção de sustentabilidade tem como marco inicial a discussão sobre a crise ambiental ocorrida em 1968 – o chamado Clube de Roma – cuja finalidade era estudar o impacto global das interações dinâmicas entre a produção industrial, a população e o meio ambiente.

Em 1972, o Clube de Roma publicou um relatório elaborado por D. Meadows e outros, o qual, por meio de simulações matemáticas, apresentava projeções: do crescimento populacional, do nível de poluição e do esgotamento dos recursos naturais da Terra, e a previsão da drástica escassez dos recursos naturais no prazo de 100 anos conforme o comportamento gráfico apresentado na figura 1.

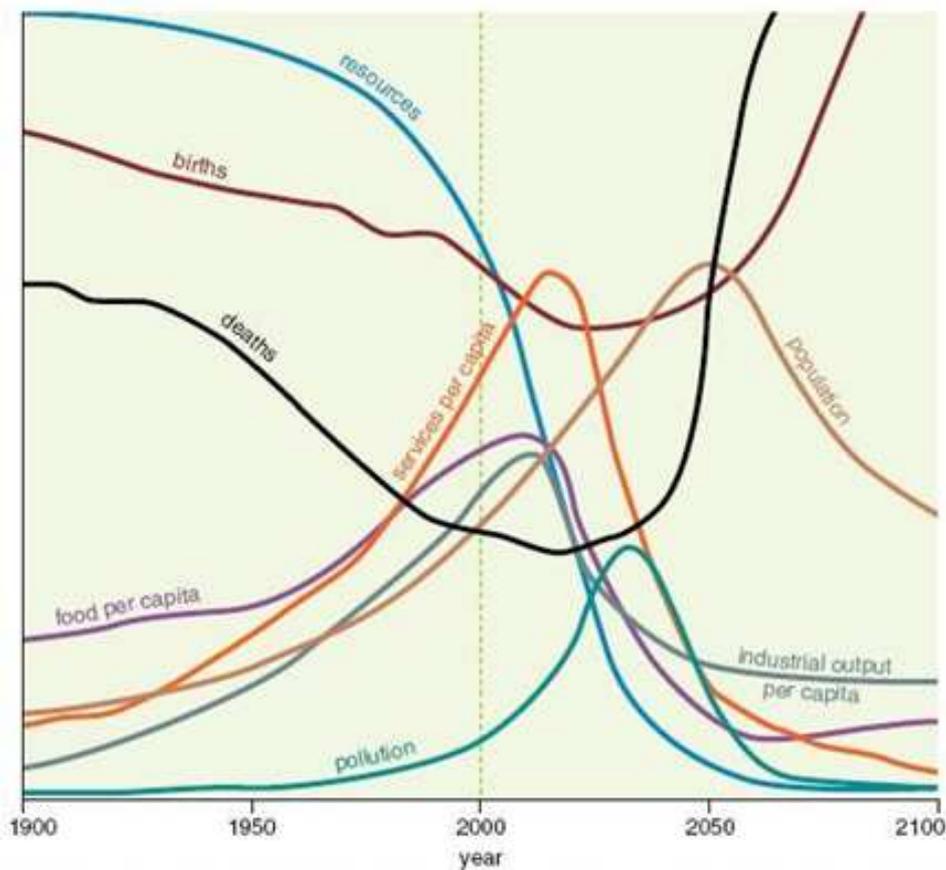


Figura 1- Projeções originais do modelo dos limites do crescimento, proposto por Dennis Meadows.

Fonte: Hall e Day Jr. (2009), adaptado pelo pesquisador.

Tais cenários aguçaram a percepção crítica de vários estudiosos, mais particularmente Ignacy Sachs, que desde a década de 70 vem alertando para a necessidade de repensarmos o MDE até então adotado. Com Sachs, surge o conceito de ecodesenvolvimento, o qual amadureceu ao longo dos anos, dando ensejo ao aparecimento dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Ao discutir as estratégias do ecodesenvolvimento, Sachs o define como um “desenvolvimento endógeno e dependendo de suas forças próprias, submetido à lógica das necessidades do conjunto da população consciente de sua dimensão ecológica e buscando estabelecer uma relação de harmonia entre o homem e a natureza” (SACHS, 1980, p. 45).

A perspectiva do ecodesenvolvimento de Sachs (1993) incorpora variáveis tais como as econômicas, políticas, culturais, sociais, éticas, ecológicas, em que o desenvolvimento é um processo que busca melhor qualidade de vida para as comunidades humanas e, ao mesmo tempo, o respeito pela capacidade de carga dos ecossistemas. Nesse sentido, ao planejar o ecodesenvolvimento, Sachs propõe as primeiras concepções da noção de sustentabilidade,

afirmando que esta deve ser considerada simultaneamente em cinco dimensões:

- a sustentabilidade social, que incentiva a elevação da qualidade de vida da população através de uma melhor distribuição de renda, de modo a reduzir a distância do padrão de vida entre abastados e não-abastados;
- a sustentabilidade econômica, que deve ser avaliada em termos macrossociais no que diz respeito à alocação e gestão de recursos públicos e privados, nos países industrializados, promovendo mudanças estruturais que atuem como incentivadoras do desenvolvimento humano sem comprometer o meio ambiente;
- a sustentabilidade ecológica, que propõe um sistema produtivo mais eficiente no uso dos recursos potenciais dos vários ecossistemas, com soluções ecologicamente corretas e economicamente viáveis através do uso de tecnologias limpas e fontes de energia alternativas renováveis;
- a sustentabilidade espacial, que voltada para uma configuração rural-urbana, sugere um dimensionamento espacial adequado, de modo que haja equilíbrio entre as populações rural e urbana;
- a sustentabilidade cultural, que busca nas raízes endógenas um modelo desenvolvimentista que valorize a continuidade das tradições e pluralidade dos povos.

Para Seifert (2007, p. 6), falar da verdadeira sustentabilidade é falar de questões que integrem construtivamente o homem e a natureza de forma conexa e harmônica.

Não tendo uma concepção tão humanizante e não estritamente econômica como a noção de sustentabilidade, surge, segundo Vieira (1995), outra expressão – *desenvolvimento sustentável*. Tal noção passa a ser amplamente divulgada no âmbito das organizações internacionais, tendo em vista que apresenta uma conotação ideológica menos radical que a anterior e mais coerente com uma fase de experimentação com a ideia de uma nova ordem econômica internacional.

O registro dessa expressão aparece pela primeira vez em 1980, na publicação *Estratégia mundial para a conservação*, da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos (UINC, sigla em inglês), voltada para a realização de uma convenção sobre a diversidade biológica.

Entretanto, a expressão – e a ideia – desenvolvimento sustentável só se tornará amplamente difundida a partir de 1987, com o chamado *Relatório Brundtland* (CMMAD, 1991) apresentado por uma comissão da ONU cujo conceito era assim definido: “aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”.

Aramburu entende o desenvolvimento sustentável como algo dinâmico, processual e qualitativo, que deve reformar conceitos econômicos clássicos e incorporar questões como: necessidade de limites, trocas entre “centros” e “periferias”, eficiência *versus* desperdício, capital natural e cultural, entre outras (apud GUIMARÃES; TOMAZELLO, 2003, p. 62).

Bartholo concebe desenvolvimento sustentável como uma proposta que tem em seu horizonte uma modernidade ética, não apenas uma modernidade técnica (apud GUIMARÃES; TOMAZELLO, 2003, p. 62).

Garcia e Vergara (2000) enxergam na noção de desenvolvimento sustentável uma ambiguidade: ao mesmo tempo em que se aceita a existência de limites ao modo de vida que não seja compatível com os princípios ecológicos, mantém-se a crença no crescimento econômico. Entendem os autores que o termo sustentabilidade tem se desenvolvido em duas versões:

- a sustentabilidade fraca que pode ser definida como a viabilidade de um sistema socioeconômico no tempo;
- a sustentabilidade forte que pode ser definida como a viabilidade da relação que mantém um sistema socioeconômico com um ecossistema.

No quadro 1 apresentamos as características, segundo Garcia e Vergara da sustentabilidade forte e da sustentabilidade fraca.

Quadro 1 – Diferenças entre sustentabilidade forte e sustentabilidade fraca

SUSTENTABILIDADE FRACA	SUSTENTABILIDADE FORTE
-Conceito mais antropocêntrico;	-Conceito mais egocêntrico que antropocêntrico;
-Conceito mecanicista;	-Conceito sistêmico;
-Sustentabilidade sinônimo de viabilidade do sistema socioeconômico;	-Sustentabilidade: relação viável entre o sistema socioeconômico e o ecossistema;
-Sustentabilidade compatível com o crescimento econômico;	-Sustentabilidade incompatível com o crescimento econômico;
-Capital natural substituído por capital humano. Consciência do capital total;	-capital natural complementar (não substituído por) capital humano. Consciência do capital natural;
-Crença em um desenvolvimento sustentável, que na realidade é um crescimento econômico contínuo	-Muitos recursos, processos e serviços naturais são imensuráveis financeiramente;
-Meio ambiente localista.	-Diversas evoluções sustentáveis (historicamente tem existido);
	-Meio ambiente global e sistêmico.

Fonte: Adaptado de Garcia e Vergara (2000).

Quanto aos princípios operativos da sustentabilidade forte, Garcia e Vergara (2000) especificam seis princípios reguladores:

- a taxa de exploração dos recursos naturais tem que ser igual ou menor que a taxa de regeneração destes mesmos recursos;
- substituição dos recursos não renováveis ou com estoque limitado por recursos renováveis;
- os recursos não renováveis deverão ser reciclados e reutilizados, diminuindo assim a taxa de extração e dispersão dos resíduos;
- os contaminantes que podem ser biodegradáveis e reintegrados aos ciclos naturais, terem taxa de emissão igual ou menor a sua taxa de assimilação;
- devem ser proibidas as emissões de elementos cuja contaminação se acumula indefinidamente (contaminação radiativa e química) e que não seja biodegradável;
- procurar selecionar e precaver o uso das tecnologias através de índices segundo a sua eficiência.

Para Dias (2006), o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano dependem dos recursos da Terra. Uma sustentabilidade forte é impossível se a degradação ambiental continuar. Os recursos naturais são suficientes para atender todos os seres vivos, desde que manejados de forma eficiente. Logo, faz-se necessário que o desenvolvimento econômico e o cuidado com o meio ambiente sejam compatíveis e interdependentes. A alta produtividade, a tecnologia moderna e o desenvolvimento econômico devem coexistir com um meio ambiente saudável, com a consciência de que tanto a opulência quanto a pobreza são fatos geradores de problemas ambientais.

Para Dias (2006), nenhum sistema social pode ser mantido por um longo período quando a distribuição dos benefícios e dos custos é extremamente injusta, especialmente quando parte da população está submetida a um debilitante e crônico estado de pobreza. Partindo desse pressuposto, o autor entende que a chave para o desenvolvimento sustentável “é a participação, a organização, a educação e o fortalecimento das pessoas. O desenvolvimento sustentado não é centrado na produção, é centrado nas pessoas. Deve ser apropriado não só aos recursos e ao meio ambiente, mas também à cultura, à história e aos sistemas sociais do local onde ele ocorre” (DIAS, 2006, p. 226).

2.3 Gestão Ambiental Sistêmica (GAS)

A revolução industrial, iniciada em meados do século XVIII, ao estimular os processos produtivos e o crescimento econômico, acabou por gerar ecossistemas antrópicos que acabaram por provocar problemas sócio-ambientais que, em muito, afetam a qualidade de vida da humanidade no planeta. Associados a isto, o aumento da população e de sua expectativa de vida faz emergir a consciência de que, a capacidade de suporte dos ecossistemas e do sistema econômico mundial não poderá ser ultrapassada sem que ocorram grandes catástrofes no meio ambiente.

De acordo com Seiffert (2007), é preciso implantar, o mais rápido possível, condições sociais, econômicas, institucionais, culturais que estimulem não só, um rápido progresso tecnológico de mecanismos que permitam a utilização racional dos recursos naturais, como também, uma mudança em direção aos padrões de consumo que não impliquem o crescimento contínuo e ilimitado do uso dos recursos naturais.

Para tanto, se faz necessário um planejamento ambiental que busque a harmonia dos dinâmicos e interativos processos de interação entre os componentes do ambiente natural e antrópico, promovendo assim mudanças fundamentais como:

- distribuição de renda mais igualitária;
- planejamento familiar que limite o crescimento populacional;
- estrutura fundiária descentralizada;
- melhoria do sistema educacional com foco na EA;
- maior fiscalização ambiental;
- reestruturação da matriz energética.

2.3.1 Vantagens da gestão ambiental sistêmica (GAS)

A implementação de uma gestão ambiental sistêmica (GAS), segundo Reis (1996), além de desenvolver na sociedade em geral uma consciência ecológica, possibilita para o setor produtivo vantagens como:

- melhoria organizacional através da gestão ambiental sistematizada, integração da qualidade ambiental à gestão da organização, conscientização ambiental dos funcionários e relacionamento de parceria com a comunidade;

- a minimização de custos através da eliminação de desperdícios, conquista da conformidade ao menor custo e racionalização da alocação dos recursos humanos, físicos e financeiros;
- a minimização dos riscos através da segurança legal, segurança das informações, minimização dos acidentes e passivos ambientais, minimização dos riscos dos produtos e identificação das vulnerabilidades.

2.3.2 Instrumentos de gestão ambiental

A gestão ambiental sistêmica (GAS) deve ser norteada pela busca de um nível de poluição onde os instrumentos de gestão devam ser estruturados de modo a considerar um equilíbrio entre os prejuízos e os benefícios tanto na ótica privada como na ótica social, de modo a evitar que a ótica social seja desfavorecida em relação à privada e vice-versa onde aconteça o ponto de equilíbrio, chamado por Seiffert (2007) de nível ótimo de poluição e ilustrado na figura 2, abaixo.

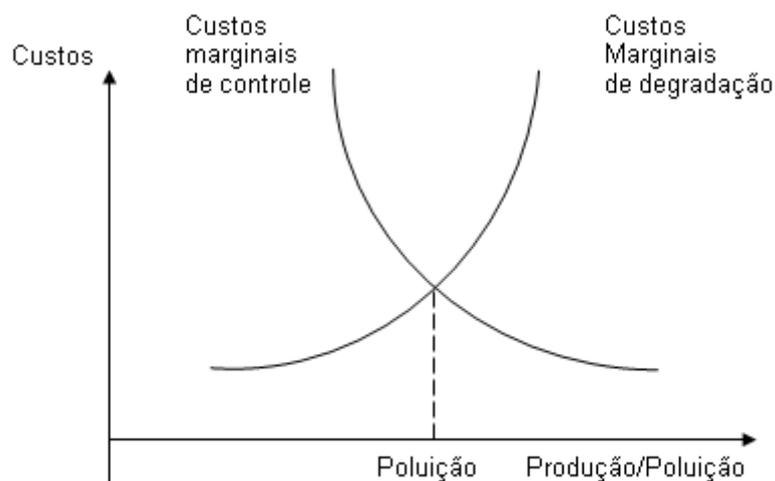


Figura 2 – Nível ótimo de poluição

Fonte: Adaptado de Seiffert (2007)

A dificuldade do encontro do nível ótimo de poluição consiste em valorar adequadamente os serviços que a natureza presta à sociedade humana, onde a valoração econômica surge como uma ferramenta para atribuir valores a bens e serviços providos pelo

meio ambiente, como forma de captar os custos e benefícios oriundos das variações na qualidade e quantidade desses bens e serviços.

2.3.2.1 Instrumentos de comando e controle de gestão ambiental na esfera pública (abrangência macro)

Tais instrumentos que apresentam um caráter essencialmente focado em comando baseiam-se, na criação e implantação de políticas públicas que, para serem operacionalizadas devem ser desdobradas em itens legais nos níveis municipal, estadual, federal e internacional estando elas inter-relacionadas e mediadas pelo poder público, inclusive no que diz respeito à abrangência internacional dos conflitos gerados pela poluição que não se restringe às fronteiras de um país.

2.3.2.1.1 Pactos internacionais

Os tratados internacionais devem ser considerados importantes instrumentos de gestão ambiental, em virtude da percepção do surgimento de impactos ambientais que extrapolam os limites das nações e que necessitam ser regulamentados de alguma maneira.

Alguns instrumentos, como pactos internacionais tais como o de Montreal (1987), a convenção da Basileia (1988), o protocolo de Kyoto (1997), a agenda 21, que surgiu como proposta da Eco 92, constituem-se em respostas da abrangência internacional aos conflitos existentes mundialmente quanto ao uso dos recursos naturais, constituindo alternativas para mitigação de fenômenos importantes associados às mudanças climáticas principalmente aqueles que dizem respeito às consequências do efeito estufa e da diminuição da camada de ozônio.

2.3.2.1.2 A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e o controle ambiental, abrangência macro em nível nacional

Em nível nacional os instrumentos públicos de GAS, ocorreram com a implantação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), com a publicação em 31/8/1981 da Lei nº 6.938 que tem por objetivo (artigo 2º) a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, propícia a vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana e que estão resumidos no Anexo C. Apresentaremos a seguir alguns dos instrumentos citados pela PNMA e que são relevantes para o complemento do estudo de caso apresentado no trabalho.

2.3.2.1.2.1 Zoneamento ambiental

O Zoneamento Ambiental, instrumento pontual e regional muito importante, serve como base para outros instrumentos de gestão ambiental menos importantes como a gestão dos recursos hídricos na abrangência macro e licenciamento ambiental e avaliação de impactos ambientais na abrangência micro.

Os critérios estabelecidos para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil estão nas diretrizes gerais e específicas do Decreto nº 4.297 (10/7/2002) que regulamenta a Lei nº 6.938, cujas diretrizes gerais e específicas estão expressas no Anexo D.

2.3.2.1.2.2 Gestão dos recursos hídricos

O Brasil, por suas dimensões continentais e diversidade geográfica, apresenta situações bastante distintas quanto à disponibilidade hídrica intra e inter-regional.

O país é afetado tanto pela escassez hídrica quanto pela degradação dos recursos causada pela poluição de origem doméstica, industrial e agrícola e pela geração de energia elétrica.

Calcula-se que, para cada metro cúbico de água captado nos rios, apenas a metade chega aos consumidores (SEIFFERT, 2007, p. 133).

A Lei n.º 9.433/97, que institui a política de recursos hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH). Em seu artigo 1º, a lei coloca como seus fundamentos:

- I – água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação dos animais;
- IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997, apud SEIFFERT, 2007, p. 133-134).

2.3.2.2 Instrumentos públicos de gestão ambiental sistêmica (abrangência micro)

Em meados da década de setenta, foram realizados, por parte das autoridades governamentais, inúmeros esforços no sentido de coibir a deterioração ambiental provocada pelos resíduos das atividades industriais. Nesse sentido foram criadas normas reguladoras para que os impactos provocados, frutos dos processos industriais e outros, como geração de energia elétrica com combustão do carvão em Candiota (RS), fossem cada vez menores. Os principais instrumentos públicos de gestão são:

- O licenciamento ambiental, composto por um grupo de três licenças: a Licença prévia (LP), a licença de Instalação (LI) e a licença de Operação (LO) que estão definidas em Resolução do CONAMA nº 237 (19/12/1997).
- A compensação ambiental é um mecanismo financeiro que compensa os efeitos dos impactos não mitigáveis, ocorridos quando da implantação de empreendimentos e se encontra regulamentada pela Lei nº 9.993 (24/7/2000)
- A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) é um instrumento complementar ao processo de licenciamento ambiental. Devido a sua importância no trabalho é feita um abordagem mais detalhada na próxima seção.

2.3.2.2.1 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

Para Sánchez (2008), o significado e o objetivo da avaliação de impacto ambiental prestam-se a inúmeras interpretações. Algumas delas são transcritas a seguir:

- atividade que visa a identificar, prever, interpretar e informar as consequências de uma determinada ação sobre a saúde e o bem-estar humanos;
- procedimento para encorajar as pessoas encarregadas da tomada de decisões a levar em conta os possíveis efeitos de investimentos em projetos de desenvolvimento sobre a qualidade ambiental e a produtividade dos recursos naturais e um instrumento para a coleta e a organização dos dados que os planejadores necessitam para fazer com que os projetos de desenvolvimento sejam mais sustentáveis e ambientalmente menos agressivos;
- instrumento de política ambiental, formado por um *conjunto de procedimentos*, capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de

suas alternativas, e que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por eles sejam considerados ;

- apreciação oficial dos prováveis efeitos ambientais de uma política, programa ou projeto; alternativas à proposta; e medidas a serem adotadas para proteger o ambiente ;
- um processo sistemático que examina antecipadamente as consequências ambientais de ações humanas;
- processo de identificar, prever, avaliar e mitigar os efeitos relevantes – de ordem biofísica, social ou outras – de projetos ou atividades, antes que decisões importantes sejam tomadas;

A Resolução 01/86 do CONAMA define como deve ser feita a AIA, criando para tanto duas novas figuras: o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Os princípios e objetivos do EIA/RIMA obedecem as diretrizes apresentadas no Anexo E desta dissertação (BRAGA, 2005).

2.3.2.2.1.1 Principais métodos de avaliação de impactos ambientais

Definimos como método de avaliação de impactos ambientais (AIA) os métodos ou técnicas estruturados para identificar, avaliar, comparar e organizar dados sobre impactos ambientais de um determinado projeto, de maneira que tais dados possam ser interpretados pelos elementos responsáveis pela tomada de decisão conforme orientações da norma ISO 14001 (seção 2.3.2.2.3.1).

De acordo com Fogliatti et al. (2004), os métodos mais utilizados para realização de um AIA são os seguintes:

- 1- Método Espontâneo (*ad hoc*) – consiste em reunir especialistas com o objetivo de levantar os prováveis impactos de um empreendimento e suas medidas mitigadoras. Tais profissionais devem pertencer a diferentes áreas.
- 2- Listagem de Controles (*check lists*) – neste método estudam-se as alternativas de projeto e as fases de diagnóstico do projeto, elaborando listas onde são enumerados os fatores ambientais de um projeto específico e seus impactos. Tem como principal objetivo levantar os impactos mais importantes nos meios físico, biótico e antrópico, caracterizando paralelamente as variáveis sociais e ambientais das áreas impactadas.
- 3- Matrizes – é um método que utiliza matrizes e que tem por objetivo a identificação dos impactos por meio impactado. Há, no caso, a necessidade do emprego de outros métodos ou técnicas complementares para o desenvolvimento de uma avaliação global da alternativa. As matrizes apresentam normalmente no eixo vertical as ações de

implantação do projeto, e no eixo horizontal, os fatores ambientais que poderão ser impactados. O impacto de cada ação sobre cada fator ambiental é dado pela interseção das linhas e colunas.

- 4- Redes de interação (*networks*) – as redes de interação procuram, a partir do impacto inicial, estabelecer relações de causa e efeito que retratam o conjunto de ações que desenvolveram o impacto direta ou indiretamente. Através desse método é possível visualizar o encadeamento entre diferentes impactos resultantes das ações antrópicas no meio ambiente, podendo mostrar o relacionamento dos impactos de primeira, segunda e terceira ordens.
- 5- Superposição de mapas – o método é baseado na elaboração de uma série de cartas temáticas associadas a cada fator ambiental. Quando superpostas, as cartas reproduzem um resumo da situação ambiental de uma determinada região, apresentando a localização do projeto e a sua área de influência.
- 6- Análise Multicritério – conhecidas as características dos impactos ambientais e considerando que os mesmos agem em momentos e intensidades diferentes, usa-se o método do multicritério utilizando uma Análise Hierárquica por meio da elaboração da hierarquia que se estrutura na relação de elementos de níveis diferentes, avaliando a hierarquia por meio de pesos atribuídos a cada nível hierárquico.
- 7- Sistemas Especialistas – são programas que têm como objetivo a solução de problemas através de uma solução prévia gerada por especialistas. As informações são armazenadas num sistema e utilizadas para a avaliação em uma base de conhecimentos que é acessada por meio de uma linguagem de programação.
- 8- Modelo *Fuzzy* – é um método que permite a avaliação das alternativas de uma forma global, inter-relacionando a técnica *ad-hoc*, a Lógica *Fuzzy* e a arquitetura das redes neurais. Esse modelo permite o tratamento de variáveis tanto quantitativas como qualitativas e possibilita a inclusão do envolvimento de especialistas e da comunidade afetada pela avaliação dos impactos ambientais.
- 9- Modelos de simulação computacionais – são modelos computacionais matemáticos que permitem a elaboração de vários cenários na avaliação de impactos ambientais. Têm por finalidade representar a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais através da complexidade das relações entre elementos quantitativos e qualitativos, físicos, bióticos ou socioeconômicos, partindo de um conjunto de hipóteses ou pressupostos. Tais modelos são úteis por explorar a não linearidade e o inter-relacionamento nas avaliações, incluindo a perspectiva temporal, permitindo a

realimentação do sistema através de um grande número de variáveis quantitativas e qualitativas, dessa maneira apresentando rapidez na execução da avaliação. Exige a presença de especialistas com conhecimentos matemáticos e experiência em computação. A aplicação de tal método depende prioritariamente da disponibilidade e qualidade de dados. Um dos modelos que apresentam o perfil acima mencionado é a modelagem computacional em ambiente STELLA, que será desenvolvida dentro do trabalho no estudo de caso apresentado.

2.3.2.3 Instrumentos de GAS na esfera privada (abrangência micro)

São instrumentos de autocontrole/auto-regulação na gestão de nível micro, relacionados com o processo produtivo da iniciativa privada envolvendo empresas de pequeno até grande porte, focados em uma eficiência que envolve a visão sistêmica que avalia não só o desempenho produtivo e econômico como também seu desempenho com relação ao meio ambiente.

Para tanto, existem vários instrumentos de gestão ambiental que a organização pode implantar e melhorar seu desempenho ambiental: A análise ambiental, as normas ISO de gestão ambiental, a Produção mais Limpa (P+L), Auditoria ambiental, Monitoramento ambiental, Rotulagem ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida do Produto, Tecnologias mais Limpas, Formação de *clusters*.

2.3.2.3.1 Análise ambiental

A Análise ambiental resulta em um diagnóstico do desempenho ambiental da organização, que são pressupostos básicos para implantação de qualquer processo de gestão ambiental como a ISO 14001.

A metodologia atualmente utilizada no processo de Análise ambiental, que faz parte do escopo da ISO 14001, foi amadurecida e simplificada da metodologia do EIA/RIMA a partir da experiência de vários especialistas. Isso particularmente importa quando a metodologia deve atender as necessidades das empresas de pequeno e médio porte, as quais utilizam alternativas bastante complexas e inadequadas para a implantação de um GAS onde a metodologia apresenta dificuldade em deixar claro ao usuário do procedimento as diferenças entre aspectos e impactos ambientais, bem como a abrangência dos impactos.

As etapas da análise ambiental, segundo Seiffert (2007), seguem as seguintes orientações:

- identificação dos impactos ambientais;
- verificação de importância dos impactos;
- sua avaliação de significância.

Depois de identificados os impactos ambientais, seus aspectos devem ser gerenciados em sua metodologia de acordo com objetivo e metas, planos de atendimento a emergência, controles operacionais e monitoramento e medições.

Transcrevemos no Anexo F, como exemplo de análise ambiental, um resumo da integração dos resultados alcançados no projeto “Estudo da contaminação hídrica e atmosférica em áreas impactadas por atividades de mineração e processamento de carvão – Região de Candiota – RS” realizados por Teixeira et al.(2004). Tal estudo serviu como referência em nosso trabalho, por ser o precursor de outros que virão com a ampliação da capacidade da usina geradora em 350 MW, fato ocorrido em meados de 2010.

2.3.2.3.2 Sistema ISO 14000

Os procedimentos para um gerenciamento eficaz das relações entre a sustentabilidade do desenvolvimento e o meio ambiente foram sendo gradativamente aperfeiçoados. A Inglaterra foi a precursora dos sistemas de gestão ambiental, dando origem a Norma BS 7750, cuja versão preliminar foi publicada em 1992 tendo como modelo a ISO 9001, a Gestão pela Qualidade Total proposta por E. Deming (1990). Os objetivos da Norma BS 7750 eram servir de ferramentas para verificar e assegurar que os efeitos das atividades de produtos e serviços de uma determinada empresa estivessem de acordo com o conceito de proteção do meio ambiente, devendo-se destacar que essa preocupação com o meio ambiente, por parte das empresas, resultou em restrições impostas pela legislação e pelo desenvolvimento de medidas econômicas e outras medidas, visando incentivar ações relacionadas à proteção ambiental.

Ao contrário da BS 7750, as normas da série ISO 14000 surgiram como normas internacionais, desenvolvidas por uma organização composta por representantes de 120 países aparecendo como uma proposta concreta da ECO - 92 para gestão ambiental a partir de normas de natureza voluntária. Para implantação do processo percebem-se nas normas dois focos básicos. O foco na organização que propõe a implantação da gestão em nível organizacional compreendendo o seguinte grupo de normas:

- a) sistema de gestão ambiental - A ISO 14001 que permite a certificação de GAS enquanto que a ISO 14004 visa a implantação de requisitos da ISO 14001 e não é certificável;
- b) auditoria de GAS – ISO 1901;

c) avaliação de desempenho ambiental- ISO 14031.

Com foco no produto e no processo surge um grupo de normas que buscam normatizar o produto e o processo produtivo através dos seguintes procedimentos:

- a) da rotulagem ambiental- ISO 14020, ISO 14021 e ISO 14024;
- b) da avaliação do ciclo de vida- ISOs 14040, 041, 042, 043, 044, 047, 049;
- c) dos aspectos ambientais em Normas de produtos- ISO/CD 14060.

2.3.2.2.3.1 Gestão ambiental sistêmica (GAS) e a ISO 14001

A norma ISO 14000 é uma norma que vem evidenciando ser, desde a sua primeira versão, um instrumento sistêmico eficiente para o processo de gestão ambiental organizacional. A abordagem básica com relação aos requisitos estabelecidos pela Norma ISO 14001 é apresentada na figura 3.

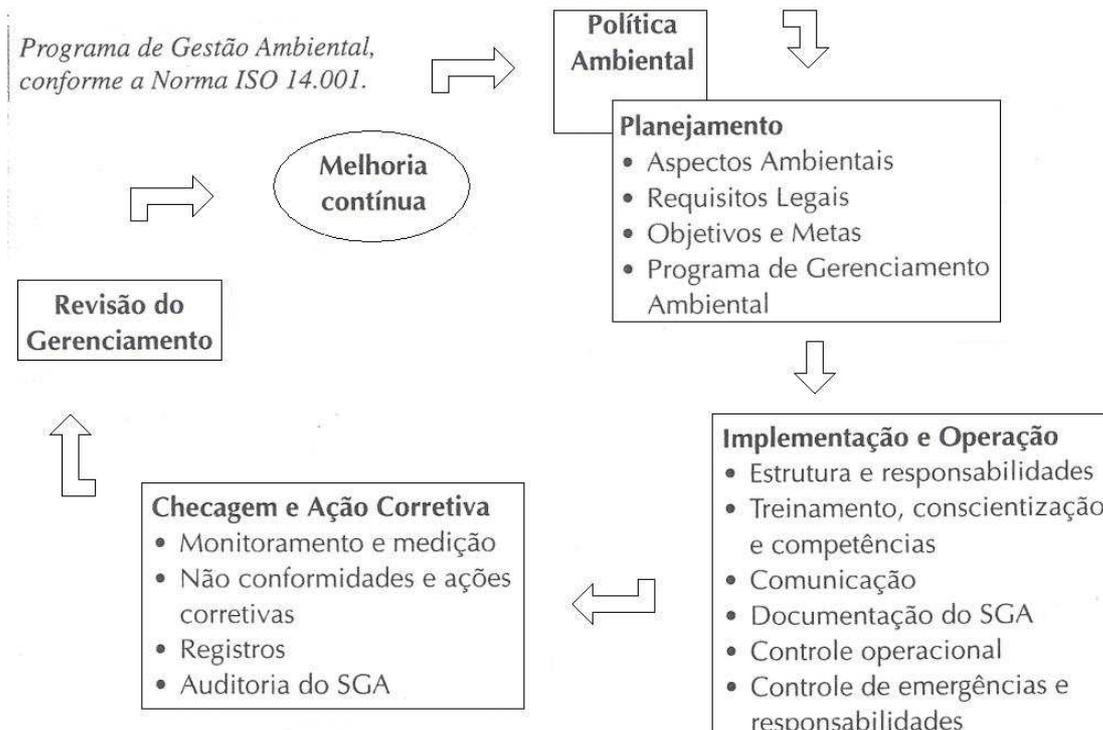


Figura 3 – Programa de gestão ambiental conforme a Norma ISO 14.001

Fonte: adaptado de Braga et al. (2005)

A ISO 14001 apresenta como característica principal a exigência de que a organização cumpra os padrões de desempenho mínimo estabelecido pela regulamentação nos níveis municipais, estadual e federal tendo sido delineada segundo o modelo da BS 7750 e consequentemente pela ISO 9001.

Nesse sentido, a ISO 14001 orienta o gerenciamento das atividades e dos aspectos ambientais decorrentes de processos, produtos e serviços das organizações e suas

características mais importantes são o pensamento proativo que abrange todos os membros da organização na proteção ambiental, clientes, fornecedores, sociedade e outros, podendo ser utilizada em qualquer tipo de organização industrial ou de serviço de qualquer ramo de atividade estabelecendo os seguintes princípios de um SGA:

- 1) Compromisso com o estabelecimento de uma política ambiental mediante uma avaliação ambiental inicial que deve ser definida pela alta administração da empresa.
- 2) Formulação de um plano para o cumprimento da política ambiental, através da identificação de aspectos ambientais e avaliação de impactos ambientais correlatos, caracterização dos requisitos legais envolvidos, definição de critérios internos de desempenho, estabelecimento de objetivos e metas ambientais e um Programa de Gestão Ambiental.
- 3) Criação e capacitação de mecanismos de apoio a políticas, objetivos e metas ambientais.
- 4) Medição e monitoramento do desempenho ambiental das atividades que podem causar impacto significativo ao mesmo tempo em que devem ser estabelecidos os procedimentos referentes às ações corretivas que devem ser tomadas para eliminar as causas reais ou potenciais que poderiam resultar em impactos no meio ambiente.
- 5) Análise crítica com o fim de alcançar a melhoria contínua do desempenho do GAS de forma a assegurar que este continue adequado e efetivo. Nessa revisão, devem ser verificadas as necessidades de mudanças na política, os objetivos e outros elementos do GAS, tomando-se como base os resultados obtidos nas auditorias do sistema. A implantação de um GAS é baseada no Ciclo PDCA (em português, Planejamento, Execução, Verificação e Ação), que nada mais é do que um procedimento sistematizado e estruturado para o planejamento, implantação, verificação e revisão das estratégias para obtenção da melhoria do desempenho ambiental da organização. A figura 4 mostra as relações entre as normas da série ISO 14000 e o ciclo PDCA (BRAGA et al., 2005).

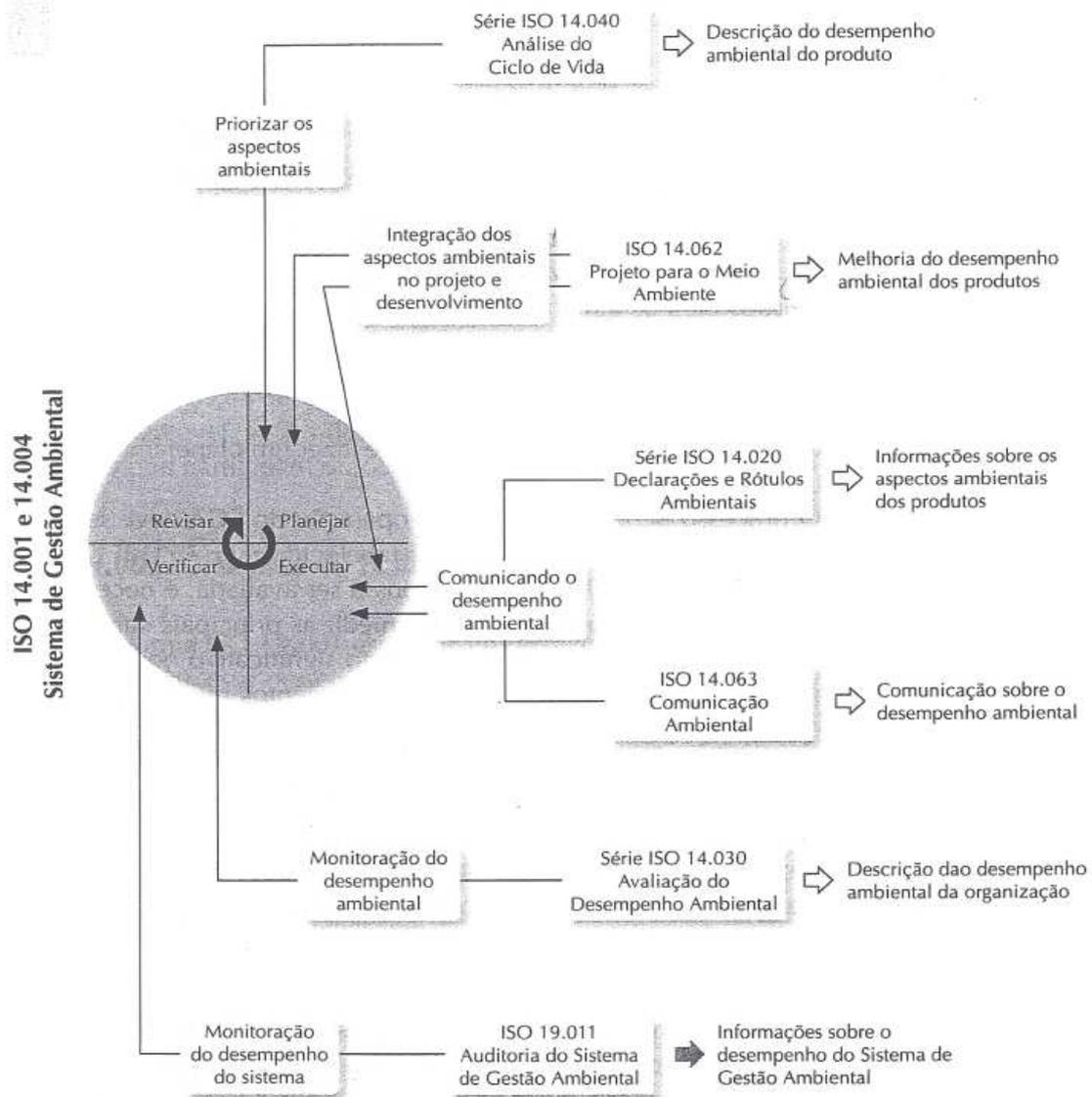


Figura 4 – Modelo de implantação de um sistema de gestão ambiental pela série 14000.
 Fonte: Adaptado de Braga et al., 2005, p. 292.

Um GAS desenvolvido e implantado de acordo com a ISO 14001 pode ser certificado por uma organização independente ou, então, pode ser utilizado para que a empresa possa emitir uma auto-declaração de conformidade com a norma, de maneira a se posicionar no mercado, ressaltando-se que para o mercado a certificação é necessária.

2.4 A Educação Ambiental (EA)

Dentro da evolução de nossa cultura, baseada no antropocentrismo, utilitarismo e na instrumentação apoiada por uma ciência que separa o homem da natureza, as ciências sociais das naturais, as relações sociais, políticas, culturais e econômicas, emerge a Revolução Industrial, que, sendo precursora do capitalismo contemporâneo, deu luz ao atual MDE.

Para Dias (2006), tal MDE, estando fundamentado no lucro a qualquer custo, se associa à lógica da produção – consumo sempre crescente. Dentro dessa proposta, o binômio produção-consumo acaba por gerar maior pressão sobre os recursos naturais, tendo como consequência maior degradação do meio ambiente. Essa degradação reflete-se na perda da qualidade de vida, por condições inadequadas de moradia, poluição em todas as suas expressões (consumo de matéria-prima, água, energia elétrica, combustíveis fósseis, desflorestamento, etc.), destruição dos habitats naturais e intervenções desastrosas nos mecanismos que sustentam a vida na Terra, gerando a crise socioambiental contemporânea.

Para reverter tal situação, a promoção da sustentabilidade salta da utopia para assumir o papel de estratégia para sobrevivência da espécie humana, buscando na EA um importante instrumento de materialização na busca de um novo paradigma, de um novo estilo de vida. A temática da EA é abordada com mais profundidade no artigo a ser publicado pelo pesquisador na *Revista de Ciências Ambientais*, da Unilasalle, intitulado “A Educação Ambiental (EA) na universidade e na empresa” (co-autoria com Rubens M. Kautzmann – Anexo B desta dissertação).

2.5 A interdisciplinaridade e o novo paradigma da ciência

O modelo de racionalidade que preside a ciência moderna, temática abordada nos aspectos filosóficos da natureza, foi idealizado a partir da revolução científica do século XVI, formulado por Descartes através da separação do sujeito do objeto, e tem como base as ciências naturais. Fala-se de um modelo global, totalitário, na medida em que nega o caráter racional de todas as formas de conhecimento que não se embasaram nos seus princípios epistemológicos e regras metodológicas.

É um método no qual a visão do mundo e da vida está pautada em duas dimensões fundamentais: o Senso Comum e o Conhecimento Científico; por um lado a natureza, do

outro, a pessoa humana. Tal separação entre o homem e a natureza se embasa na quantificação da matemática e no método científico fortalecido pela redução da complexidade.

2.5.1 A interdisciplinaridade sob a ótica de Edgard Morin

Cada vez mais as disciplinas se fecham e não se comunicam entre si. Os processos são fragmentados e não reconhecemos a sua unidade. Cada disciplina pretende impor a sua soberania territorial, demarcando firmemente as suas fronteiras. Esse procedimento, amparado pelos princípios fundamentais da ciência da matematização, da formulização nos permitiram o enclausuramento disciplinar e nos privou do direito à reflexão. Nesta situação, em que o sujeito é despossuído do direito de pensar, em que lhe faltam algumas propriedades de reflexão e de consciência própria do espírito, do cérebro humano, cria-se, segundo Morin (2005), um subpensamento. Como resolver o problema do saber, quando o paradigma científico é incapaz de responder, visto que se baseou na exclusão do sujeito?

Nesse momento temos que questionar a separação total do sujeito/objeto, em que o monopólio do sujeito é entregue à especulação filosófica. O saber precisa ser pensado e repensado, não com uma pequena base de conhecimentos, como nos séculos XVI e XVII, mas no estado de proliferação, dispersão e parcelamento dos conhecimentos. Como proceder para pensarmos o saber atual de uma maneira diferente?

Segundo Khun (2005) a ciência não se desenvolve por acumulação de conhecimentos, mas por transformação dos princípios que organizam o conhecimento. Ela não se limita a crescer, ela transforma-se. Esqueceu-se que as teorias científicas, ao excluir o sujeito do objeto, não são o puro reflexo da realidade e que, advindo das experimentações e constatações de diversos observadores, são co-produtos das estruturas do espírito humano e das condições socioculturais. Assim, amparado no método cartesiano, a física, a biologia, a antropossociologia tornaram-se ciências totalmente distintas, e quando se quer associá-las, é por redução do biológico ao físico-químico, do antropológico ao biológico.

Para Morin (2005), precisamos promover uma interdisciplinaridade, um paradigma que permita distinguir, separar, opor e, portanto, dividir os diferentes conhecimentos científicos, de maneira que possamos comunicá-los sem operar a redução. Segundo o autor, é preciso um paradigma da complexidade, que os associe e ao mesmo tempo separe, concebendo a emergência da realidade sem os reduzir às unidades elementares e às leis gerais.

Ao considerar os três grandes domínios: física, biologia e antropossociologia, como fazê-los comunicarem-se? Morin (2005) sugere uma comunicação em circuito; primeiro movimento: há que enraizar a esfera antropossocial na esfera biológica, porque não é sem problema nem sem consequência, que somos seres vivos, animais sexuados, vertebrados, mamíferos, primatas.

Segundo o autor, temos que operar o sentido inverso: a ciência física não é puro reflexo do mundo físico, mas uma produção cultural, intelectual, cujos desenvolvimentos dependem de uma sociedade e das técnicas de observação/experimentação produzidas por essa sociedade. Para Morin (2005), faz-se necessário enraizar o conhecimento físico, e igualmente o biológico, numa cultura, numa sociedade, numa história, numa humanidade. A partir daí cria-se a possibilidade de comunicação entre as ciências, e a ciência interdisciplinar é a que poderá desenvolver-se a partir dessas comunicações, dado que o antropossocial remete ao biológico, que remete ao físico, que remete ao antropossocial. Segundo o autor, devemos ir do físico ao social e também ao antropológico, porque todo conhecimento depende das condições, possibilidades e limites do nosso entendimento, isto é, do nosso espírito-cérebro de *Homo sapiens*.

2.5.2 A articulação dos conhecimentos e a emergência do saber ambiental

A complexidade da degradação ambiental gerada pelo atual modelo de desenvolvimento econômico (MDE) e a necessidade de analisá-la tendo como base uma abordagem centrada nos sistemas socioambientais complexos, criaram a necessidade de integrar ao seu estudo um conjunto de conhecimentos de diferentes campos do saber.

A convergência de um conjunto de disciplinas envolvidas na problemática ambiental, mediante uma análise da realidade, gerou um processo de intercâmbio teórico metodológico, conceitual e terminológico onde, a transferência relativa e a generalização de metodologias, o uso metafórico de noções, a importação estratégica de analogias e conceitos entre diferentes teorias, sempre manifestadas na história da ciência, é agora reforçada e condicionada pelo potencial aplicativo do conhecimento.

Tais intercâmbios teóricos tiveram comprovação nos avanços técnicos e metodológicos que incorporaram a economia, a ecologia, a antropologia, o planejamento, entre outras.

Dessa forma, segundo Santos (2006), os efeitos positivos dos intercâmbios conceituais entre disciplinas científicas e a internalização do saber ambiental dentro dos paradigmas

teóricos podem contribuir para compreender melhor a articulação dos processos ecossistêmicos, geográficos, econômicos, culturais e sociais que caracterizam os problemas ambientais.

Entretanto, a avaliação dos efeitos de conhecimentos gerados por esses processos interdisciplinares apenas pode ser feita a partir de critérios de cientificidade de cada teoria e dentro da especificidade de sua prática científica. Dessa forma, cada disciplina impõe suas condições de aceitação ou rejeição, assim como suas formas possíveis de assimilação e incomparação de teorias e métodos externos.

Sendo assim, o conceito de racionalidade ambiental (LEFF, 2006) sustenta-se nas modificações do conhecimento que incentiva as questões ambientais para um sistema de paradigmas científicos, imobilizando, articulando e intercambiando um conjunto de saberes técnicos e práticos, associados, ao reconhecimento, valorização e formas de uso dos recursos naturais.

Dessa maneira, o tema meio ambiente, considerado como base para enfrentar a sustentabilidade do desenvolvimento, chega às universidades num momento em que estas continuam a trabalhar os conteúdos de forma fragmentada e isolada (LEFF, 2003), dentro de um contexto sistêmico, perdendo, assim, a capacidade de pensar os problemas concretos, afastando-se cada vez mais da realidade, que está em permanente mutação.

Mas, mesmo sob o impacto dessa compartimentalização, propomos encontrar na introdução da EA como tema transversal aos currículos de Engenharias, uma dimensão essencial do processo pedagógico que nos permita adotar:

- uma atitude interdisciplinar que busca a compreensão da complexidade das relações entre sujeitos, dos sujeitos consigo mesmos e com os objetos que os circundam, a fim de recuperar os sentidos da relação enigmática do ser humano com a realidade.
- a pesquisa interdisciplinar, que, ao pressupor uma pluralidade epistemológica, requer a integração de processos dialéticos e dialógicos que emergem da pesquisa e mantêm o conhecimento como um sistema aberto;
- a ação interdisciplinar, que propõe a articulação da formação do ser humano na sua relação com o mundo, com os outros, consigo mesmo, com o ser e também com o conhecimento formal e o não formal. Procura, assim, uma mediação dos conflitos que emergem no contexto local e global, visando à paz e a colaboração entre as pessoas e entre as culturas, mas sem desconsiderar o contraditório e a valorização de sua expressão.

Para Leff (2003), a educação ambiental (EA), para uma efetiva gestão ambiental sistêmica (GAS), abarca possibilidades, potencialidades e amplitudes que, aliadas à interdisciplinaridade, oportunizam ao homem a integração com a natureza. É uma educação voltada para o meio ambiente que avalia o conhecimento como global em detrimento da hiperespecialização dos conteúdos, onde a questão da complexidade ambiental necessita de uma abordagem holística, de um enfoque sistêmico e de um tratamento interdisciplinar. Nesse contexto, a EA, com a construção de um panorama transversal, passa a ser a prática que estabelece a inter-relação (informação) entre as disciplinas e os saberes (subsistemas) e o ambiente externo, onde o conhecimento (sistema aberto) procura pelo objetivo que é a sustentabilidade do desenvolvimento (SD). Ainda nesse trabalho, convidando para uma abordagem interdisciplinar, verifica-se a possibilidade de um estudo sistêmico viabilizado pelas tecnologias da informação, tomando como referência o *software* STELLA, mediante um ambiente computacional de experimentação que auxilie na gestão ambiental, apresentando saídas gráficas geradas e intercambiadas num processo de análise que envolve o estudo de áreas impactadas pela utilização do carvão.

2.6 Lei da oferta e da procura e o modelo de desenvolvimento econômico

Nesta seção procura-se esclarecer as dinâmicas socioeconômicas, adotadas pelas organizações, no que diz respeito à produção de bens e serviços, suas interações com o meio ambiente, aproximando assim tais conhecimentos, através da EA, dos instrumentos que envolvem a GAS, na busca da materialização da visão da sustentabilidade do desenvolvimento.

Como a maioria das organizações entende a natureza como fonte inesgotável de recursos, destinados à produção dos bens e serviços, buscamos, dentro destes conteúdos, interpretar as interações sistêmicas que acontecem entre os humanos/humanos e humanos/natureza na busca da satisfação de suas necessidades, questionando as ações dos consumidores e produtores, que em última instância, acabam por dar sustentação à proposta entrópica do atual sistema econômico mundial. Em outras palavras, procuramos ressaltar como evoluíram as práticas de gestão que nos encaminharam até o presente MDE.

Justifica-se o trabalho por adotarmos como estudo de caso os impactos advindos da geração de energia elétrica em Candiota, sendo esse processo um dos agentes propulsores da

produção de bens e serviços que, ao satisfazer o atual MDE, acaba por cooperar com um modelo de produção que se torna cada vez mais ambientalmente desfavorável.

Propusemos assim, dentro de um panorama interdisciplinar, associar diferentes fatores, entre eles os socioeconômicos, que integrados sistemicamente, pudessem colaborar com estudos mitigadores dos impactos ambientais gerados nos processos de produção.

Ainda justificamos a temática da seção, por reforçar, através da interdisciplinaridade, um conhecimento que, apropriado por educandos e gestores, lhes permitirá, nos processos que envolvem a produção de bens e serviços, adotar uma posição crítica no que diz respeito à atual realidade socioeconômica de um mundo globalizado.

2.6.1 Adam Smith e o capitalismo

Em *A riqueza das nações*, publicado em 1776 (aqui utilizada a edição de 2009), Adam Smith, considerado um dos pais da Economia, discute a respeito da divisão do trabalho, entendendo que a solução dos problemas econômicos da sociedade deveria ser encontrada em função das leis de mercado, ou seja, as leis da oferta e da procura, na interação do interesse individual e na livre concorrência.

Smith defendeu ainda a não interferência do estado nos assuntos da economia, por acreditar que os governos são incapazes e tendenciosos no que diz respeito a outorgar privilégios especiais a determinadas classes sociais em detrimento da sociedade como um todo. Na teoria de Smith, os capitalistas seriam os principais agentes econômicos; a renda seria transformada em acumulação, o lucro seria o propulsor da velocidade dessa acumulação, como também da taxa de expansão econômica, ou seja, a teoria da acumulação seria a mola propulsora da melhoria e do crescimento econômico da sociedade, sendo tal modelo, que exclui de seus propósitos a finitude dos recursos naturais, o adotado pela maioria das economias do mundo.

O capitalismo está voltado para a fabricação de produtos comercializáveis, denominados *mercadorias*, cujo objetivo é a obtenção do *lucro*. Esse sistema se baseia na *propriedade privada dos meios de produção*: todos os utensílios, ferramentas, matérias-primas e edificações utilizados na produção pertencem aos agentes econômicos (os capitalistas).

Até o início do século XX, podia-se analisar o sistema capitalista pela oposição de duas classes sociais: a burguesia, detentora do capital, e o proletariado, formado pelos

trabalhadores. Cada vez mais, porém, as transformações econômicas, sociais e tecnológicas e o aprofundamento da divisão social do trabalho têm inserido elementos novos na sociedade capitalista, de modo que hoje é preciso considerar fatores como o surgimento de novas atividades e novas práticas profissionais necessárias para atender às exigências de um mercado cada vez mais globalizado e diversificado.

Aspectos como o poder da mídia sobre a opinião pública, a manipulação exercida pela indústria da propaganda, o acesso à cultura e à tecnologia, a especialização do trabalho, a terceirização da mão-de-obra, a redução da oferta de empregos e o aumento populacional estabelecem uma relação de produção e consumo entre todos os agentes econômicos que ganha cada vez mais destaque, gerando por decorrência um sistêmico fluxo de bens e serviços, fatores produtivos, incentivados pelo MDE adotado pela maioria dos países do mundo, que, por consequência, utilizam a natureza imaginando-a com fonte ilimitada de recursos.

Cabe ressaltar que o fluxo de energia que alimenta os fatores de produção, dentro do sistema de mercado, é direcionado à geração e acumulação de riquezas de pessoas, organizações e países e, na maioria das vezes, não é renovável. Esse consumo vem evoluindo conforme a figura 1. A energia elétrica, cuja geração utiliza como matéria-prima o carvão mineral, acaba por ocasionar um novo fluxo de rejeitos e poluição que retorna ao meio ambiente, conforme os estudos em Teixeira (2004).

2.6.2 Bens e serviços

De acordo com Rosseti (1990), a ciência econômica define bens e serviços como tudo aquilo que permite a satisfação das necessidades humanas, podendo ser materiais e imateriais. E classifica os bens e serviços em três categorias:

a) quanto a sua raridade, os bens e serviços são classificados em livres e econômicos. Os bens livres são aqueles que existem em quantidade ilimitada e podem ser obtidos com pouco ou nenhum esforço humano. Já os bens econômicos são relativamente escassos e supõem a ocorrência de esforço humano na sua obtenção, por esse motivo possuem preço.

b) quanto a sua natureza, os bens se classificam em bens de consumo e bens de capital. Os bens de consumo são aqueles diretamente utilizados para a satisfação das necessidades humanas e podem ser duráveis, usados por muito tempo. Os bens de capital são aqueles que permitem produzir outros bens, como as máquinas, computadores, equipamentos, etc.

c) quanto às funções dos bens e serviços, podemos classificá-los em finais e intermediários. Os bens finais são aqueles que já passaram por todos os processos de transformação, estão acabados. Os bens intermediários são aqueles que ainda precisam ser transformados para atingir sua forma definitiva.

Assim, em todos os sistemas econômicos, podemos afirmar que o ser humano, em convívio social, procura de alguma maneira satisfazer as suas ilimitadas necessidades, mediante a demanda ou consumo de bens e serviços, voltando-se para o trabalho ou produção, procurando a elevação do seu padrão de vida, o que incentiva a evolução tecnológica, que acaba, em última instância, utilizando os finitos recursos da natureza.

2.6.3 Lei da oferta e da procura

Num sistema econômico, segundo Rosseti (1990), para que haja circulação de bens e serviços e dos fatores de produção, o que configura a produção e o consumo, fazem-se necessárias as figuras dos compradores ou demandantes e dos vendedores ou ofertantes. A interação entre esses personagens, os ofertantes e demandantes, define a frequência e a intensidade da circulação de bens e serviços e é comandada pela Lei da Oferta e da Procura. A teoria de oferta e procura explica os preços e as quantidades dos bens transacionados numa economia de mercado e as respectivas variações. Na teoria microeconômica em particular, refere-se à determinação do preço e quantidade num mercado de concorrência perfeita, e tem tido um papel fundamental na construção de modelos para outras estruturas de mercado e outras abordagens teóricas.

2.6.3.1 Lei da procura

Segundo Rosseti (1990, p. 231), a procura dirigida a determinado produto pode ser definida como as várias quantidades que os consumidores estarão dispostos e aptos a adquirir em função dos vários níveis de preços possíveis em determinado período de tempo. A lei da procura diz que, em regra geral, o preço e a quantidade demandada num determinado mercado estão inversamente relacionados. Em outras palavras, quanto mais alto for o preço de um produto, menos pessoas estarão dispostas ou poderão comprá-lo. Quando o preço de um bem sobe, o poder de compra em geral diminui e os consumidores mudam para bens mais baratos. Conforme é observado na figura 5, uma curva típica de procura evidencia que as quantidades

procuradas diminuem à medida que os preços aumentam. São inversas as relações preço x quantidade (ROSSETI, 1990, p. 235).

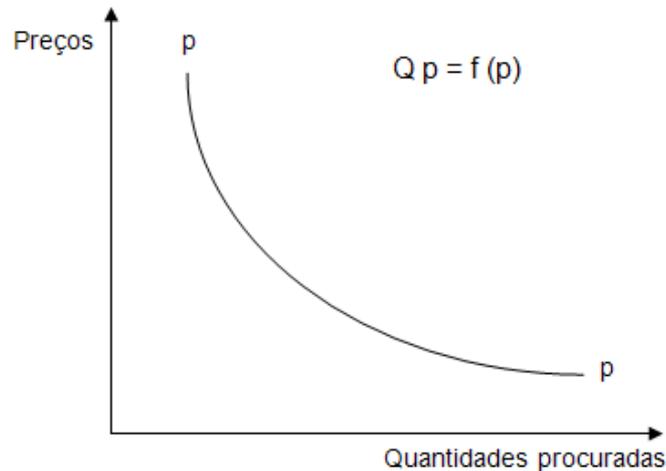


Figura 5 – Curva da procura ou demanda
Fonte: Rosseti (1990)

2.6.3.2 Lei da oferta

A oferta em determinado produto pode ser definida como as várias quantidades que os produtores estarão dispostos e aptos a oferecer no mercado, em função dos vários níveis de preços possíveis em determinado período de tempo (ROSSETI, 1990, p. 239). Em outras palavras, a oferta é a relação entre o preço de um bem e a quantidade que os fornecedores colocam à venda para cada preço desse bem. A oferta é normalmente representada por meio de um gráfico relacionando o preço com a quantidade ofertada. Assume-se que os produtores maximizam o lucro, o que significa que tentam produzir a quantidade que lhes dará o maior lucro possível. A oferta é tipicamente representada como uma relação diretamente proporcional entre preço e quantidade. A figura 6, que mostra a curva típica de oferta, evidencia que as quantidades ofertadas aumentam à medida que os preços aumentam. São diretas as relações preço x quantidades.

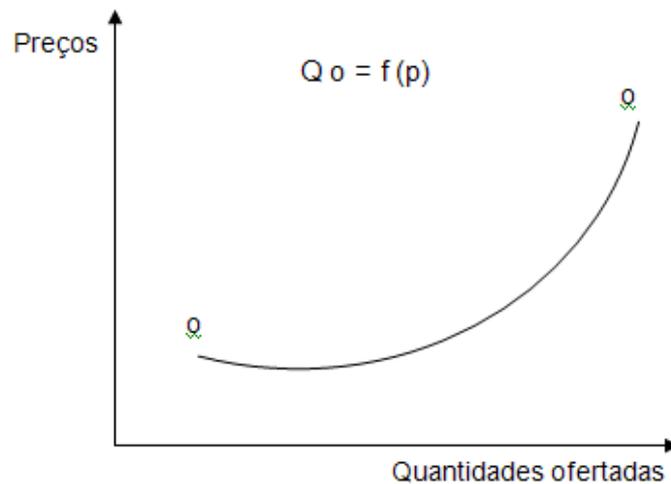


Figura 6 – Curva da oferta
Fonte: Rosseti (1990)

2.6.3.3 Interação da procura e da oferta: o preço de equilíbrio

O preço de equilíbrio é o que ajusta os interesses dos que realizam a oferta e dos que exercem a procura.

A situação de equilíbrio, segundo Rosseti (1990), é um único preço, que harmoniza os interesses conflitantes dos produtores e dos consumidores.

O preço de equilíbrio é determinado pela intersecção das curvas da procura e da oferta (Figura 7).

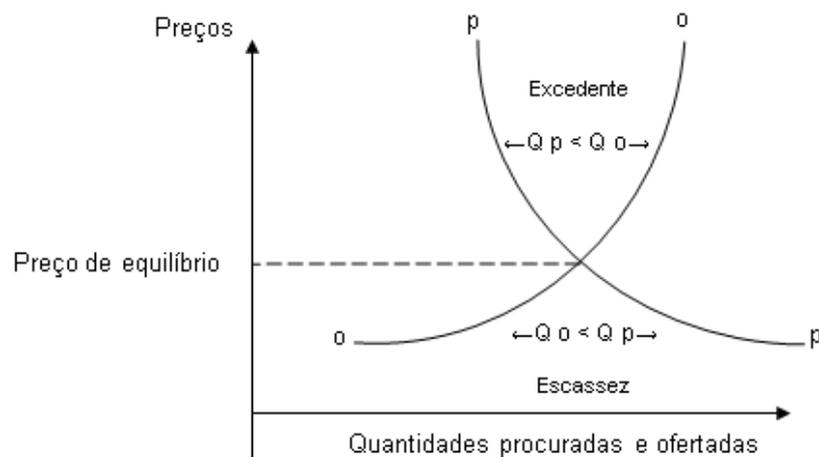


Figura 7 – Ponto de equilíbrio de mercado
Fonte: Rosseti (1990)

Em outras palavras, quanto maior for o preço pelo qual uma mercadoria pode ser vendida, mais produtores estarão dispostos a fornecê-la. O preço alto incentiva a produção. Em oposição,

para um preço abaixo do equilíbrio, há uma falta de bens ofertados em comparação com a quantidade demandada pelo mercado. Isso faz com que o preço caia. O modelo de oferta e demanda prevê que, para curvas de oferta e demanda dadas, o preço e quantidade se estabilizarão no preço em que a quantidade ofertada é igual à quantidade demandada. Esse ponto é a intersecção das duas curvas apresentadas na figura 7, o equilíbrio de mercado.

De acordo com Garcia Vergara (2000), entendemos que as Leis da oferta e demanda, por desempenharem um papel importante no modelo capitalista, acabam por estimular a produção, o consumo e o lucro, incentivando com isso o atual MDE que, ao propor um crescimento econômico contínuo, acaba por estimular o esgotamento dos finitos recursos naturais.

2.6.4 Modelo de desenvolvimento econômico (MDE)

O atual MDE capitalista, presente na maioria dos países, comandados pela lei da oferta e da procura, na busca da satisfação das necessidades básicas de uma população que cresce exponencialmente (ver figura 8), conduz uma ilimitada demanda por resultados econômicos representados pelo lucro, através do fluxo de bens e serviços e fatores de produção, em que o controle do consumo dos limitados recursos naturais é ignorado.

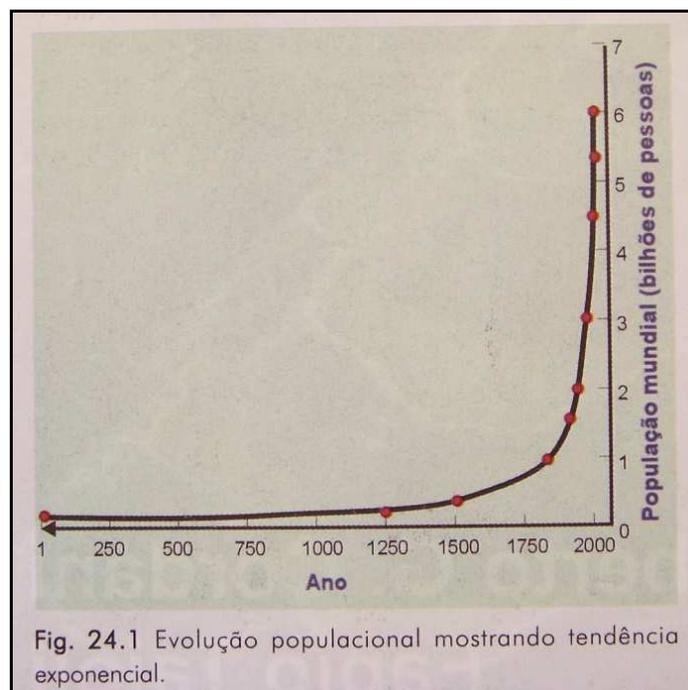


Figura 8 – Evolução populacional mostrando tendência exponencial
Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2003)

Dias (2000), fazendo uma análise crítica ao sistêmico contexto socioambiental imposto pelo MDE, registra a influência do sistema financeiro internacional nos sistemas políticos, de educação e informação em quase todas as partes do mundo, legando-nos uma situação socioambiental insustentável, conforme conclusão da Rio-92. Em suas apreciações sobre o modelo de desenvolvimento, o autor enfatiza que o consumismo e a exclusão social nos encaminham para uma degradação ambiental que, em última análise, nos remete à perda da qualidade de vida e da experiência humana.

Dentro dessa perspectiva e da apresentada por Meadows (1999) (Figura 1), o MDE apresentado por Dias (2000, p. 97) mostra um panorama do funcionamento das complexas e dinâmicas relações sociais e econômicas em diferentes culturas do mundo, procurando ressaltar a necessidade de uma nova postura diante do atual estado de degradação do meio ambiente, resultante da busca incessante da produção e consumo de bens e serviços, em que os indivíduos, de maneira geral, são cada vez mais usados como consumidores e incentivadores fundamentais para manutenção das organizações empresariais capitalistas.

Em tal MDE, o papel das empresas é baseado num antiético sistema de economia de mercado que visa ao lucro como meta fundamental, que envolve uma produção, que necessita de um rápido consumo para gerar lucro cada vez maior, através da exploração do trabalho pelo capital, acelerando a elevação da produção de bens e serviços através das empresas, com conseqüente pressão sobre os recursos naturais. Estes, segundo Dias (2000, p. 96), são vistos como um grande supermercado natural gratuito, de reposição infinita dos estoques, onde se privatizam os benefícios e se desprezam e socializam os custos.

Para Dias (2000), o binômio produção-consumo acaba por gerar maior pressão sobre os recursos naturais (consumo de matéria-prima, água, energia elétrica, combustíveis fósseis etc.), desrespeitando a capacidade normal desses recursos, acarretando maior degradação ambiental, como desflorestamento, destruição dos habitats, poluição das águas e ar, acarretando sérios desequilíbrios do meio ambiente, enfim, uma situação socioambiental insustentável.

Assim, com a população mundial crescendo exponencialmente, disputando acirradamente padrões de consumo que, em última análise, acabam por gerar grandes impactos nos ecossistemas, justifica-se uma mudança de paradigma que promova a possibilidade de um desenvolvimento sustentável, distinto do crescimento econômico às custas dos finitos recursos naturais, apresentando a EA como um instrumento de educação transversal, que possibilite propostas em que possamos sair da utopia e encontrar uma estratégia para implantação de um novo estilo de vida que permita a sobrevivência do homem

no planeta. Apresentamos na figura 9, proposta por Dias (2000), o funcionamento e consequências socioambientais causadas pelo MDE praticado em quase todos os países do mundo, responsáveis pelo consumo de 80% dos recursos naturais da terra e por 80% de toda a poluição nela depositada, tendo como objetivo final o lucro financeiro acima de qualquer interesse.

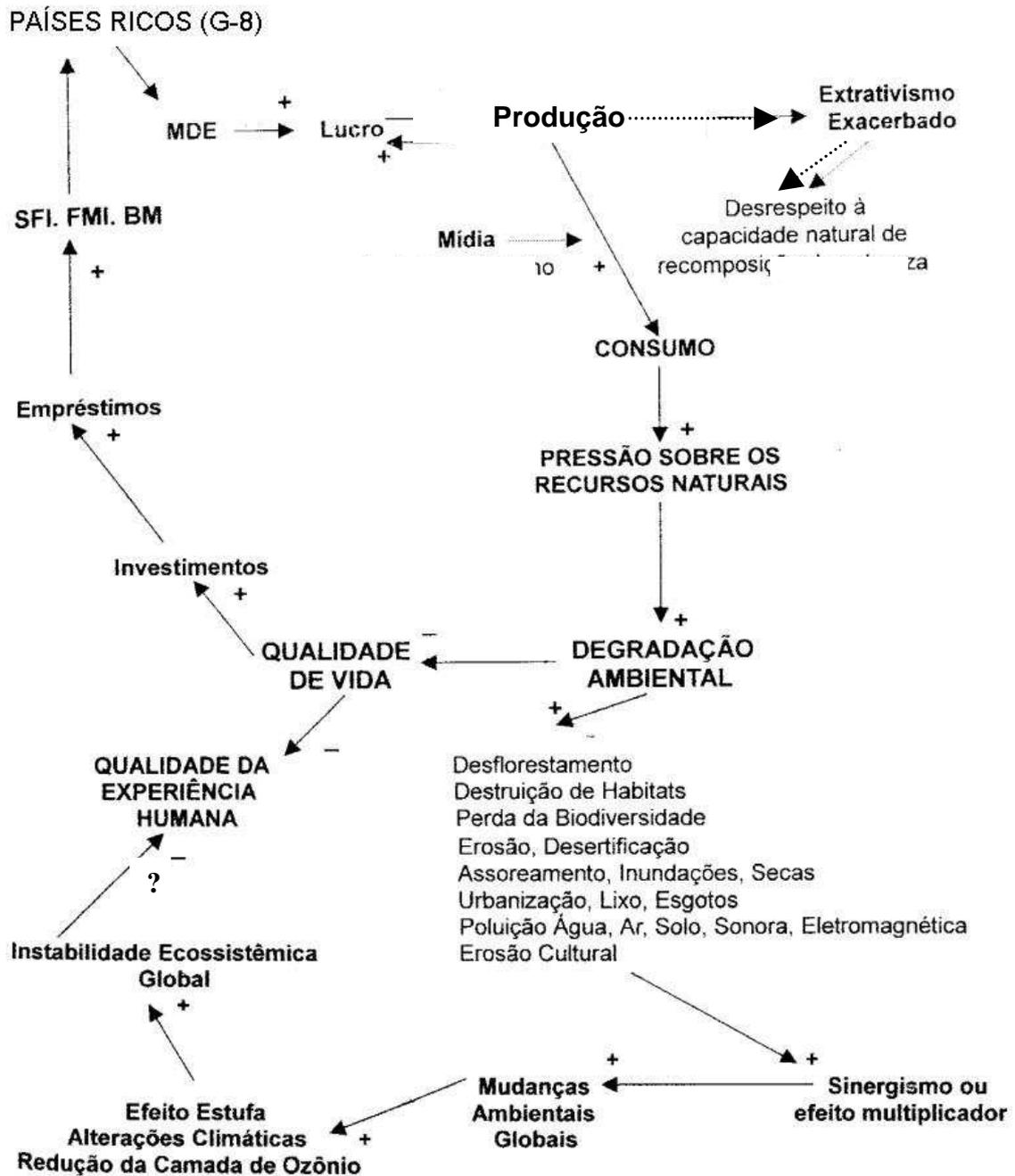


Figura 9 – Modelo de desenvolvimento econômico
Fonte: Adaptado de Dias (2000)

Portanto, à luz dos temas anteriormente apresentados, frente à interdisciplinaridade existente entre este assunto e os temas abordados nas diferentes seções do trabalho, todas pertinentes à EA e seus objetivos, propomos a introdução do pensamento sistêmico nos processos pedagógicos que, conforme os conteúdos eliciados nos mapas conceituais, enfatiza a complexidade das relações de produção e consumo que ocorrem entre as pessoas e as organizações, balizadas pelo atual MDE, e as consequências dessas relações com o meio ambiente.

Tais estudos são básicos para o sistema conhecimento que, interagindo com o estudo de caso, possibilitará, no futuro próximo, a elaboração de um material instrucional que municiará nossos estudos, servindo de instrumento de GAS, propondo uma política ambiental que promova os aspectos éticos, incentivando assim uma melhor experiência de vida, em detrimento a um desenvolvimento econômico voltado exclusivamente para acumulação de riquezas materiais.

2.6.5 A terra, sua ocorrência, seu uso e suas limitações

Após a análise da disponibilidade, formação e importância de cada um dos recursos básicos de produção, examinaremos agora o fator terra. Segundo a denominação da análise econômica (ROSSETI, 1990), esse fator inclui não apenas a oferta total de terras aráveis, mas todo um conjunto de elementos naturais que se encontram no solo, no subsolo, nos rios, nos lagos, nos mares e nos oceanos, os minerais, a flora, a fauna, os climas e os índices pluviométricos, englobando todos os recursos e condições existentes na natureza, dos quais o homem extrai os bens necessários para sua sobrevivência. Entretanto, tais reservas naturais não são ilimitadas nem economicamente livres.

A despeito das renovadas possibilidades tecnológicas e medidas aplicadas na maior parte das nações para a conservação do fator terra, aparece quase inteiramente a quebra do equilíbrio homem-natureza. O crescimento econômico está limitado pelo esgotamento das reservas naturais. A imoderada e destrutiva expansão industrial que pressiona e exaure rapidamente as reservas da natureza poderá levar a humanidade à catástrofe. A continuidade do crescimento econômico não pode ser sustentada apenas por mais capital, melhor tecnologia e mais agressivo comportamento empresarial. É preciso repensar rapidamente a limitação da própria capacidade dos sistemas econômicos.

Se as tendências observadas no modelo de Meadows (figura 1) continuarem, mantendo-se a acelerada e irracional exaustão das reservas naturais, os níveis de produção *per capita* declinarão nas primeiras décadas do nosso século. A inanição e a redução demográfica sobrevirão pouco depois.

Do exposto, nos associamos à proposta dos que entendem ser necessária a conscientização das novas gerações, de países desenvolvidos ou não, sobre os efeitos danosos das políticas ambientais até agora adotadas. Os já desenvolvidos devem ser alertados para o consumo destrutivo, que contribui para a exaustão acelerada dos recursos naturais e não-renováveis; os subdesenvolvidos, para sua expansão demográfica imoderada e para a inexistência de políticas de conservação das reservas naturais quase sempre exploradas em caráter predatório, fruto do desconhecimento de técnicas de conservação ou reposição.

2.7 Ecossistemas

Ecossistema é a unidade básica da ecologia. É definido por Braga et. al.(2005), como uma organização constituída por todas as comunidades que vivem e interagem em uma determinada região e pelos fatores abióticos que atuam sobre essas comunidades. O ecossistema é um sistema estável, equilibrado e autossuficiente que apresenta em toda a sua extensão características topográficas, climáticas, pedológicas, botânicas, zoológicas, hidrológicas e geoquímicas praticamente invariáveis.

Dentro desse contexto, consideramos dois fatores: os bióticos, que são as interações das diferentes populações (seres vivos) de animais, plantas e bactérias, e os abióticos, que são os fatores externos (matéria inorgânica) como a água, o solo, o gelo e o vento. Assim, podemos entender o ecossistema como um conjunto de comunidades interagindo entre si e agindo e ou sofrendo a ação dos fatores abióticos. A base de um ecossistema são os organismos capazes de realizar a fotossíntese ou quimiossíntese.

A descrição dos ecossistemas, seja do ponto de vista teórico ou sob a perspectiva experimental, constitui um dos principais temas de pesquisa da atualidade. Um dos fatores fundamentais é a complexidade desses sistemas, devido ao número de subsistemas que apresentam. O mais importante nessa interação é a equação de não-linearidade de movimento dessas interações que descrevem tais sistemas complexos. Associados a essa não-linearidade encontram-se os efeitos dinâmicos que interessam às ciências de maneira geral.

Torna-se importante ressaltar a relevância da interdisciplinaridade na compreensão mais abrangente dos sistemas naturais. Diversos aspectos da física, da matemática, da química, das ciências da terra e em especial da biologia encontram-se presentes no estudo dos sistemas naturais, tanto nos de campo como nos de laboratório.

A seguir, apresentamos, sob a ótica de Jorgensen (1992), alguns aspectos da visão teórica dos ecossistemas:

- um ecossistema é um sistema aberto que recebe um fluxo de energia de baixa entropia (energia de radiação solar) e utiliza essa energia para afastar-se o máximo possível do equilíbrio termodinâmico. Entre os possíveis processos para utilização dessa energia, dará prioridade à estrutura que melhor organizar essa energia;
- para se afastar do equilíbrio termodinâmico, os ecossistemas, em suas diferentes configurações, desenvolveram capacidades de auto-organização e *feedbacks* que permitem aprender com experiências anteriores;
- os elementos biológicos dos ecossistemas procuram atingir a maior organização possível e evitar a desordem, o que lhes permite, dentro dessa proposta, maior adaptabilidade e maior probabilidade de crescimento;
- O estado estacionário, considerado um ponto atrator muito particular de um ecossistema, é atingido num estado ótimo de operação, quando há um equilíbrio entre forças termodinâmicas e o meio ambiente.

2.8 A Física e a energia

Nesta seção abordaremos, sucintamente, alguns aspectos da Física e da Energia, procurando estabelecer uma conexão para a formação de um agente crítico e transformador de uma sociedade que pretende alcançar a sustentabilidade do desenvolvimento.

2.8.1 Energia e suas formas

O conceito de energia é um dos conceitos científicos mais abrangentes e ao mesmo tempo menos entendido pela maioria das pessoas.

No senso comum, o uso da palavra energia associa-se à capacidade de realizar trabalho em uma ação. Então, qualquer sistema que esteja realizando trabalho – como por exemplo, deslocando uma massa, deformando um objeto, fazendo uma corrente elétrica percorrer um circuito – tal sistema está perdendo energia, transferindo-a para o sistema que está recebendo trabalho.

Qualquer sistema que possua energia organizada pode realizar trabalho, e hoje em dia tal situação desempenha um papel fundamental em todas as áreas do conhecimento, sendo notória, além das áreas das ciências naturais, também em outras áreas como as sociais e econômicas, por destacar-se como matéria-prima que propulsiona o atual MDE.

Por ser entendida como a capacidade de movimentar diferentes sistemas e por ser o movimento fundamental nas sociedades contemporâneas, percebe-se que cada vez mais o ser humano depende do consumo energético para sua sobrevivência. Partindo da proposta de *melhor qualidade de vida*, foram desenvolvidos ao longo da nossa civilização diversos processos de transformação, transporte e armazenamento de energia.

As formas de energia conhecidas, além da energia pura radiante, são a energia potencial e a energia cinética. No dia a dia, tais energias recebem nomes específicos que fazem referência explícita à natureza do sistema envolvido no armazenamento ou aos locais onde ocorrem as transformações.

No caso da energia elétrica produzida em termelétricas, cuja fonte primária seja o combustível fóssil carvão mineral, o processo ocorre com o aproveitamento do calor gerado em sua combustão para vaporização da água, que é convertido no movimento rotatório da turbina, gerando o movimento dos polos magnéticos (trabalho) e é convertido em energia potencial elétrica.

Toda energia elétrica gerada dessa maneira é levada por cabos até as subestações rebaixadoras de voltagem e então ao consumidor final. Como veremos posteriormente, os impactos ambientais gerados em tal processo são sérios motivos de preocupação e deram margem a diversos estudos, entre os quais podemos citar os estudos ambientais em Candiota, que serviram como referência para esta dissertação.

2.8.2 A Termodinâmica, a 2ª Lei e a Entropia

A ciência termodinâmica, ao lidar com as relações de trabalho e calor, baseia-se em duas leis gerais da natureza: o Primeiro e o Segundo Princípio da Termodinâmica.

Os princípios e métodos termodinâmicos são utilizados em diversos projetos de diferentes áreas da ciência, tais como: motores a combustão, sistemas de refrigeração, sistemas de propulsão de foguetes, usinas térmicas convencionais, usinas nucleares e sistemas de geração de energia elétrica nas usinas termelétricas.

Para associarmos a termodinâmica ao nosso trabalho, é preciso citarmos alguns conceitos como trabalho e calor:

- Trabalho (W) é energia que está associada ao deslocamento de um corpo por uma força. O trabalho pode ser de natureza puramente mecânica, de origem elétrica, magnética ou gravitacional. A função de uma turbina numa termelétrica é realizar trabalho para movimentar os pólos magnéticos do gerador de eletricidade.
- Calor (Q) é energia em trânsito devido à diferença de temperatura entre dois sistemas. A queima de combustível fóssil, como o carvão mineral, em uma termelétrica, produz por diferença de temperatura o calor que vai vaporizar a água, a qual, pressurizada, produz o movimento das turbinas do gerador.

2.8.2.1 Primeira Lei da Termodinâmica

Verifica-se na termodinâmica que, quando um sistema evolui de um estado inicial de energia U_i para um estado final U_f , fruto da troca de calor e do trabalho realizado pelo sistema, diz a Primeira Lei da Termodinâmica que a variação da energia interna do sistema independe de como o sistema evolui do estado inicial U_i até o estado final U_f e que o valor dessa variação é igual ao calor trocado no processo menos o trabalho realizado, ou seja:

$$U_f - U_i = Q - W$$

Assim, a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia se conserva em qualquer processo da natureza, sendo fundamental o entendimento do Q e W como processos e não como variáveis de estado. Aqui explicitamos a propriedade do sistema, energia, a qual determina quais os estados que um sistema pode atingir.

2.8.2.2 Segunda Lei da Termodinâmica

Sempre restou para os pesquisadores a esperança de se poder retirar calor de grandes reservatórios térmicos, como o oceano e o sol, e convertê-lo em trabalho útil. Nesse caso, não seria necessário arcar com as despesas de manter uma fonte com alta temperatura, como por exemplo, mediante a queima de combustíveis fósseis. Os impactos ambientais gerados

provavelmente seriam bem menores. Analogamente, poderíamos tentar projetar um refrigerador que transferisse calor de um corpo frio para um mais quente sem a necessidade da realização de um trabalho externo.

A impossibilidade desses dispositivos está estabelecida diretamente na Segunda Lei da Termodinâmica, que pode ser enunciada por Kelvin: “É impossível uma transformação cujo resultado final seja a conversão em trabalho do calor retirado de uma fonte que esteja sempre à mesma temperatura” (RESNICK; HALLIDAY, 1965, p. 684).

Outra abordagem para esta lei seria a de Kelvin e Planck, que estabelece a assimetria entre calor e trabalho: nenhuma máquina converte calor e trabalho com eficiência total; alguma energia sempre se perde. Alguma energia é perdida por dissipação para uma região de menor temperatura. Em uma usina termelétrica, parte do calor irradiado nas caldeiras se dissipa para o meio ambiente no processo.

Ferracioli (1994) resume a combinação da Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica ao afirmar que, embora a quantidade total de energia tenha que se conservar em qualquer processo, ou seja, não pode ser criada nem destruída, a Segunda Lei nega a possibilidade de ser distribuída essa energia de qualquer maneira sem maiores consequências, ou seja, a distribuição dessa energia é alterada de uma maneira irreversível.

2.8.2.3 Entropia

Para exprimirmos a Segunda Lei da Termodinâmica quantitativamente, necessitamos de uma grandeza que meça a possibilidade que um sistema possui de realizar trabalho. A grandeza física que mede a possibilidade de um sistema realizar trabalho chama-se entropia (S).

Nos processos térmicos reversíveis (ideais), ao longo de um percurso em que o sistema sai do estado i e chegue ao estado f , independente do trajeto percorrido, onde S_i é a entropia no estado i e S_f é a entropia no estado f .

$$S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

Nas transformações irreversíveis, nos sistemas abertos, a conclusão é que, se analisarmos detalhadamente o processo termodinâmico, veremos que

$$S_f - S_i > \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

Em ambos os processos pode-se comprovar que houve uma diminuição da capacidade de realizar trabalho com o aumento da entropia. Tal comportamento obedece às seguintes equações:

$$S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (\text{processos reversíveis})$$

$$S_f - S_i > \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (\text{processos irreversíveis}).$$

Assim chega-se a um enunciado do Segundo Princípio da Termodinâmica, que pode ser resumido da seguinte maneira: “uma transformação natural sempre ocorre no sentido de aumentar a entropia do conjunto sistema mais meio ambiente. No caso de um sistema isolado, é a entropia deste que tende a aumentar” (RESNICK; HALLIDAY, 1965, p. 697).

A direção de um processo espontâneo é de um estado com baixa entropia para um estado com alta entropia. Essa ideia pode ser expressa como outro enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica: os processos naturais ocorrem na direção do aumento da entropia.

Esse princípio afirma que todos os *sistemas* tendem para um estado de maior desordem com o passar do tempo, já que perdem a capacidade de realizar trabalho. Logo, o conceito de entropia nos comprova a assimetria da natureza, cuja tendência dos seus processos é ir em direção ao caos e à dispersão de energia.

Para Ferracioli (2000), outro aspecto importante da entropia é o fato de ela nunca diminuir. Logo, os sistemas de baixa entropia são valiosos, uma vez que, ao passar para alta entropia produzem mudanças desejadas, tais como na geração de energia elétrica. Esse fato explica por que sistemas com baixa entropia – o carvão mineral – têm alta qualidade de energia. Nesse sentido, o que é necessário não é a conservação de energia, já que a natureza o faz espontaneamente, mas sim a sua qualidade. Nessa direção, segundo Ferracioli (1997), estamos à beira de uma crise entrópica, uma vez que, quando queimamos combustíveis fósseis como o carvão, a entropia do mundo aumenta, o que significa que a energia está se tornando menos disponível. Assim, temos que encontrar formas alternativas para geração e utilização de energia, contribuindo para uma menor desorganização do meio ambiente.

2.8.2.4 Entropia e desordem

O trabalho é uma grandeza física que é definida por meio de variações de coordenadas macroscópicas como pressão, volume, temperatura, etc. O trabalho envolve movimento

ordenado. Os movimentos desordenados das moléculas não constituem trabalho. Entretanto, quando se transforma trabalho em energia interna, como no caso do atrito, o movimento desordenado das moléculas é aumentado. Esse processo produz um aumento da desordem. “Em todos os fenômenos da natureza há uma tendência de evolução para um estado de maior desordem” (RESNICK; HALLIDAY, 1965, p. 700).

Como as transformações naturais tendem a um estado maior de entropia, é de se esperar uma correspondência entre o conceito termodinâmico de entropia e o conceito estatístico de desordem.

Essa relação foi demonstrada por Boltzmann através da estatística pela equação: $S = k \cdot \ln W$, onde k = constante de Boltzmann, S = entropia e W = probabilidade de o sistema existir no estado em que está, em relação a todos os possíveis estados em que poderia estar. Assim, relacionamos a entropia com uma grandeza microscópica, a *probabilidade*.

Nesse sentido, o Segundo Princípio da Termodinâmica também pode ser colocado em bases estatísticas, pois o sentido em que se desenvolvem as transformações naturais (para uma entropia maior) é determinado pelas leis da probabilidade (para um estado mais provável e não o único possível). Seu campo de aplicação é tão amplo e a probabilidade da natureza de contradizê-lo é tão pequena que hoje ele ocupa um lugar especial, por ser um dos mais úteis em todos os ramos da ciência.

De acordo com Boltzmann (1844-1906), o aumento da desordem é uma tendência espontânea da natureza. Por outro lado, de acordo com Charles Darwin (1809-1882), o aumento da organização e complexidade é uma tendência natural na evolução. Assim, a termodinâmica, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, vê a natureza como se degenerando em direção à desordem inexorável, em que os sistemas naturais evoluem em direção ao equilíbrio. Por outro lado, os sistemas vivos evoluem para um contínuo afastamento da desordem e do equilíbrio, em direção a estruturas altamente organizadas que se mantêm a certa distância do equilíbrio. Como resolver essa aparente contradição?

Erwing Schrödinger (1887-1961) observou que os sistemas vivos pareciam contrariar a Segunda Lei da Termodinâmica, a qual afirmava que, em *sistemas fechados*, a entropia deve ser maximizada. Dessa forma, recorreu à termodinâmica de não-equilíbrio, reconhecendo que os organismos vivos são sistemas abertos em um mundo de fluxos de energia e de matéria. Assim, um organismo se mantém vivo em um estado altamente organizado, retirando energia de alta qualidade – baixa entropia – do meio circundante e processando essa energia para manter, em seu interior, um estado mais organizado. Ferracioli (2000) resume: “organismos

vivos são sistemas longe do equilíbrio que mantêm seu nível local de organização à custa de uma maior desorganização global de entropia”.

Assim, considerando o planeta com seus organismos, ecossistemas e toda a biosfera como um sistema termodinâmico aberto, que recebe energia do sol, processando-a para se manter longe do equilíbrio, obtém-se uma condição de baixa entropia, mediante dissipação contínua de energia – a radiação solar – em energia – calor. Assim, a Segunda Lei da Termodinâmica não é um empecilho, mas sim uma pré-condição para a evolução.

2.8.3 O eletromagnetismo na geração de energia elétrica

As forças elétricas e magnéticas são conhecidas da humanidade desde a antiguidade, porém somente a partir do século IV a.C. os gregos passaram a analisá-las racionalmente. Entretanto, as investigações sistematizadas começaram apenas na Idade Média. No século XII surgiu na Inglaterra o conhecimento da bússola e o francês Pierre de Maricourt percebeu que a agulha imantada se alinhava com dois pontos, que ele chamou pólos magnéticos.

Um dos primeiros cientistas a estudar o eletromagnetismo foi o inglês William Gilbert, no livro *De Magnete*, especulando que a Terra seria um imenso ímã, comprovando os trabalhos de Maricourt. Na mesma obra Gilbert descreveu a força elétrica que surge durante a fricção de vários materiais.

Posteriormente, Benjamim Franklin, dando sequência aos estudos de Gilbert, postulou que um corpo no estado natural contém quantidades de cargas iguais positivas e negativas, as quais, em circunstâncias normais, são neutralizadas uma pela outra, propondo duas formas de eletricidade: a positiva e a negativa.

No início do século XVIII surgiram as primeiras tentativa de quantificar os fenômenos elétricos. Foi Charles Augustin de Coulomb, por meio da balança de torção inventada por ele, o primeiro a concluir que a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas elétricas pontuais, a conhecida Lei de Coulomb.

Já Hans Oersted estava convencido da união das forças da eletricidade e do magnetismo, o que comprovou experimentalmente ao perceber a força magnética presente em uma corrente elétrica. Tal teoria foi desenvolvida e complementada quantitativamente por André Marie Ampère.

Michael Faraday foi o primeiro físico a introduzir o conceito de *campo*, o que, simplificou os cálculos que descreviam os fenômenos magnéticos. Em 1831, Faraday propôs

que o inverso, a variação do campo magnético, produziria corrente elétrica, sendo o primeiro construtor do motor elétrico, do primeiro transformador e do primeiro dínamo, em suma, o mentor dos atuais geradores de corrente contínua e alternada.

O grande unificador dos trabalhos dos cientistas do século XIX foi James Clerk Maxwell (1831-1879), que, sob a mesma teoria fundamentada matematicamente, unificou os trabalhos de Gauss, Ampère e Faraday.

Maxwell, além de fundamentar matematicamente a teoria do eletromagnetismo, observou as similaridades com outras áreas da Física clássica, como a termodinâmica e a hidrodinâmica, que serviram de base para a revolução tecnológica que estamos vivenciando.

Maxwell acabou por formular as leis do eletromagnetismo, as chamadas equações de Maxwell, que apresentamos no quadro 2.

Quadro 2 – Equações de Maxwell

Nome	Equação	Descreve	Experiência comprovante
Lei de Gauss para a Eletricidade	$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q$	Carga e campo elétrico	1. Cargas do mesmo nome se repelem e, de nomes diferentes, se atraem, proporcionalmente ao inverso do quadrado da distância entre elas. 1'. As cargas de um condutor isolado localizam-se na sua superfície externa.
Lei de Gauss para o Magnetismo	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	O campo magnético	2. É impossível obter um pólo magnético isolado.
Lei de Ampère (extensão devida a Maxwell)	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$	O efeito magnético de um campo elétrico variável ou de uma corrente.	3. A velocidade da luz pode ser calculada por meio de grandezas puramente eletromagnéticas. 3'. Uma corrente gera um campo magnético nas proximidades do fio que a conduz.
Lei da indução de Faraday	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$	O efeito elétrico de um campo magnético variável.	4. Uma barra imantada, ao atravessar uma espira, produz nesta uma corrente.

Fonte: Adaptado de Resnick e Halliday (1965)

As equações de Maxwell são importantes por conter os princípios fundamentais das máquinas eletromagnéticas como motores, computadores, rádio, televisão e muitos outros, como os geradores de força eletromotriz alternada, os alternadores, que compõem o processo de geração de energia elétrica na usina de Candiota.

2.8.3.1 Gerador de corrente alternada e alteradores trifásicos

Se a fizermos girar uma espira entre os pólos N e S, de modo que os condutores cortem linhas de indução de um campo magnético, uma força eletromotriz será gerada nesses condutores e aparecerá nos terminais representados pelos anéis coletores da figura 10.

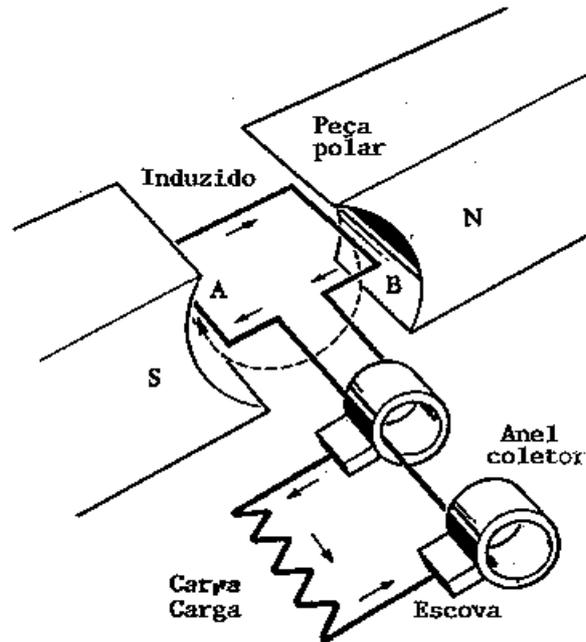


Figura 10 – Gerador de corrente alternada
Fonte: Resnick e Halliday (2011)

Um grande alternador é constituído com pólos rotatórios e bobinas fixas ligadas em série, e gera uma força eletromotriz que obedece a uma função:

$$E = E_{max} * \text{sen } \omega t$$

Tal máquina possui uma velocidade de giro ω , adquirida às custas de outra forma de energia, o calor advindo da combustão do carvão, que, ao vaporizar a água, movimenta os pólos, obedecendo à relação $\omega = 120 f/p$, onde f é a frequência da força eletromotriz gerada e p o número de pólos do alternador.

A figura 11 a seguir representa um alternador trifásico de campo rotatório, cuja parte fixa, o estator, aloja os condutores que serão cortados pelos campos dos pólos norte e sul, o que gera a força eletromotriz (Volts). O sistema móvel do campo se denomina rotor.

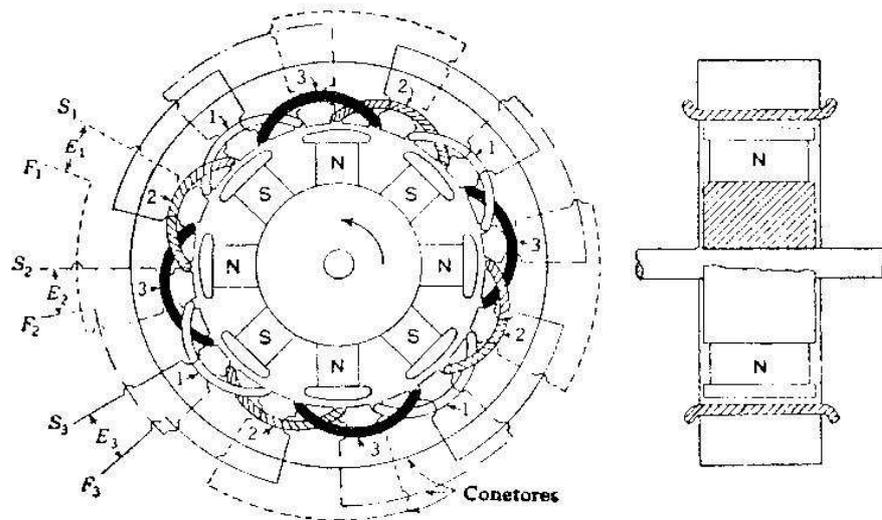


Figura 11 – Alternador trifásico octopolar

Fonte: Adaptado de Gray Wallace, 1982

O movimento e seus consequentes impactos ambientais são obtidos, nas termelétricas, com a conversão do calor que resulta da queima do combustível fóssil, que, ao vaporizar a água em caldeiras, aciona as turbinas que realizam o trabalho. O que caracteriza um alternador trifásico é a disposição, no estator, de três enrolamentos independentes (induzidos), que sendo ligados em estrela ou triângulo, irão gerar em cada bobinamento, uma força eletromotriz (volts) defasadas umas das outras de 120 graus elétricos (figura 12).

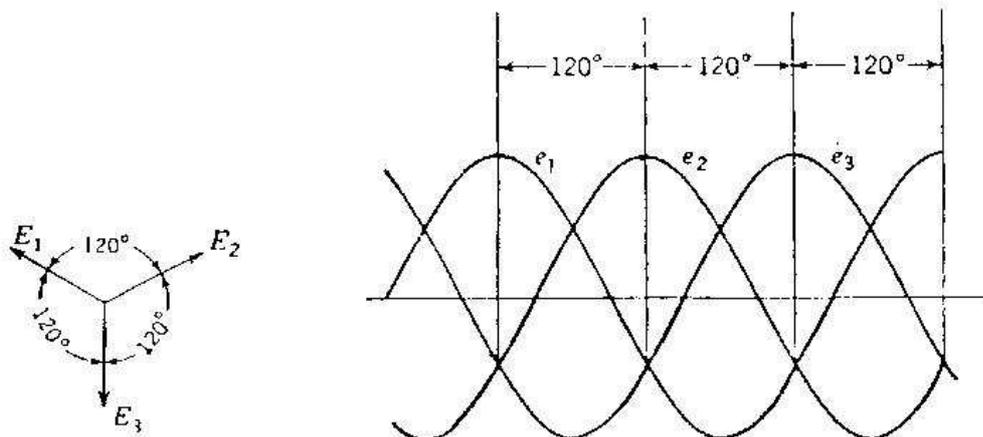


Figura 12 – Força eletromotriz gerada no alternador trifásico octopolar

Fonte: Adaptado de Gray Wallace, 1982

CAPÍTULO TERCEIRO

3 REFERENCIAL TEÓRICO II

O presente capítulo tem por objetivo, examinar um conjunto de abordagens sistêmicas formalizadas que, ao sedimentar as concepções sistêmicas gerais, permitirão através do pensamento sistêmico, o encontro com um novo modo de percepção da realidade e organização do processo de conhecimento sobre a mesma.

Entre os estudos que se enquadram diretamente nessa caracterização, estão:

- Complexidade e Autoorganização sob a ótica de Henry Atlan e Ilya Prigogine;
- Fundamentos do Pensamento Sistêmico na perspectiva de vários autores;
- Pensamento Sistêmico Organizacional que contempla as concepções de Peter Senge e outros;
- Dinâmica de Sistemas que trata da contribuição de Jay Forrester.
- Teoria Geral dos Sistemas abordada por Ludwig von Bertalanffy

3.1 Complexidade e Autoorganização

Nesta seção nos propomos explorar preliminarmente os aspectos relacionados com os temas Complexidade e Autoorganização, onde serão abordados, num segundo momento, conceitos como ordem e desordem.

3.1.1 O simples e o complexo

Como podemos distinguir o simples e o complexo, dois termos opostos?

Não é fácil definir “simples” e provavelmente não há um único conceito de complexidade que possa exprimir nossas posições intuitivas do que a palavra deve significar. A maioria dos conceitos filosóficos desses termos partiu da observação física de processos em que o comportamento macroscópico, ordenado do sistema, pode ser explicado por meio da análise do seu caótico comportamento microscópico. Um recipiente com café quente, quando observado macroscopicamente, é caracterizado por poucas variáveis como temperatura, pressão e volume. Do ponto de vista microscópico, o café é constituído por moléculas que se deslocam velozmente, vibrando, girando e se chocando entre si e com as paredes do recipiente. É um sistema caótico. Boltzman mostrou com a mecânica estatística que um sistema ordenado resulta de movimentos desordenados e interligou os conceitos de ordem e caos. O que é desordenado sob uma ótica pode ser ordenado quando analisado sob outra perspectiva.

De acordo com Borges (2006, p. 44), apesar de diferentes, há algo de comum entre os comportamentos completamente ordenados e os completamente caóticos. O comportamento coletivo (macroscópico) de ambos é o resultado da soma dos comportamentos individuais de seus constituintes. Usualmente, sistemas que se comportam dessa forma são chamados “sistemas simples” (existem casos de sistemas completamente caóticos que não são simples, mas não vamos considerá-los aqui). Poderíamos utilizar o exemplo de um gás monoatômico, cujo estado de equilíbrio termodinâmico i possui uma energia interna U_i definida pelas grandezas macroscópicas pressão, volume e temperatura. Num sistema simples este mesmo valor energético poderia ser comprovado por meio da análise microscópica do comportamento desordenado desse mesmo gás. Nesse caso, a soma das partes, comportamento das moléculas, é igual ao todo.

Porém, a existência de tipos específicos de interações não-lineares (pequenas causas gerando grandes efeitos) entre os elementos constituintes de um sistema pode originar comportamentos coletivos que não são apenas a soma dos comportamentos de suas partes. Nesses sistemas, surgem propriedades coletivas ditas emergentes, próprias do conjunto. Esses sistemas são denominados “complexos”. É como se o comportamento das moléculas, o todo, fosse diferente da simples soma do comportamento das partes. Segundo Borges (2006), são sistemas abertos a trocas de massa, energia e informação com o ambiente (condição necessária, mas não suficiente) e podem apresentar características peculiares, como:

- evoluem espontaneamente para um estado limiar entre a ordem e o caos (têm características tanto de ordem quanto de caos, mas não podem ser classificados com pertencentes a nenhuma dessas duas categorias);
- são estruturados em redes hierárquicas (redes nas quais o fluxo passa por alguns nós com muito mais frequência que em outros, como a rede de conexões de uma grande malha rodoviária);
- apresentam fractalidade, ou seja, uma estrutura que se repete quando observada em escalas cada vez menores.
- enfim, um sistema complexo é formado por elementos simples que dão origem a comportamentos coletivos emergentes; já os sistemas simples não apresentam emergência, não são complexos.

Contrasta com essas características o modelo reducionista proposto por Descartes, que consiste basicamente em decompor um dado problema em partes suficientemente simples a ponto de conhecermos como tratá-las e depois recompô-lo seguindo o caminho inverso.

Os sistemas complexos têm algo de holístico; de certo modo são indecomponíveis. Tal característica holística, embora não rompa inteiramente com o esquema reducionista proposto por Descartes, seguramente representa um novo paradigma para a ciência. Ao que tudo indica, um método científico não deve, como pensa Morin (2005), privilegiar um em benefício do outro, mas impregná-los cooperativamente de forma que possamos “pensar globalmente e agir localmente”.

Atualmente padecemos da fragmentação do saber científico. É necessário que o velho paradigma da simplificação, que guiou a ciência clássica nos últimos trezentos anos, comece a ser estudado pelo paradigma do complexo. Para pensarmos os sistemas complexos, é necessário analisar dois conceitos físicos importantes: a energia e a entropia. Como vimos na seção 2.8, a energia obedece à lei da conservação, ou seja, não é possível criá-la nem destruí-la. A entropia é uma lei de evolução. Os sistemas naturais têm tendência espontânea a mudar seu estado em direção ao equilíbrio, e nesse sentido a entropia sempre aumenta. A entropia é uma medida do grau de desordem, e, do ponto de vista estatístico, os estados desordenados são muito mais favorecidos que os ordenados. Resumindo, a entropia, nos sistemas físicos, sempre cresce com o aumento do fluxo de energia. A rapidez com que ocorre o aumento da entropia pode variar de um sistema para outro. Segundo Tsalis (2003, apud BORGES, 2006), nos sistemas complexos, a desordem pode crescer mais rapidamente ou mais lentamente que

nos sistemas simples, ou seja, a velocidade de crescimento da entropia é diferente nos sistemas simples e complexos.

3.1.2 O novo paradigma da complexidade

Segundo Prigogine (1996b, p. 76), “o velho paradigma da simplificação que guiou a ciência clássica insistia sobre a estabilidade e o determinismo; hoje, vê-se por todo lado instabilidade, flutuações, bifurcações, tratando-se na prática de uma mudança de perspectiva característica da segunda metade do século XX”.

Como estamos constatando, o determinismo da ciência teve pouco sucesso na resolução dos problemas atuais, principalmente no que diz respeito aos efeitos antrópicos no meio ambiente.

Atlan (1992, p. 159) destaca: “a verdade científica sozinha não é suficiente para resolver os problemas da vida e as ciências e as técnicas colocam um número cada vez maior de problemas éticos e sociais, sem fornecer os meios pra resolvê-los”.

Admitir a realidade como um conjunto de eventos interconexos e interdependentes nos remete à complexidade, sendo cada um desses eventos regido por suas leis já definidas, o simples. Assim, Gell-Mann (1996, p. 135) reflete os dois aspectos da natureza, que entende por simples e complexo: “De um lado as leis físicas subjacentes à matéria e ao universo, e do outro o rico tecido do mundo que percebemos diretamente e do qual fazemos parte”. Para ele o *quark* (partícula subatômica) é um símbolo das leis da física, que, uma vez descobertas, surgem completas, ante uma mente científica, o simples. O *jaguar* é uma possível metáfora para o ardiloso sistema adaptativo complexo, o qual continua a evitar um olhar analítico claro.

Quanto à complexidade, Morin (2002) ressalta suas duas dimensões:

- a complexidade é um tecido (*complexus*: o que é tecido em conjunto) de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados, colocando o paradoxo do uno e do múltiplo;
- a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem o nosso mundo fenomenal, apresentando-se a complexidade com os traços inquietantes do inextricável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza.

Assim, para Morin (2005) devemos compreender o meio ambiente como um macrossistema complexo, constituído de vários subsistemas interdependentes, onde ocorrem múltiplos e dinâmicos fenômenos que envolvem as complexas realidades naturais, sejam elas

físicas ou sociais, onde o todo não é mais importante que as partes ou reduzido à simples soma das mesmas e muito menos as partes são mais importantes que o todo. Então, complexidade é uma medida da dificuldade de construir algo a partir de suas partes elementares. Afirma Morin (2002): a complexidade reside precisamente na relação entre o simples e o complexo, porque esta relação é simultaneamente antagônica e complementar, ou seja, a complexidade é a união dos processos de simplificação que são a seleção, a hierarquização, a separação e a relação com outros processos, ou seja, enquanto o pensamento simplificador desintegra a complexidade do real, o pensamento complexo integra o mais possível os modos simplificadores de pensar, recusando as consequências dessa redução.

3.1.3 A ordem na desordem

As transformações políticas, sociais e econômicas modificam nossa vida numa velocidade cada vez maior. O conhecimento atual está em xeque. Estamos conscientes de que, mesmo com o avanço científico atual, as incertezas geradas por tais transformações trouxeram crises que vieram para ficar.

A ordem dando lugar à desordem, impondo a complexidade da realidade atual.

Neste ponto do estudo se fazem necessárias algumas considerações a respeito de ordem e desordem.

Mas, o que é ordem? Para a física, os fenômenos são chamados de ordenados quando:

- existe regularidade no espaço;
- existem regularidades temporais;
- existem padrões que permitem a descrição dos problemas de um sistema através de poucas variáveis.

A ordem pode surgir da desordem? Tal questionamento já existia na era pré-socrática em suas buscas explicativas.

Com o surgimento das religiões monoteístas, a questão do surgimento da ordem se perdeu na solução teológica. A intrincada ordem do mundo seria criada por Deus, o arquiteto do Universo.

Entretanto, no século XVI a abordagem mecanicista da natureza retornou, com Copérnico, Kepler e Galileu. Newton encontraria na Lei da Gravitação Universal um motivo unificador para a queda livre e o movimento dos planetas. Tais ideias newtonianas se

somaram à invenção do microscópio, que tornou, através da biologia, ainda mais excepcional a ordem inerente aos seres vivos.

Darwin e Wallace propuseram em 1858 o mecanismo da seleção natural, que se baseava em quatro pontos: a replicação, que era o herdar e repassar traços a seus descendentes; a variação dos traços herdados; a competição pelos recursos naturais limitados; a adaptação ao meio ambiente.

Já a noção física da desordem parece que foi pensada inicialmente por Clausius, que visualizava o universo como um megassistema fechado, dotado de uma energia finita, tendendo à entropia deste, por consequência, para o máximo, ou seja, para uma morte térmica inevitável, o que significa dizer, para a desorganização e a desordem.

A descoberta da entropia subverteu a noção até então dominante de que a ordem seria um princípio subjacente do universo, inerente a sua estrutura.

Como o universo está caminhando para a morte térmica, então a desordem é a lei geral do universo, portanto há ordem na desordem.

Pensarmos o contrário, ou seja, que é a desordem que está na base do universo, expôs o problema de explicar a vida, os sistemas e seus níveis crescentes de complexidade.

Com esse foco, necessitamos fazer considerações sobre as multiplicações da ordem e da desordem, citando Prigogine e Stengers (1992, p.73), que afirmam: a ordem e a desordem se mostram não como opostos entre si, mas sim como indissociáveis.

Por conseguinte, estamos pensando estruturas que se fazem e se desfazem no tempo e no espaço, procurando saber se existem leis tanto para ordem como para desordem que regem os processos de criação e destruição dos sistemas.

Para Bertalanffy (1977), nos sistemas abertos não há somente produção de entropia por processos irreversíveis, mas há também uma importação de entropia que pode muito bem ser negativa, como é o caso dos organismos vivos que recebem moléculas complexas carregadas de energia livre, mantendo os sistemas vivos em estado estável, evitando assim o aumento de entropia, podendo mesmo evoluir em direção a estados de ordem e organização aumentados.

A partir desse momento, tornou-se claro, como ressalta Morin (2002), que ordem e desordem, sempre inimigas uma da outra, na realidade cooperam, de certa maneira, para organizar o universo, o que significou dizer que é desintegrando-se que o universo se organiza.

3.1.4 Autoorganização e complexidade

Neste item faremos um abordagem da Autoorganização e da Complexidade sob a ótica de dois pesquisadores: Ilya Prigogine e Henry Atlan.

3.1.4.1 Complexidade e Autoorganização segundo Ilya Prigogine

Partindo da premissa de que os sistemas biológicos são abertos, Ilya Prigogine, em 1947, trabalhando com sistemas em estados estacionários irreversíveis, obteve resultados válidos para sistemas perto do equilíbrio (regime linear) e outras vezes para sistemas longe do equilíbrio (regime não-linear).

Focando a variação diferencial de entropia dS/dt , Prigogine (1996) considerou que a variação de entropia em sistemas abertos é devida a dois fatores:

- a existência de uma produção interna de entropia dS_i (um aumento de entropia) devido a processos irreversíveis ocorrendo dentro do sistema, como difusão, a condução térmica, reações químicas, etc.;
- a ocorrência de um *fluxo de entropia* dS_e/dt , devido a troca de energia e matéria com o meio ambiente.

A variação total de entropia seria: $dS = dS_i + dS_e$. Importa analisar que, para um sistema fechado $dS_e = 0$, e de acordo com a 2ª lei da termodinâmica, dS_i seria maior ou igual a zero.

Num sistema aberto no regime estacionário (sob influência de um fluxo onde as variáveis macroscópicas são constantes em cada ponto) não há variação de entropia, $dS = 0$. Com isso é possível contrabalançar o aumento interno de entropia de um sistema, mantendo-o em um estado ordenado, a partir de um fluxo suficientemente grande e de entropia negativa (neguentropia), onde dS é menor ou igual a zero.

No estado de não-equilíbrio estacionário, a produção de entropia se torna mínima, compatível com as restrições impostas pelo sistema. Este resultado aproximou os sistemas próximos do equilíbrio da termodinâmica clássica.

Interpretando as perturbações de origem externa (variações nas condições ambientais) e as flutuações internas que estão associadas às interações moleculares e movimento térmico aleatório das partículas, Prigogine (1996) afirma que no regime linear o sistema possui estabilidade, ou melhor, as perturbações e flutuações regridem. Em um sistema longe do equilíbrio, isso nem sempre acontece, ou seja, em um sistema instável, uma perturbação pode ser amplificada e levar o sistema para um novo estado ordenado. Assim, sistemas afastados do

equilíbrio não tendem a estados de energia mínima. São abertos a fluxos, ao recebimento de energia livre ou neguentropia, mantendo sua estrutura constante ou mesmo ampliando a sua organização com a incorporação de novas estruturas. Tal fato ocorre porque a dissipação de energia, relacionada à existência e manutenção do sistema, é compensada permanentemente pelo fornecimento de energia.

Dentro dessa proposta, Prigogine e colaboradores desenvolveram um tratamento matemático geral para sistemas fora do equilíbrio, sabendo que o não-equilíbrio pode ser uma fonte de ordem, desde que o fluxo de entropia negativa de fora compense a produção interna de entropia, o “princípio de ordenamento de não-equilíbrio”.

Perto do equilíbrio termodinâmico, a destruição de ordem prevaleceria; entretanto, à medida que o sistema se afasta do equilíbrio, pode haver criação de ordem, desde que o sistema obedeça a leis não-lineares. Isso se traduz como surgimento espontâneo da ordem ou em algumas situações como auto-organização, a que Prigogine (1996) denominou *estruturas dissipativas*.

Em seus estudos, Prigogine (1996) cita algumas características das *estruturas dissipativas* ou *autoorganizadas*:

- são sistemas abertos longe do equilíbrio;
- contêm um grande número de elementos interagindo diretamente ou através de uma restrição do meio ambiente;
- a natureza das interações entre os elementos do sistema é não-linear;

Assim, entendemos haver autoorganização cada vez que a reestruturação de uma forma, ao longo de um processo, se deve fundamentalmente ao próprio processo, ou seja, às características nele intrínsecas e só em grau menor às condições iniciais de partida, às interações com o ambiente ou à presença esporádica de uma instância supervisora. Para o pensamento sistêmico, a teoria das estruturas dissipativas é de grande importância pela ligação estabelecida entre o fluxo e dissipação de energia e sua relação com flutuações que disparam processos de realimentações positivas, generativas de novas formas de complexidade. Assim próximo do equilíbrio, onde os fluxos energéticos são fracos, as relações podem ser tratadas através da matemática linear. Em condições de fluxos energéticos elevados, a matéria adquire novas propriedades relacionadas aos processos internos, onde os mesmos ocorrem via laços de retroação, cuja característica matemática é a não linearidade. Diante de tais constatações, para Prigogine (1996), o mundo que emerge é bastante diferenciado daquele concebido pela física clássica. O não-equilíbrio e as instabilidades conduzem a uma nova forma de pensar onde, a realidade não seria controlável pela ciência.

Com essa nova percepção, ordem e desordem estariam intimamente ligadas. O reconhecimento da instabilidade como componente principal, significa que, embora se conheça as condições iniciais do processo, o futuro permanecerá imprevisível.

3.1.4.2 Complexidade e autoorganização sob a ótica de Henri Atlan

Atlan (1992), no livro *Entre o cristal e a fumaça*, examina a questão da autoorganização na Biologia, referindo-se à posição intermediária em que os sistemas complexos se situam entre a ordem simétrica de um cristal e a desordem e imprevisibilidade da fumaça. Essa ordem seria medida pelo conhecimento que se tem do todo e que é obtido a partir do conhecimento de uma das partes. Por um lado a ordem do cristal, onde existe a repetição, a regularidade e a redundância; pelo outro lado, o oposto, a desordem da fumaça, a variedade, a improbabilidade e a complexidade. Numa organização dinâmica esses dois opostos coexistem ou coexistiriam.

Em seus estudos, Atlan foi o propagador do *princípio da ordem a partir do ruído*², divulgando os trabalhos de W. R. Ashby (1970), H. von Foerster (1960), Von Neuman (1996) e C. E. Shannon (1975), que por meio da cibernética, da inteligência artificial, encaminhavam um melhor entendimento de outras ciências que não as afirmativas da mecânica clássica.

Nessa direção, por ocasião de pesquisas sobre a lógica de sistemas autoorganizadores, atribuindo-se aos organismos não apenas a propriedade de resistir eficazmente ao ruído, interferências nos processos mas também utilizá-lo a ponto de transformá-lo num fator organizante.

De acordo com Atlan (1992), Ashby (1970) realiza uma série de trabalhos que conduzem à ordem a partir do ruído, a qual está dividida em três momentos:

I - O uso do conceito de realimentação negativa de informação como conceito fundamental para discutir situações envolvidas com a estabilidade de sistemas dinâmicos, onde o autor analisa as características dos sistemas complexos como similares às capacidades adaptativas dos sistemas vivos;

II - A outra contribuição de Ashby (1970), embora relacionada à regulação e controle, afasta-se da realimentação de informação. Entende esse autor que, sendo os sistemas

² Ruído: a palavra ruído refere-se a interferências externas no processo de comunicação, como perda de mensagem durante o seu transporte (ruído exógeno) ou interferências internas no processo de comunicação, com perda de mensagem durante o seu transporte (ruído endógeno) (ASHBY, 1970).

excessivamente complexos, devem ser abordados como uma caixa preta, em que o investigador poderá descobrir as regras de operação do sistema observando as entradas e classificando as saídas, e introduz o conceito de *variedade*. Segundo Ashby (1970), a variedade é definida como o número de estados possíveis que o sistema pode exibir em função do propósito pelo qual é examinado, ou seja, a complexidade do sistema passa a ser função das saídas de interesse da investigação. A lei da variedade indispensável, proposta por Ashby (1970), que envolve os sistemas de regulação, é importante para a compreensão das condições mínimas necessárias à sobrevivência de qualquer sistema exposto a um meio ambiente, fonte de agressões e perturbações aleatórias. Ashby (1970) estabelece uma relação entre a variedade das perturbações, das respostas e dos estados aceitáveis. Em outras palavras, uma grande variedade nas respostas disponíveis é indispensável para assegurar uma regulação de um sistema que vise a mantê-lo num número muito limitado de estados, embora ele seja submetido a uma grande variedade de agressões. Sistemas excessivamente complexos, como os sistemas biológicos, evoluem e sobrevivem por possuírem mecanismos de regulação capazes de bloquear a variedade oriunda dos distúrbios ambientais.

III - A terceira contribuição de Ashby (1970) diz respeito ao processo do conhecimento, por entender o lugar central do observador na descrição de modelos sistêmicos, rejeitando a ideia de que a complexidade seja algo absoluto, intrínseco ao objeto. Assim, a complexidade do sistema é sempre relativa ao observador. A introdução do observador e a distinção entre objeto e o sistema conduzem à necessidade de introduzir a referência e/ou explicação dos propósitos de quem descreve o sistema. Este, assumido como modelo descritivo, deixa de ser conceito baseado na suposição de que representa ou corresponde à realidade objetiva, e passa a ser visto como inseparável das motivações, propósitos e das noções de linguagem específica do modelo ou metodologia na descrição.

3.1.5 Complexidade dos sistemas humanos

Conforme sugere Checkland (1981), quando se trata de problemas nos quais o ser humano é parte, ou seja, o fator humano é um elemento que participa na investigação, torna-se inadequada a aplicação do método analítico por três motivos:

- Fenômenos naturais normalmente são localizados em ambientes específicos onde é possível a definição precisa das variáveis. Isso, normalmente, torna possível reduzir o fenômeno a uma forma explícita simples – o postulado de uma lei – que pode ser testada experimentalmente. Assim são reduzidas drasticamente as diferenças de pontos de vista possíveis. O mesmo não ocorre em fenômenos sociais, uma vez que não é factível nem adequada a redução analítica. Em razão da autoconsciência e liberdade de escolha humana, a grande variedade de perspectivas que podem ser adotadas amplia sobremaneira o número de interpretações possíveis;
- A característica anterior está relacionada à natureza especial dos componentes de um sistema social. Os indivíduos, como participantes ativos do fenômeno investigado, sendo dotados de consciência, “atribuem significados e modificam as situações” (CHECKLAND, 1981, p. 69), dependendo de suas condições particulares e do modo como estão inseridos dentro do contexto social. Deste modo, indivíduos humanos não podem ser considerados como se fossem simples componentes físicos, como se fossem unidades inanimadas;
- Relacionada às duas características anteriores está a dificuldade de realização de previsões em sistemas sociais. Em parte isso é devido à complexidade do objeto, ao grande número de partes e relações e à natureza não-linear dessas interações. Mas, adicionalmente, em sistemas sociais, modificações de comportamentos humanos podem originar-se de novas interpretações e percepções (atribuição de novos significados) a partir de novas experiências e novos conhecimentos adquiridos, modificando as condições inicialmente assumidas.

Com essa compreensão, no que diz respeito ao aumento da complexidade nas organizações sociais, cada vez mais, engenheiros e administradores passaram a ser confrontados com situações complexas que envolvem um grande número de elementos. Não apenas com as consequências oriundas das interações de elementos físicos, mas principalmente com as interações de natureza organizacional envolvendo o fator humano.

Problemas relacionados ao gerenciamento e ao controle de sistemas complexos não podiam ser desmembrados e tratados em disciplinas específicas.

3.1.5.1 Complexidade organizada

Complexidade organizada foi a expressão utilizada nos primeiros anos do movimento sistêmico, para caracterizar o conteúdo do conceito de sistema (WEAVER, apud KASPER, 2000, p.40). Weaver situou a complexidade organizada na faixa intermediária de um contínuo em que num extremo estão os “problemas simples” e, no outro, as questões que envolvem a complexidade desorganizada, ou seja, entre a ordem total e o acaso total. Para Kasper (2000), em complexos organizados a complexidade aumenta à medida que aumenta o grau de organização da configuração de relações entre as variáveis destacadas para descrever o fenômeno. Segundo esse ponto de vista, a complexidade não pode ser dissociada da percepção e dos objetivos de quem descreve a situação ou fenômeno. Mesmo fenômenos físicos são sempre “situações percebidas por pessoas” (op. cit., p. 20). Segundo Klir, (apud KASPER, 2000), além da caracterização aceita pelo senso comum – a complexidade relacional, associada ao número de partes e ao número de interações do objeto de investigação –, o termo “complexidade” contempla sempre uma conotação subjetiva introduzida pelo observador.

3.2 A Teoria Geral dos Sistemas e algumas concepções a ela associadas

Foi o biólogo e filósofo alemão Ludwig Von Bertalanffy que veio a elaborar, no final dos anos 30 e durante os anos 40, um modelo operatório necessário para a compreensão de alguns fenômenos que não são explicados pelas teorias reducionistas da ciência clássica, sugerindo generalizar o pensamento científico para se referir a qualquer tipo de *todo*, não somente os biológicos, em que a sua Teoria Geral dos Sistemas (TGS) fosse válida, mas para todas as ciências, amparado no argumento de que havia uma fundamental diferença entre os sistemas físicos e biológicos: os organismos vivos eram sistemas abertos a trocas de energia e informação com o meio ambiente, mantendo um comportamento autoorganizado que não é explicado pela termodinâmica clássica, ou seja, uma máquina composta de um combustível que se consome continuamente e, no entanto, conserva a si próprio, enquanto os sistemas físicos, não vivos, eram considerados fechados por possuir componentes imutáveis e atingir um estado de equilíbrio que não teria outro caminho em direção à crescente desordem ou aumento da entropia conforme os preceitos da Segunda Lei da Termodinâmica.

Assim, a denominada Teoria Geral dos Sistemas envolve um vasto campo de investigação que engloba a ciência dos sistemas, a sua tecnologia e a sua filosofia subjacente,

pretendendo formular os princípios válidos do todo de um sistema e daí, analisar as consequências das interações desse sistema.

Pretende ainda a TGS ser uma teoria interdisciplinar, capaz de transcender os problemas exclusivos de cada ciência ou ramo do saber, e proporcionar princípios gerais e modelos gerais para todas as ciências envolvidas num processo. É uma teoria essencialmente totalizante. Igualmente, é uma teoria que se preocupa com a unificação das diferentes disciplinas, com a necessidade da sua mútua integração, permitindo maior aproximação entre as suas fronteiras e o preenchimento dos espaços vazios entre elas. Ela investiga as conexões possíveis e o isomorfismo de todas as disciplinas, baseando-se na compreensão da dependência recíproca entre elas.

De acordo com Pinheiro (1998, p. 173), a Teoria Geral dos Sistemas se assenta em três princípios, citados por Ackoff (1981): o expansionismo, o pensamento sintético e a teleologia.

O expansionismo, um princípio que resume a abordagem sistêmica, postula que todo fenômeno é parte de um fenômeno maior. Isso não significa, pelo contrário, que cada fenômeno não possa ser composto de partes; significa também que a atenção deve incidir sobre o todo do qual o fenômeno em causa faz parte. Assim, o desempenho de um sistema depende da forma como ele se relaciona com o todo maior que o envolve e do qual ele faz parte.

O pensamento sintético, partindo do princípio anterior de que o fenômeno que se pretende explicar deve ser visto como parte de um sistema maior, postula que, como tal, deve ser explicado em função do papel que desempenha nesse sistema maior.

A teleologia é o princípio no qual a causa é a condição necessária, mas nem sempre suficiente para que surja o efeito. Dito em outras palavras, a relação causa-efeito não é uma relação determinística ou mecanicista, mas simplesmente probabilística, por conseguinte a causalidade deixa de ser vista como linear e passa a ser vista como circular: causa e efeito não estão próximos no tempo e no espaço.

A teleologia é o estudo do comportamento com a finalidade de alcançar objetivos, ou seja, o comportamento é explicado por aquilo que é propósito ou objetivo produzir; a partir dele, é possível visualizar os sistemas como entidades globais e funcionais que buscam objetivos e finalidades.

Para que possamos entender mais profundamente o que é um sistema, suas medidas, suas ordens, suas hierarquias e sua coerência, faz-se necessário lançarmos mão da noção básica de sistemas que Bertalanffy (1977) apresentou na publicação de *Teoria Geral dos Sistemas*: um sistema seria um conjunto de unidades interativas em relação, que incluem simultaneamente estrutura e função. Para Bertalanffy, o comportamento de um elemento é

dado por suas relações, e isso pode ser representado matematicamente por um “princípio geral da cinemática”, através de equações diferenciais de primeira ordem. Na concepção do autor, quando os elementos de um sistema são interdependentes, tem-se um holismo; se forem independentes, fala-se em “soma”. A transcrição de uma situação holística para uma soma é chamada de “mecanização”. Se o valor de estado de um elemento predomina sobre o outro, fala-se em centralização, como uma parte liderante. Por fim, Bertalanffy concebe que os elementos de um sistema sejam, por sua vez, sistemas.

Um dos pontos fortes da TGS é a situação associada fisicamente às interações não lineares dos componentes do sistema. Neste caso, seguindo as orientações de Bertalanffy (1977), podem-se identificar as partes como os elementos i de um sistema, que podem se encontrar em diferentes estados, representados por diferentes valores x_i a cada instante, através da equação $dx_i/dt = f_i(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$. A etapa mais complicada do método de análise seria, em síntese, descobrir quais as relações de condicionalidade entre as partes.

Epstein (1996, p. 21) considera um sistema como um conjunto de objetos interligados. Esses objetos tanto podem ser físicos (por exemplo, o Sistema Solar, o conjunto de peças de uma máquina, o conjunto de órgãos do corpo humano ou o fluxo de veículos de uma cidade) como abstratos (por exemplo, uma equação matemática, os conceitos articulados de uma teoria científica ou de um sistema psicanalítico). Mas, tal como nos adverte esse autor, “a discriminação de um sistema tem carga de subjetividade”, já que os sistemas podem ser ubíquos. Dito em outras palavras, para uma determinada realidade, não é consensual (nem necessário) considerar que existe um sistema ou definir seus limites. Na prática, porém, pode ser proveitoso tratar um conjunto de objetos ou eventos como um sistema.

Kurtz dos Santos et al. (2002), com base nos ensinamentos de Forrester e Bertalanffy, concluem que o conceito de sistema é algo de grande abrangência e de significado complexo, pois pode envolver inúmeros fatores, como seres vivos e partes físicas que formam um agrupamento de partes que operam juntas com um propósito comum. Cita como exemplos um avião e uma família que enfrenta o cotidiano para criar seus filhos.

Deming (1997, p.76), utilizando outras palavras, entende o sistema como uma rede de componentes interdependentes que trabalham em conjunto para tentar realizar seu objetivo. A interdependência resulta que: quanto maior ela for, maior será a necessidade de comunicação e cooperação entre seus componentes.

3.2.1 A TGS e a concepção de sistemas abertos e sistemas fechados

Segundo Bertalanffy (1977, p. 64), “em qualquer sistema fechado o estado final é inequivocamente determinado pelas condições iniciais. Se as condições iniciais forem alteradas, o estado final também será modificado”. Isso, porém, não é o que acontece nos sistemas abertos. Nestes, o mesmo estado final pode ser alcançado partindo de diferentes condições iniciais e por diferentes maneiras. É isso que se chama de “equifinalidade”. Do exposto, concluímos que um sistema aberto está energeticamente e às vezes informacionalmente aberto para o universo externo, ou seja, pode alimentar-se de matéria/energia e informação, na busca de um objetivo.

Um sistema aberto pode alimentar sua autonomia, mas diante da dependência em relação ao meio externo. Um ser vivo é um sistema aberto: se sua energia é constante, a quantidade de energia que entra (alimento) é igual à que sai (calor ou trabalho). As organizações humanas são sistemas abertos: elas trocam matéria, energia ou informação com o seu meio.

Um sistema é fechado quando não houver nem ganho nem perda (intercâmbio com o meio externo) sob qualquer forma que seja: informação, matéria, etc. e, por consequência, nenhuma alteração dos componentes.

Já Kurtz dos Santos et al. (2002), partindo da concepção de Forrester, entendem os sistemas abertos ou fechados como dependentes do ponto de vista do observador do fenômeno ou do objetivo. Com base nisso citam o automóvel e o relógio como exemplos de sistema aberto, uma vez que ambos não são conscientes, não reagem aos seus desempenhos e ações passadas, não controlam as suas ações futuras, contrastando com os sistemas fechados, cujas ações passadas, dentro de uma estrutura de elo fechado, retornam para controlar as ações futuras. Entendemos que esta é uma maneira diferente de se definir sistemas abertos e fechados e tem como base a existência ou não da retroalimentação.

3.2.2 Organização dos sistemas

Para Kasper (2000, p. 44), a organização sistêmica está sempre relacionada à característica observada, seja na relação do sistema com o seu ambiente, seja na distinção de uma característica do sistema em si; por suposição, as características associadas ao sistema descrito persistirão enquanto a sua organização não for modificada, destruída ou desconstituída.

Em termos de operacionalização, uma organização sistêmica passou a ser entendida pelas formulações cibernéticas ligadas à autorregulação e à autoorganização, associadas aos processos de realimentação pela informação como mecanismo central, presente no comportamento finalista dos sistemas complexos que envolvem as interações circulares como princípio básico para compreensão dos padrões da organização em geral.

Um aspecto importante no entendimento da organização sistêmica, segundo Ashby (1970), está associado à ideia de condicionalidade, ou seja, a dependência das partes entre si, lembrando que o comportamento funcional de um sistema desenha um modelo comportamental que busca pela realização de um objetivo.

3.2.3 Hierarquia sistêmica

De acordo com Bertalanffy (1977), o início homogêneo do universo deu origem a uma explosão de heterogeneidades em todos os níveis e tipos de energia. Tais heterogeneidades, entretanto, encontram-se vinculadas por um princípio de homogeneidade que lhes é inerente, uma ordem hierárquica, as quais estão intimamente ligadas com as diferentes evoluções e com a medida de organização. Essa estrutura e essa combinação de sistemas de ordem sempre mais elevada são características da realidade como um todo e são ao mesmo tempo de uma importância fundamental em biologia, psicologia e sociologia.

Logo, conclui-se que uma estrutura hierarquizada nada mais é do que uma justaposição de sistemas organizados em vários níveis.

Morin (2005) entende essa hierarquia de duas formas: a primeira, como sendo uma composição de níveis sistêmicos, sobrepostos uns aos outros, em que as qualidades gerais emergentes num primeiro nível se tornam os elementos de base do segundo, e assim sucessivamente, produzindo ao máximo as emergências, isto é, as qualidades e as propriedades do sistema. A segunda corresponde à rígida estratificação em que cada nível superior controla rigorosamente o inferior, inibindo suas potencialidades de emergência, com autoridade máxima centralizadora no topo.

A segunda forma de hierarquia é a que observamos na história das sociedades humanas, desde a escala nuclear, isto é, as famílias de hoje, passando por níveis de crescente complexidade hierárquica, como a universidade, o trabalho, o partido político e o Estado, indo até a organização hierárquica superior, que são as relações de poder entre as nações. Dentro dessa realidade, o todo, impondo a sua ordem, determina o comportamento das partes.

Para Checkland (1981), os sistemas foram concebidos por níveis hierárquicos, onde a complexidade aumenta com o aumento do número de níveis, e cada nível apresenta propriedades emergentes que não existem no nível inferior.

Daí entende-se que o sistema é constituído de subsistemas e que cada subsistema dentro de seu grau de autonomia, através de combinações e associações de seus elementos, poderá partir para a criação e a novidade, desde um estado inicial, passando por bifurcações, até atingir um novo estado de ordem, e são definidos como bifurcações equivalentes aos pontos de catástrofe.

Prigogine e Stengers (1992) definem as bifurcações, em sistemas complexos, como o ponto crítico onde um novo estado possibilita a emergência de novas estruturas, desenvolvendo-se por uma sucessão de instabilidades e flutuações ampliadas. Longe do equilíbrio, um regime de funcionamento pode assemelhar-se a uma organização, porque resulta da amplificação de um desvio microscópico que, no momento oportuno, privilegiou uma via reacional em detrimento de outras vias igualmente possíveis, podendo os comportamentos individuais em certas circunstâncias desempenhar um papel decisivo.

As bifurcações levam ao surgimento de novas estruturas. Logo, temos a ordem por flutuação que nos fala a respeito da história do sistema, já que somente uma transformação da estrutura possibilitará visualizar o caminho percorrido pelo sistema com o passar do tempo e se este foi o melhor caminho que poderia ter sido percorrido. Como afirma Prigogine (1990, p.42), é preciso haver flutuação, pois um sistema em equilíbrio não tem nem pode ter história, apenas pode persistir no seu estado, em que as flutuações são nulas.

3.3 Investigação a respeito do pensamento sistêmico

Nesta seção serão examinados alguns tópicos que, estando na base do pensamento sistêmico, servirão de referência para o estudo das abordagens sistêmicas apresentadas a seguir.

3.3.1 O pensamento sistêmico

Sistema – como surgiu este conceito?

Ao que tudo indica, tal conceito acabou por se ligar ao acúmulo de conhecimento da

humanidade. Tal suspeição possui certa lógica e encontra diversos defensores. Houve épocas da história em que o conjunto de todos os conhecimentos cabia num único livro – podemos exemplificar com os tratados de Aristóteles. Posteriormente, acumulação do saber já não cabia num só homem, nem num só livro; o conhecimento cresceu exponencialmente, diversificou-se, especializou-se e complexificou-se de tal forma que criou um antagonismo: o seu crescimento acelerado começou a provocar desorganização e caos. Era necessário organizar esse “excesso” de conhecimento que se tornava demasiadamente especializado, compartimentado e alicerçado no método cartesiano, que implicava três princípios intelectuais:

- o reducionismo, que se baseia no princípio de que todas as coisas podem ser decompostas e reduzidas nos seus simples e indivisíveis elementos fundamentais;
- o pensamento analítico, que consiste em dividir o todo em partes mais simples e indivisíveis e explicar o todo através da simples agregação do estudo dessas partes, sem estudar suas interações entre elementos;
- o mecanicismo, que é o princípio baseado na simples causa e efeito entre dois fenômenos e é vista como causalidade linear, sendo determinística em vez de probabilística.

Chegou-se a um estágio em que a fragmentação do saber em tantos ramos do conhecimento se institucionalizou, com o grande número de cursos e disciplinas criados nas universidades. Ramos do conhecimento cada vez mais especializados resultaram por fortalecer a dificuldade de comunicação entre as diferentes áreas do saber.

Diz Morin (2002): “a divisão do saber em disciplinas, que possibilitou o desenvolvimento dos conhecimentos, se revelou uma organização que tornou impossível o conhecimento do conhecimento, uma vez que não há, crescentemente, comunicação entre os diferentes campos do saber, dando origem a uma zona enorme de desconhecimento”.

Assim, o pensamento sistêmico nasce como um modelo científico que se depara com tais dificuldades e se propõe:

- integrar coerentemente as inúmeras parcelas do conhecimento;
- superar o método científico de dissecação analítica e de reconstrução sintética, que se mostra cada vez mais ineficiente à medida que surge o interesse por sistemas mais complexos.

Com tais possibilidades, dentro da crise atual, em que as dificuldades em se tratar o saber são imensas e a desordem e o caos sobrevêm, faz-se necessário que uma nova visão da realidade se imponha. Dentro desse cenário, parece vital para o homem enxergar o meio

ambiente como um sistema, um todo indissociável, integrando a ele as diferentes áreas do conhecimento, ampliando, assim, o entendimento dos dinâmicos e complexos fenômenos que ocorrem na natureza.

3.3.2 Pensamento sistêmico, um modelo interdisciplinar

Foi das teses dos biólogos organísmicos que nasceram as primeiras noções que estão na origem do “pensamento sistêmico”. Resumidamente, essas noções, segundo Capra (1996), são:

- O conceito de organização como um padrão ou “configuração de relações ordenadas”;
- O conteúdo do termo sistema, que passou a significar um “todo” cujas propriedades provêm da organização das relações entre as partes que o constituem;
- O entendimento da expressão pensamento sistêmico como “a compreensão de um fenômeno dentro de um contexto”, estabelecendo-se a totalidade das interações envolvidas, em oposição à busca das relações causais simples entre partes isoladas;
- A expressão complexidade organizada como a denominação para caracterizar a existência de diversos tipos e vários níveis de complexidade que podem ser descritos ou capturados pelo conceito de sistema;
- A noção de hierarquia como designação para a tendência dos sistemas vivos de estruturar-se em múltiplos níveis, como: células, tecidos, órgãos, organismos, sociedade e ecossistema;
- A expressão propriedades emergentes como designação das características – propriedades, qualidades e comportamentos – pelas quais são identificados os fenômenos complexos organizados, descritos pelo conceito de sistema.

Bertalanffy (1977) entende que uma das grandes contribuições para o desenvolvimento dos estudos sistêmicos veio das aplicações militares da Segunda Guerra Mundial, quando as pesquisas se desenvolveram na direção de dispositivos que corrigiam os desvios e faziam a previsão de futuros alvos por meio da tecnologia, envolvendo máquinas computacionais que tinham a capacidade de armazenar grandes quantidades de informação cujas características escapavam dos processos analíticos, ou seja, eram incompatíveis com o princípio determinista em que automatizar era essencialmente diferente de mecanizar. Essa nova tecnologia, que pensava as máquinas como sistemas e não como máquinas isoladas,

tornou possível realizar de modo integrado várias tarefas, o que veio a acentuar a complexidade das organizações industriais, políticas e sociais de uma maneira geral.

Assim, administrar o aumento da complexidade nas organizações humanas, por engenheiros e administradores, passou a ser comparado com situações que envolvem um grande número de elementos, estudando não apenas as consequências das interações dos elementos dos sistemas físicos, mas também as interações de natureza organizacional que envolvem a presença do fator humano.

3.3.3 Considerações sobre o paradigma sistêmico

O Pensamento Sistêmico, segundo Capra (1996), é uma nova forma de raciocinar em termos de conexidade, relações e contexto. O autor entende que o Pensamento Sistêmico entrelaça o pensamento contextual com o pensamento processual, e apresenta os cinco aspectos do pensamento contextual:

- Mudança das partes para o todo. Um sistema surge das relações de organização entre as partes, configuradas por relações ordenadas;
- Capacidade de deslocar a atenção entre níveis sistêmicos. É possível encontrar sistemas aninhados dentro de outros sistemas e aplicar os mesmos conceitos a diferentes níveis;
- Inversão da relação entre as partes e o todo. Para o pensamento sistêmico, as propriedades das partes somente podem ser entendidas dentro de um contexto maior, o que implica explicá-las considerando o seu ambiente;
- Pensar em termos de redes de relações. Através do pensamento sistêmico, percebemos a realidade como uma rede de relações, e nossas descrições, também formam uma rede interconectada de concepções e modelos;
- Mudança epistemológica. A realidade concebida como uma rede de relações implica uma mudança epistemológica profunda em relação à concepção tradicional de objetividade científica. No paradigma sistêmico, a compreensão do processo de conhecimento precisa ser explicitamente incluída na descrição dos fenômenos naturais.

Assim, trabalhando com a ciência da complexidade, ou seja, trabalhar com aqueles fenômenos que, diferentemente do pensamento analítico, ocorrem numa região situada entre “a ordem total e o acaso total”, onde a complexidade aumenta na medida em que aumenta o grau da

organização da configuração de relação entre as variáveis destacadas para descrever o fenômeno do objeto, contemplando sempre uma conotação subjetiva da presença do observador.

3.3.4 O paradigma sistêmico no presente trabalho

Segundo Checkland (1981), a aplicação das concepções sistêmicas a uma grande diversidade de conteúdos, a partir de diferentes enfoques, fez emergir vários resultados teóricos e práticos, unificados pela solução encontrada para explicar diferentes fenômenos sistêmicos. Entretanto, o fato de alimentar as noções e princípios básicos para obtenção do conhecimento no campo de qualquer atividade intelectual humana torna o paradigma sistêmico independente de um conteúdo disciplinar específico. Enfim, o paradigma sistêmico não é uma teoria geral que caracteriza os aspectos epistemológicos do pensamento analítico.

O paradigma sistêmico revisa os elementos básicos gerais de uma linguagem genérica para a obtenção dos conhecimentos da realidade em qualquer um de seus aspectos. Assim, Kasper (2000) entende o paradigma sistêmico como um conjunto de noções e princípios doutrinários gerais que fundamentam o desenvolvimento de teorias e abordagens nas diversas áreas e diferentes níveis de complexidade do conhecimento.

Então, na ausência de uma teoria geral, Kasper (op. cit.) entende que, a partir da investigação das várias abordagens sistêmicas, seja possível destacar um conjunto de noções, princípios e pressupostos, articulando-os como um todo coerente que necessariamente se reveste de aspectos teóricos específicos, em função dos vários temas que possam se referir e dos distintos enfoques adotados nas diversas abordagens.

A partir dessas considerações para realizar o objetivo do trabalho, Kasper (op. cit.) orienta que as diferentes abordagens sistêmicas podem ser reveladas em torno de três tópicos principais:

- Concepções sistêmicas gerais: referem-se às doutrinas básicas do pensamento sistêmico, que contemplam as suposições acerca da natureza da realidade, bem como as noções conceituais que tornam possível aplicar essas doutrinas a diferentes conteúdos como os que estão envolvidos no objetivo do presente trabalho;
- Concepções voltadas aos temas de interesse da abordagem: residem na distinção das concepções específicas que estão na origem do modelo, abordagem ou metodologia particular e que em nosso trabalho se traduz com a realização de um estudo específico associado a geração de energia elétrica e suas interações, estando tal estudo associado do modelo global do processo dinâmico de conhecimento da SD.

- Pressupostos acerca da natureza do conhecimento e das interações: consistem na distinção dos pressupostos assumidos quanto ao caráter do conhecimento obtido com a abordagem sistêmica e quanto à natureza das interações que conformam essa realidade, em especial quando se trata de contextos sociais e que nesse trabalho foram fundamentais para a construção do modelo global apresentado em nossos resultados.

3.3.5 Retroação (*feedback*) – alimentação retroativa do sistema

A noção de sistema aberto mantém estreitos vínculos com outra noção extremamente importante, tendo em vista que esse sistema necessita de informação sobre os efeitos que as suas ações produzem no seu meio ambiente (ou ecossistema). Trata-se da noção de *feedback*, trazida do pensamento cibernético de N. Wiener e da visão sistêmica de Bertalanffy. Tal noção, a retroação, realimentação ou retroalimentação, efetua um rompimento com a causalidade linear, cujo efeito repercute sobre a causa e a modifica, e nos apresenta a causalidade circular. Wiener (1984) chegou à conclusão fundamental de que, para que haja controle de uma ação com um objetivo final, a informação necessária para o controle precisará fechar um laço ou circuito fechado, de modo que os efeitos das ações ou performances do passado e do presente sejam a referência para o ajuste da conduta futura. Então, qualquer comportamento auto-regulador depende do processo de troca de informação, via realimentação ou *feedback* negativo. Nas causalidades retroativas, permitimo-nos conceber a constituição de uma causalidade interna ou endocausalidade, que, de certo modo, emancipa o organismo das causalidades externas porque embora sofra seus efeitos, acaba se adaptando a ele. Segundo esse autor, a realimentação de informação está presente em todos os processos sistêmicos de controle cuja regulação se dá com base no comportamento efetivo e não no desempenho previsto. Afirma que os processos circulares, baseados na realimentação da informação, estão no cerne de todas as formas organizadas, tanto na natureza como na sociedade. O autor entende que as retroações são o fundamento de todos os processos organizacionais que caminham no sentido oposto da tendência ao aumento geral da entropia sugerido pelo segundo princípio da termodinâmica.

Quanto às retroações, enquanto os estudos cibernéticos se concentravam nos processos de realimentação negativa, a retroalimentação positiva era desprezada, por causar processo de desestabilização e comportamentos explosivos. Muruyama, apud Kasper (2000), mostrou que os procedimentos de ampliação de desvios são tão fundamentais quanto os primeiros para a

compreensão dos fenômenos e processos da realidade, especialmente quando se trata de situações geradoras de mudança e emergência de novas formas estruturais. Comprovou que a propriedade essencial envolvida na realimentação positiva tem como principal característica, ampliar um “chute inicial” – um evento aleatório, um incidente ou mesmo um estímulo planejado –, colocando em movimento processos cumulativos de mudanças que originam novas formas e estruturas.

Muitos autores apresentam suas interpretações a respeito do tema. Kurtz dos Santos et al. (2002), assim como Forrester, compreende o elo de retroalimentação como um caminho que acopla a decisão, a ação, o nível (estado ou condição do sistema) e a informação sobre o nível do sistema, com o caminho retornando ao ponto de decisão, de acordo com a figura 13.

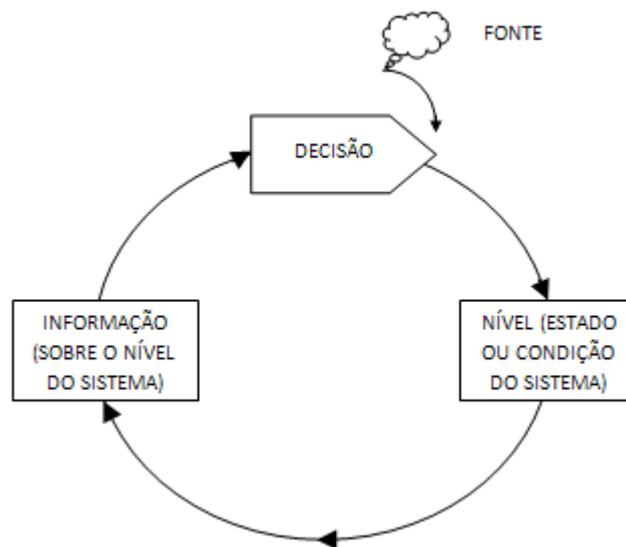


Figura 13 – Elo de realimentação de um sistema sem atraso
 Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos et al. (2000, p. 23)

Para Kurtz dos Santos (2000), o sistema de retroalimentação (retroação) é positivo quando gera um processo de crescimento no qual a ação constrói um resultado que gera ainda maior ação. Por outro lado, a retroalimentação é negativa quando procura por um objetivo e responde como consequência da falha em atingir o seu objetivo.

Em termos genéricos, a retroação constitui uma parte da saída do sistema (*output*) que, sob a forma de energia ou informação, volta à entrada (*input*).

Para Pinheiro e Urbano (1994), um sistema possui dispositivos de retroação quando produz uma ação em resposta à entrada de informação e inclui o resultado da própria ação na nova informação, pela qual o seu comportamento ulterior é modificado (ver figura 14).

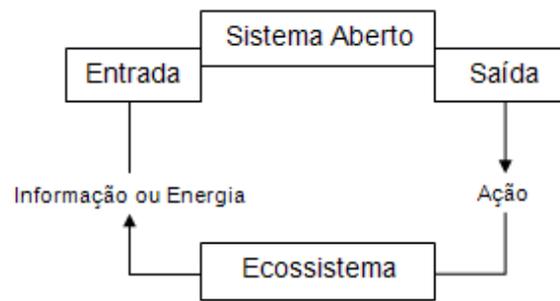


Figura 14 – Retroação

Fonte: Adaptado de Pinheiro e Urbano (1994)

Se as informações facilitam a ação no mesmo sentido dos resultados precedentes, a retroação é positiva. Ou seja, a sua ação é de sinal igual ao do desvio e os efeitos são, por conseguinte, acumulativos ou autoamplificadores, e levam a produzir mais vezes o mesmo efeito. Pelo contrário, diz-se que a retroação é negativa quando a sua ação é de sinal contrário ao do desvio, tendendo, portanto, a compensá-la, mantendo o sistema em equilíbrio.

A retroação positiva produz, pois, um comportamento divergente: a resposta é sempre a mesma, quer no sentido crescente, quer decrescente (ver figura 15).

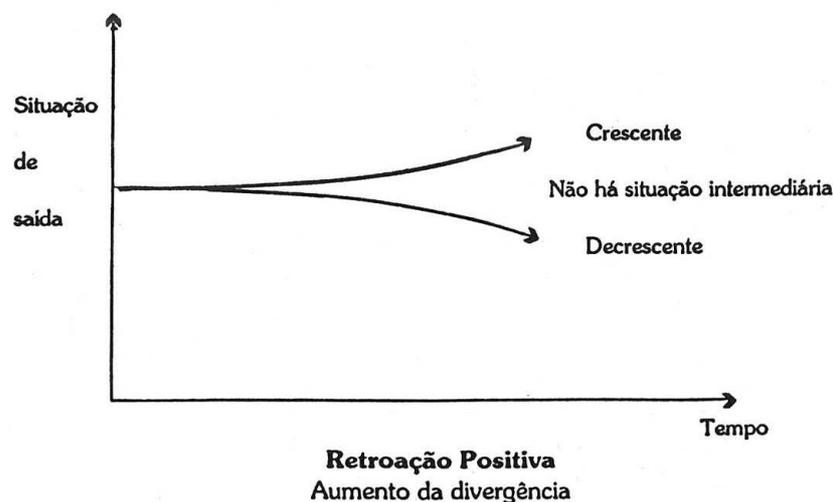


Figura 15 – Retroação positiva – aumento da divergência

Fonte: Adaptado de Pinheiro e Urbano (1994)

Segundo Pinheiro e Urbano (1994), num ou noutro caso, uma retroação positiva descontrolada não pode conduzir senão à destruição do sistema, por explosão ou por cessação de todas as suas atividades. O sistema assim funcionando (em retroação positiva permanente) é exuberante, tal como o é uma bola de neve rolando interminavelmente por uma montanha abaixo, mas deverá ser controlado – contrariado – por retroações negativas, se quiser se

manter ao longo do tempo (a menos que, excepcionalmente, encontre estabilidade numa escala ou patamar, se para tal tiver potencial). A instabilidade que caracteriza esses sistemas ocorre devido ao desenvolvimento de um círculo vicioso que se amplifica. Processos de ampliação de desvios podem também ser vistos como responsáveis pelo aumento do fluxo de informação incorporada num sistema, o que equivale, se controlado, ao aumento da complexidade ou organização dos mesmos.

Inversamente, a retroação negativa conduz a um comportamento adaptativo, o que introduz um novo aspecto no sistema: a sua finalidade. Com efeito, se um mecanismo de retroação (ou servomecanismo) simples controla apenas uma variável (por exemplo, a temperatura da água num termoacumulador), já os sistemas complexos ou extremamente complexos exigem servomecanismos de complexidade pelo menos correspondente. No caso desses sistemas, sejam eles artificiais ou naturais, os servomecanismos têm de incorporar uma finalidade, que é o objetivo do seu projeto (PINHEIRO; URBANO, 1994, p. 57-58).

Chiavenato (2000) associa o tema às empresas como sistemas abertos que possuem *entradas*, por onde ocorrem as interações com o meio ambiente externo, tais como informações, energia, recursos materiais, operacionais, produtivos, e que são transformados ou processados por subsistemas próprios do sistema total. Os resultados ou *saídas* é tudo o que sai processado do sistema, devolvido ao meio ambiente. A *retroação (feedback)* é reentrada ou retorno de parte das saídas do sistema para a entrada do mesmo, alterando-o e pondo o sistema novamente em funcionamento de uma forma controlada, enviando as informações ao regulador de entrada, buscando com isso um estado de equilíbrio ou *homeostase*. A retroação é positiva quando as saídas provocam uma ação estimuladora que aumenta as entradas, ou negativa quando a saída freia a entrada.

Além dos tópicos citados, uma característica adicional, que pode tornar o comportamento desses sistemas difícil de perceber é a dos atrasos, que ocorrem ao transmitir e receber a informação. O princípio fundamental de controle é: quanto mais próximo da ação o controle é exercido, este será provavelmente mais efetivo.

Kurtz dos Santos et al. (2002), citando Forrester ao referir-se ao elo de realimentação, afirma que num sistema poderão ocorrer *atrasos* adicionais ou distorções sequenciais no elo, e ilustra uma situação de importação de mercadorias, representada pela figura 16.

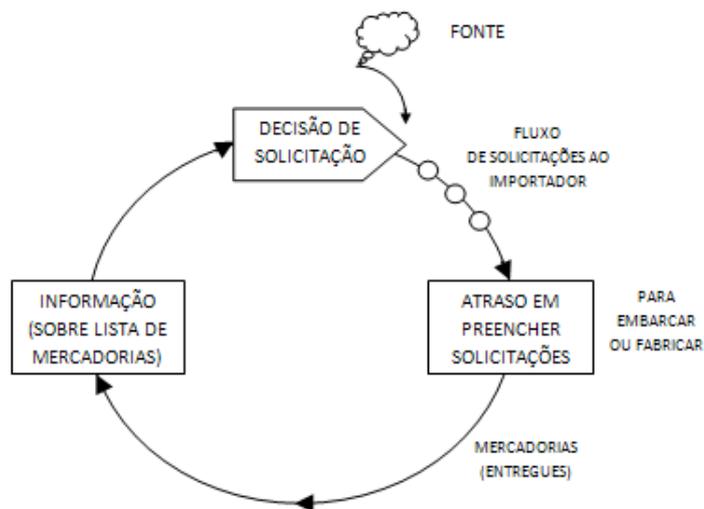


Figura 16 – Elo de retroalimentação de um sistema com atraso (*delay*)
 Fonte: Kurtz dos Santos et al. (2002, p. 25)

Observa-se que nessa situação, que envolve um fluxo de importação de mercadorias, existe um atraso (*delay*) em preencher as solicitações, fazendo com que a decisão não fique diretamente vinculada ao nível de mercadorias, já que existe um atraso entre a ação e a modificação do conjunto de mercadorias. É importante ressaltar que, para a Dinâmica de Sistemas, elos de retroalimentação e atrasos são responsáveis por grande parte do comportamento dos sistemas humanos organizados. Dessa forma, para que um sistema possa ser compreendido, essas duas noções precisam ser levadas em consideração.

3.3.6 Sistemas humanos ou de atividades humanas

Nosso estudo envolve o processo de geração de energia elétrica ou seja, organizações, administradas e lideradas por pessoas, sistemas humanos ou de atividades humanas.

Com essa proposta, torna-se importante abordarmos nosso trabalho com a mesma visão de Pidd (1998), tendo a clareza de que os “sistemas humanos envolvem ações de pessoas e isto é o que os difere de sistemas que são meramente biológicos ou construídos e projetados pelo homem”.

Sendo as organizações sistemas de atividades humanas, a questão do projeto de um sistema é crucial. Conseqüentemente, sistemas de atividades humanas bem-sucedidas devem deliberadamente ser projetados tendo em mente atores ou homens envolvidos.

Os sistemas de atividades humanas incluem pessoas que têm a liberdade para agir. Essas ações definirão o futuro do sistema e conseqüentemente dos sistemas de produção, pois

levam em consideração a forma como as pessoas tomam parte no sistema. Logo, os sistemas gerenciais devem ser construídos dessa forma, considerando quem necessita de informação e quando esta deve ser processada.

Sendo assim, podemos definir uma organização como um componente de elementos e pessoas envolvidas por vínculos de natureza distinta, em inter-relação permanente, tendendo para um senso comum da noção de Bertalanffy (1977) que define o sistema como um conjunto de elementos que estão em interação entre si e tendem a manter o equilíbrio (tendência homeostática).

Checkland (1981) entende o conceito de sistemas de atividades humanas como um conjunto de atividades interligadas conformando um todo, organizadas para o alcance de um propósito, distinguindo-se de outras classes de sistemas, como, por exemplo, sistemas naturais e sistemas físicos construídos pelo homem, pelo fato de que estes poderiam ser bem diferentes do que são, em função da consciência humana e da possibilidade de diferentes escolhas.

Para Checkland (op. cit.), um modelo coerente de um sistema de atividades humanas somente pode ser construído se for declarada a visão de mundo que lhe dá significado e admite que vários modelos sistêmicos, todos igualmente válidos, podem ser úteis na descrição de uma situação. As distintas interpretações consideradas relevantes, descritas em modelos conceituais, devem ser examinadas na busca de ações de melhoria e em qualquer situação. Para tanto, é necessário ter consciência de que as ações no mundo real são muito mais complexas que as atividades estruturadas descritas nos modelos.

A ideia anterior conduz a outra ideia que envolve a aquisição de conhecimentos: a via do processo de aprendizagem¹³¹ em contínua, para melhorar situações humanas problemáticas, que consiste na implementação de um processo cíclico de aprendizagem que segue o modelo geral da pesquisa-ação. Esse modo de investigação, segundo Checkland (op. cit.), faz interagir teoria e prática e está estreitamente ligado ao exame dos pressupostos que são muitas vezes assumidos como dados.

3.3.7 A coerência sistêmica

Ao analisarmos as características das diferentes organizações, notamos que estas apresentam graus de liberdade muito amplos, devido à multiplicidade de variações e interações entre seus elementos. A sua complexidade tende a aumentar, e esta interdependência que avança entre os seus elementos nos apresenta uma forma de estudar os fenômenos entendidos como

complexos. A visão sistêmica é a única capaz de levar adiante a tentativa de interpretação da realidade.

Bertalanffy afirma que o pensar a complexidade do real levou inúmeros especialistas dos principais domínios científicos, da física quântica à história, a estar de acordo sobre o fato de que era chegado o momento de se orientar a ciência.

Tal processo encontrou suporte a partir da constatação de um fenômeno surpreendente na evolução da ciência: a emergência de problemas e conceitos semelhantes que se desenvolviam de maneira independente em domínios que se diferenciavam sensivelmente. A partir de então, a noção de sistema pode se fundamentar, tendo como alicerce a descoberta de que princípios que governavam o comportamento de seres intrinsecamente diferentes se correspondiam, constatando-se que a presença de tais semelhanças estruturais ou isomorfismos em domínios diferentes era uma consequência da existência de propriedades gerais dos sistemas, havendo correspondência porque as entidades em questão podiam ser consideradas, em certos níveis, como sistemas, quer dizer, conjuntos de elementos em interação uns com os outros.

Assim, percebe-se que no conceito de sistema a noção da entidade global organizada de inter-relações remete necessariamente a uma coerência interna entre os elementos que compõem os sistemas em geral. Tal coerência interna é condição básica para o funcionamento do sistema, seja ele físico, biológico ou social, pois todo sistema desempenha funções, e estas só são possíveis mediante o entrosamento das partes que o compõem. Quanto ao funcionamento interno, os sistemas complexos obedecem a uma coerência interna, ou seja, seguem o princípio básico da complexidade irreduzível.

3.4 O pensamento sistêmico organizacional proposto por Peter Senge

Nas organizações, de uma maneira geral, pretendendo-se construir conhecimentos e apoiar aprendizagem, a modelagem é um auxílio na tomada de decisão. Assim, os modelos servem de apoio para que os gestores aprendam as consequências de seus atos. Com essa visão, o especialista passa a ter o papel de facilitador de aprendizagem em equipe. Senge (2005) entende que as pessoas possam aprender continuamente a partir do que realizam e acerca do que pensam de suas organizações. Assim, o núcleo do aprendizado de Senge é testar e examinar os modelos mentais de grupos e indivíduos chave para as decisões

organizacionais, para a aprendizagem individual e aprendizado em equipe, como meio de construir visões e objetivos comuns.

Senge (2005) salienta que o pensamento sistêmico deve ser analisado em três diferentes aspectos: a prática, a essência e os princípios. Todos estes aspectos devem ser considerados simultaneamente, ou seja, além de um conjunto de atividades, o pensamento sistêmico é também um conjunto de princípios teóricos que ajudam no conhecimento. O autor se afasta do positivismo da ciência clássica, partindo do pressuposto de que a linguagem modela o pensamento e a percepção. Para ele, o que é descrito como um objeto da realidade não é uma entidade independente e objetivamente dada. As pessoas percebem o mundo através da sua articulação na linguagem. Segundo o autor, o pensamento sistêmico é uma nova linguagem que rompe com o pensamento linear impeditivo da percepção dos fenômenos que envolvem a complexidade.

No caso do pensamento sistêmico, a experiência de vivenciar interligações permitiria uma visão do todo. O pensamento sistêmico deve manter um foco no geral e no específico, fazendo assim com que tenhamos uma visão sistêmica do todo.

Segundo Senge (op. cit.), o pensamento sistêmico se estrutura através de um linguajar, um arquétipo, que comunica o funcionamento do sistema e da complexidade da realidade. Segundo essa perspectiva, o que é descrito como um objeto da realidade não é uma entidade independente e objetivamente dada. As pessoas percebem o mundo através da sua articulação na linguagem. O autor entende os arquétipos como padrões sistêmicos que têm por objetivo simplificar a comunicação dos modelos sistêmicos, especialmente para facilitar a utilização das ideias sistêmicas e para a transmissão de informações em equipes de gestão.

Dentro dessa ótica, uma outra contribuição de Senge (op. cit.) refere-se à caracterização de níveis diferenciados de percepção para uma determinada situação complexa da realidade. Na prática estes níveis atuam em conjunto e se apresentam como:

- os eventos, onde os indivíduos, ao perceberem uma determinada situação, reagiriam reativamente de maneira automática;
- o padrão de comportamento, onde o indivíduo teria que analisar as tendências de longo prazo e avaliar suas implicações;
- o estrutural, o que permite, na situação, intervenções que permitam alavancar as mudanças, ou seja, alterar as causas daquele comportamento;

- a formação dos modelos mentais, onde os indivíduos estruturam o seu comportamento de forma a gerar estruturas sistêmicas da realidade de maneira que possam compreendê-las e modificá-las.

Assim, Senge (op. cit.) estabelece que, através do diálogo entre os elementos do sistema humano, mergulhando nos níveis descritos, pode-se introduzir um método alternativo que permita compreender e intervir na realidade, observando três princípios sistêmicos:

- I- A estrutura influencia o comportamento, onde, nos sistemas complexos, pessoas diferentes, quando imersas no mesmo padrão de interações, tendem a produzir resultados qualitativamente semelhantes;
- II- Em sistemas complexos existem ações potenciais de alavancagem que são os pontos em que pequenas mudanças podem gerar grandes mudanças.
- III- Qualquer tentativa de mudança nas políticas operacionais que integram as estruturas, que não altere substancialmente os fatores relevantes na determinação do comportamento do sistema, tenderá a ser contrabalançada e anulada pelo sistema.

Xavier (2003) apresenta, embasado nos estudos de Senge, um método para compreender e alternativamente intervir num sistema que envolva complexidade em 10 (dez) etapas:

- 1- definir claramente uma situação de interesse;
- 2- assinalar eventos históricos relevantes associados com a situação ao longo do período considerado;
- 3- identificar fatores ou variáveis que são fundamentais para a compreensão da situação;
- 4- observar o comportamento passado e as tendências futuras dos fatores importantes;
- 5- identificar as relações causais entre as variáveis a partir de hipóteses e intuições a respeito das influências;
- 6- identificar os conteúdos dos modelos mentais, através do levantamento dos pressupostos que as variáveis, envolvidas na situação, mantêm em sua mente;
- 7- transformar os conteúdos do modelo mental em elementos do sistema;
- 8- identificar um diagrama causal para a situação;
- 9- realizar a modelagem computacional;
- 10- replanejar o sistema.

Além do roteiro apresentado para prática do pensamento sistêmico, Senge (op. cit.) entende existir aí uma flexibilização que pode ser a combinação ou utilização de técnicas alternativas. Juntamente com o roteiro apresentado, cita o “princípio da alavancagem” como um dos principais resultados práticos desse pensamento. Para o autor, tal princípio se

caracteriza pela “identificação de onde as ações e mudanças nas estruturas podem levar a melhorias significativas e duradouras. Muitas vezes, a alavancagem segue o princípio da economia dos meios: os melhores resultados provêm não de esforços em larga escala, mas sim de pequenas ações bem focalizadas” (SENGE, 2005, p.143).

3.5 Dinâmica dos Sistemas

O principal criador das ideias da agora conhecida Dinâmica de Sistemas foi Jay Forrester, sendo estas inicialmente publicadas em seu livro *Industrial Dynamics* (1961). Nesse livro, Forrester apresentou como os modelos da estrutura um sistema humano, e os procedimentos utilizados para controlá-lo poderiam auxiliar no desenvolvimento da compreensão sobre a operação e o comportamento do sistema. O autor desenvolveu um conjunto de ferramentas para simulação que veio a se tornar conhecido como dinâmica de sistemas. As ferramentas da dinâmica de sistemas podem ser utilizadas de diferentes maneiras. A primeira abordagem provê uma das formas de visualizar sistemas humanos, ressaltando a importância de certas características estruturais do sistema, tais como a *retroação*. A segunda abordagem é utilizar estas características estruturais para desenvolver um modelo de simulação dos sistemas. Na última abordagem, podemos utilizar os modelos de simulação para auxiliar na busca das melhores formas de operar os sistemas e demonstrar suas consequências.

Resumidamente, a proposta da Dinâmica de Sistemas é utilizar os modelos como ferramentas de pensamento, embora nossos modelos mentais estejam escondidos e os modelos da Dinâmica de Sistemas sejam explícitos. A dinâmica sistêmica é uma das ferramentas disponíveis para as pessoas que desejam pensar a respeito das consequências de suas possíveis ações.

Segundo Kurtz dos Santos (1995, p. 61), Forrester considera os níveis e as taxas, dois tipos fundamentais de variáveis e suficientes para representar um elo de retroalimentação.

As variáveis de nível acumulam os fluxos descritos pelas variáveis do tipo taxa. As equações de nível realizam o processo de integração. As variáveis de taxa dizem quão rápido os níveis estão mudando. Elas determinam não os valores atuais das variáveis de nível, mas a declividade (mudança por unidade de tempo) das variáveis de nível.

Forrester (1990) argumenta que as equações de taxa expressam uma maneira de descrever a ação num sistema. Segundo o autor, nenhuma taxa num instante pode depender de outras taxas no mesmo instante, ou seja, taxas não atuam diretamente em outras taxas. Por consequência, o valor de uma variável taxa dependeria somente de constantes e de valores presentes de variáveis níveis.

Na mesma obra, o autor considera que um sistema que possua enlace de retroalimentação tem uma estrutura fechada de elos, que traz resultados da ação passada do sistema de volta, para controlar a ação futura.

Nas apreciações seguintes, Forrester, (apud KURTZ DOS SANTOS, 1995), conclui que a classificação de um sistema aberto não é intrínseca ao conjunto particular das partes, mas que depende da ótica do observador em definir o propósito do sistema.

Forrester (1990) descreve a estrutura dos sistemas complexos constituída de quatro níveis:

- fronteira fechada em torno do sistema;
- enlaces de *feedback*;
- variável de nível (estados);
- variáveis de taxa.

O objetivo principal dos modelos da Dinâmica dos Sistemas é colaborar com os processos mentais e lidar com o comportamento dos dinâmicos e complexos fenômenos que envolvem a realidade.

As vantagens de representar os modelos na forma de diagramas de fluxo e equações matemáticas de simulação são as seguintes, conforme Pidd (1998):

- permite definir os modelos em torno da sua proposta, fixando conteúdos e testando os pressupostos adotados e a sua coerência com o comportamento observado;
- elicia pressupostos presentes num modelo mental;
- torna menos nebuloso o modelo mental, facilitando a sua comunicação;
- quando se trata de modelos dinâmicos, facilita a sua manipulação, impedindo que sejam tiradas conclusões a partir de análises passadas, incoerentes com os pressupostos referentes à estrutura do sistema.

Na sequência, apresentamos um diagrama de fluxo da dinâmica de sistemas que tem por objetivo principal representar os relacionamentos entre níveis e taxas que formam um modelo dinâmico de sistemas. Os símbolos principais sugeridos por Forrester (1990) são apresentados na figura 17, com aqueles usados na modelagem computacional STELLA.

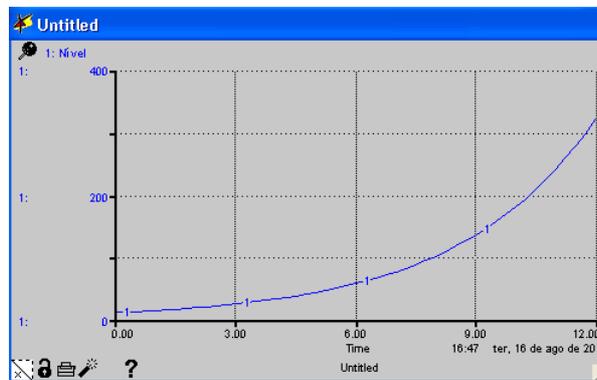
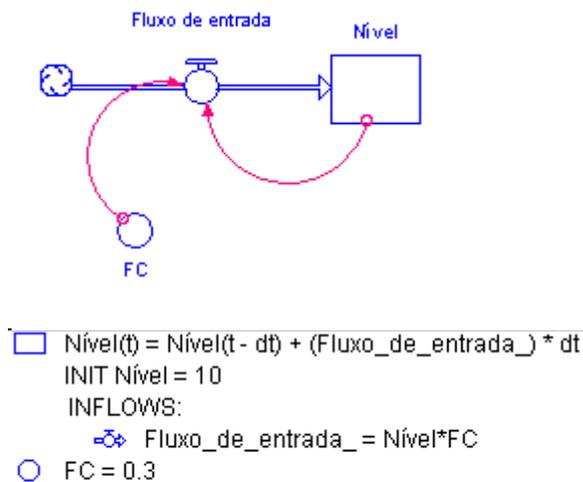


Figura 17 – Estrutura STELLA para crescimento exponencial.

Como a dinâmica de sistemas trabalha com uma metáfora de fluxos de fluidos, isto é enfatizado pelos símbolos usados no diagrama que mostram fluxos e taxas controlados por uma torneira ou válvula. No *software* STELLA, os fluxos de recursos são representados por flechas de linha dupla e os fluxos de informações são representados por flechas de linha simples. Quando Forrester desenvolveu a dinâmica de sistemas, pretendia que o modelador desenvolvesse o diagrama e utilizasse este processo no desenvolvimento de um conjunto de equações que pudessem simular o sistema. O *software* STELLA automatiza o desenho do sistema na tela de um computador e o coloca um passo adiante, via interface gráfica com o usuário. Os círculos no STELLA são, segundo Forrester, conversores ou variáveis auxiliares que têm como propósitos:

- combinar diversos fluxos em um único;
- converter unidades nas quais o nível é medido em unidade diferente;
- simplificar o uso de expressões algébricas complexas;

- atuar como parte de processo de entrada ou de saída;
- modelar objetivos para os níveis.

3.5.1 A base da utilidade do modelo dinâmico

Conforme Kurtz dos Santos et al. (2002), Forrester entende que a validade e a utilidade dos modelos dinâmicos deveria ser julgada, não contra a perfeição imaginária, mas em comparação com os modelos mentais e descritivos que viríamos a utilizar:

- pela clareza de estrutura e comparar essa clareza com a confusão e incompletude frequentemente encontrada em descrições verbais;
- se são ou não as considerações subjacentes mais claramente expostas do que em nossos processos mentais;
- pela certeza com que mostram consequências corretas de variação temporal das afirmativas feitas no modelo comparadas às conclusões não fidedignas que alcançamos ao estender nossa imagem mental da estrutura do sistema a implicações comportamentais;
- pela facilidade de comunicação de sua estrutura, comparada à dificuldade em fornecer uma descrição verbal.

Kurtz dos Santos et al. (2002), citando Forrester, entende que os modelos devem ser julgados não numa escala absoluta que os condena por falha de serem perfeitos, mas numa escala relativa que os aprova se eles têm sucesso em clarificar nosso conhecimento e nossas intuições sobre os sistemas.

A validade do modelo é uma matéria relativa. A utilidade de um modelo de simulação matemática deve ser julgada em comparação com a imagem mental ou outro modelo abstrato que seria utilizado, em vez do modelo matemático.

Quando um modelo é reduzido a diagramas de elos causais e equações matemáticas, quando suas considerações subjacentes podem ser examinadas, quando pode ser comunicado aos outros, e quando podemos computar seus padrões temporais para determinar o comportamento implicado pelo modelo, então podemos desejar entender melhor a realidade.

3.6 Modelos e modelagem

Segundo Kurtz dos Santos (2011), modelo é um substituto para um objeto ou sistema. Qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo pode ser considerado um modelo. Os conceitos mentais que formamos para utilizar nos modelos são, em última análise, abstrações advindas da nossa experiência de vida que está diretamente ligada aos nossos processos de percepção e organização individuais.

Todos os nossos pensamentos são dependentes dos modelos, e entende que nossos conceitos mentais são abstrações fundamentadas em nossas experiências com a realidade. Essas experiências vão sendo filtradas e modificadas ao longo do tempo por nossa percepção particular e processos organizacionais do meio ambiente, produzindo modelos mentais que representam essa realidade de mundo em torno de nós.

Kurtz dos Santos (2002) entende que o termo modelo mental designa um modelo indiossincrático muito pessoal que um usuário possui sobre uma área específica. Pode-se pensar que esse modelo é uma representação subjetiva do conhecimento da área, em que o termo subjetivo significa que não tem que estar de acordo com uma descrição objetiva e científica. Para a descrição científica, Kurtz dos Santos reserva o termo modelo conceitual, desenvolvido por cientistas e pesquisadores.

Apesar da não existir uma definição nítida dos passos a serem seguidos no processo de modelagem, alguns autores estabelecem os seguintes passos do processo de modelagem matemática – mas que valem para qualquer área do conhecimento (figura 18).

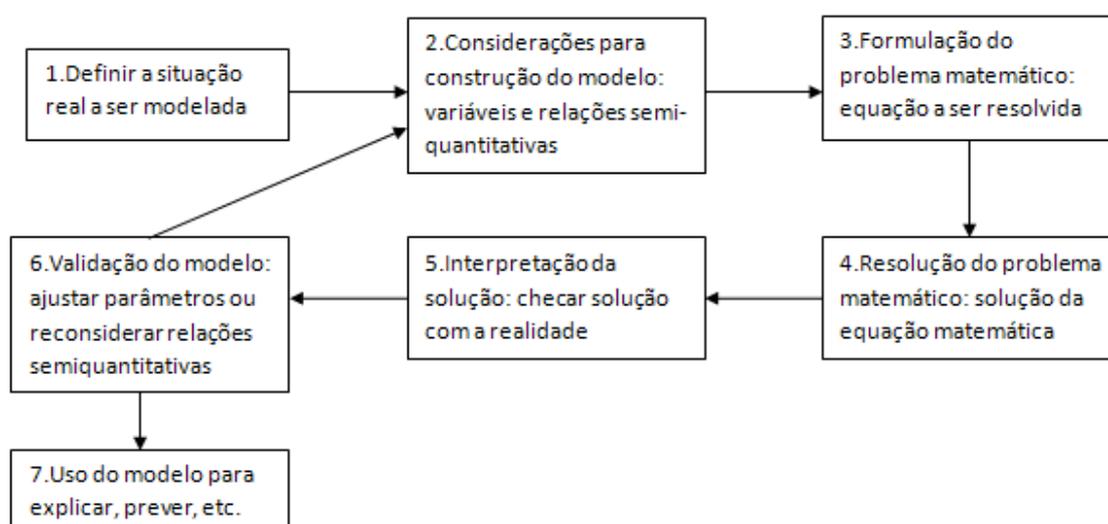


Figura 18 – Referencial para o processo de modelagem matemática

Fonte: Kurtz dos Santos (1995, p. 25)

Kurtz dos Santos (1995) explica que, embora esse referencial não leve em consideração a modelagem computacional, esta poderia estar presente em todas as fases dos processos. Esse autor aprofunda um pouco mais os estágios do referencial, entendendo a etapa 1 (um), como a fase de definição de uma situação real, em que será feita a escolha do sistema a ser modelado onde o conhecimento do sistema será qualitativo. A etapa 2 (dois), a fase de identificação de causação e de variáveis. Na modelagem de sistemas dinâmicos trabalharíamos os diagramas causais. A etapa 3 (três) formula o problema matemático onde é necessário algum conhecimento de tipos de modelos e seus comportamentos, descritos por equações. A etapa 4 (quatro), a de resolução do problema matemático, será a geração de saída gráfica ou tabular do modelo onde se poderão utilizar os sistemas de modelagem STELLA, pois tais programas permitem resolver equações diferenciais ou de diferenças que podem representar sistemas dinâmicos.

As etapas de validação do modelo e considerações para construção do modelo também estão unidas por uma seta, significando que, se o modelo não é válido, deverá ser reformulado, levando a repensar as considerações para a construção do modelo. A validação de um modelo pode ser quantitativa e qualitativa. A validação quantitativa olha para o comportamento do modelo quanto aos resultados numéricos. Nesse procedimento será necessário escolher parâmetros, rodar e interpretar o modelo e, finalmente, checar se ele descreve adequadamente a situação real. Na validação qualitativa, a questão a ser formulada seria se o comportamento qualitativo da solução é apropriado, levando a um questionamento sobre a estrutura causal do modelo.

3.6.1 Funcionamento do *software* STELLA

Na sequência faremos a apresentação do *software* STELLA e de alguns comportamentos dinâmicos que podem ser trabalhados, lembrando que no programa um tanque representa uma quantidade cujo valor pode crescer ou decrescer, sendo conveniente descrever as variáveis relacionadas a acumulação durante a passagem de tempo por tanques. A torneira, que representa a taxa decide o quão rápido a quantidade no tanque está mudando. O conversor, quantidades representadas por um círculo podem ser constantes, ou podem ser obtidas de outras quantidades.

No STELLA, o usuário, ao construir um modelo, através da conexão dos objetos básicos, tanque, torneira e conversor, não necessita definir as equações diretamente. Ele tem

apenas que fornecer as relações algébricas e o sistema converte essas relações em linhas do programa. O STELLA permite a obtenção de gráficos de quaisquer variáveis contra outras e contra o tempo gerando, ao final, uma tabela de dados.

Convém ressaltar, de acordo com Kurtz dos Santos (2002), que os níveis acumulam os resultados da ação do sistema e não podem mudar instantaneamente. A variável nível é computada em função da variável taxa, que altera o valor inicial do nível. Nenhuma taxa pode ser medida instantaneamente e, quando medida, o valor encontrado é um valor médio num intervalo de tempo. A verdadeira taxa é a ação instantânea da qual estamos encontrando o valor médio. Assim, nenhuma taxa pode depender de outras taxas no mesmo instante e nenhuma taxa pode, em princípio, controlar outra taxa sem a intervenção de uma variável nível. O valor da taxa depende somente de constantes e dos valores atuais das variáveis níveis. As equações de taxa, de um sistema, são de forma algébrica simples, não envolvem tempo ou intervalo de solução e não dependem de seus próprios valores passados. Logo, num sistema, se os níveis são conhecidos, em certo intervalo de tempo as taxas podem ser determinadas.

Resumindo, o valor da variável nível é necessário para descrever completamente a condição de um sistema.

3.6.2 Padrões de comportamento dinâmico desenvolvido em STELLA

Apenas para ilustrar apresentamos alguns comportamentos dinâmicos básicos cujos tipos de respostas temporais podem ser estruturados em modelos de sistemas dinâmicos STELLA:

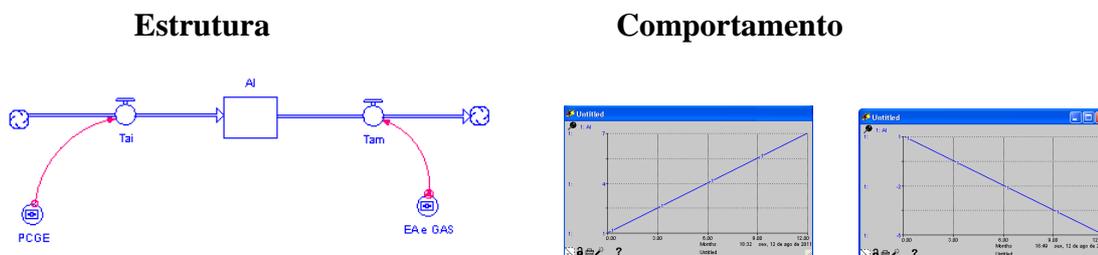
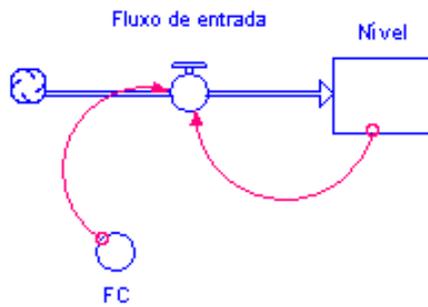


Figura 19 – Crescimento linear de área impactada desenvolvido em STELLA.

Estrutura



Comportamento

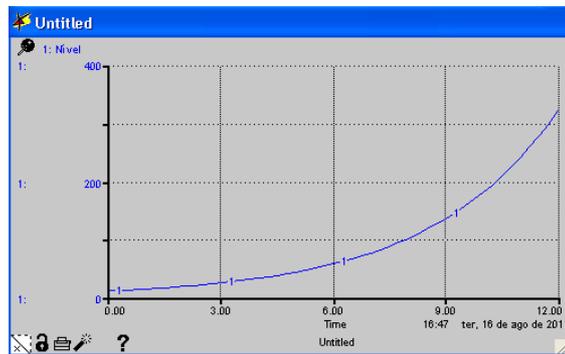
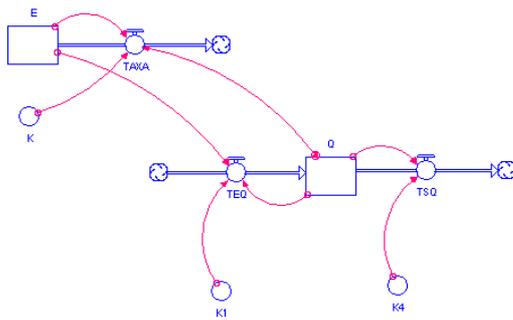


Figura 20 – Crescimento populacional exponencial desenvolvido em STELLA

Estrutura



Comportamento

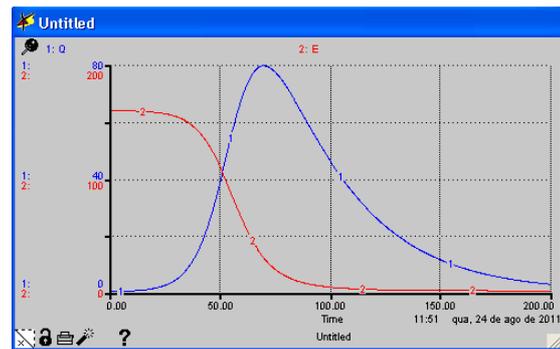


Figura 21 – Evolução temporal de uma fonte natural não renovável e do nível de energia produzido pela fonte, desenvolvido em STELLA

CAPÍTULO QUARTO

4 EM BUSCA DE UM MODELO DE APRENDIZADO CONTÍNUO, TENDO COMO BASE ALGUMAS CONCEPÇÕES SISTÊMICAS EMERGENTES

Este capítulo tem por finalidade articular resumidamente os princípios que permitem abordar o pensamento sistêmico, visando à construção do conhecimento.

Estando o pensamento sistêmico fundamentado na adequação de alguns tópicos da complexidade organizada, com tais abordagens acaba por modificar os dois sustentáculos da ciência analítica. Para Capra (1997), tais modificações devem ser interpretadas da seguinte maneira:

- o universo deve ser concebido a partir de interações organizadas, ao invés de constituído a partir de elementos/blocos básicos de construção, cujas propriedades seriam as mesmas quando isolados ou quando integrando o todo;
- a causalidade complexa, gerada em razão de padrões de interações, substitui a causalidade unidirecional imposta externamente ao objeto, situação esta que isola a relação de causa e efeito analisada.

4.1 Princípios do pensamento sistêmico

O pensamento sistêmico nos permite interpretar a realidade, a partir dos princípios a seguir descritos.

4.1.1 Contextualismo

Capra (1997) entende a realidade em termos de padrões de interações dentro de redes complexas maiores de interação. Nessa direção, Bertalanffy (1997) propõe as propriedades emergentes de um sistema, como fruto de interações constitutivas entre as partes que integram um fenômeno complexo.

Ackoff (1981) afirma que, para um sistema existir funcionalmente, sendo este um composto de partes isoladas, faz-se necessária a interação e não as simples ações entre as partes.

Kasper resume os postulados anteriores, concebendo a realidade como padrões de interações em diferentes níveis sistêmicos aos quais devem corresponder diferentes níveis descritivos da organização da complexidade. Assim, “algo que é concebido como sistema num determinado nível de descrição, pode ser considerado noutra nível apenas como uma parte” (2000, p. 189).

4.1.2 Causalidade contingente

No determinismo clássico, todos os objetos afetados por uma causa são percebidos como se fossem massas submetidas a esforços mecânicos. Embora a massa sofra a ação de um fator exterior ao objeto, a relação causa e efeito é uma relação fechada, sendo analisada como se o ambiente não interviesse no processo, tal como ocorre nos estudos de laboratório. Nessa situação, qualquer perturbação indesejável deve ser descartada.

No pensamento sistêmico, de acordo com Checkland (1981), os sistemas complexos não podem ser explicados a partir do pressuposto de que os elementos atuam uns sobre os outros mediante interações que podem ser isoladas do padrão que configura o todo, e sim, identificando as propriedades que governam as partes, possibilitando dessa maneira explicar as unidades complexas. Uma célula humana ou uma empresa, por exemplo, são fenômenos que não podem ser analisados apenas em função da causalidade externa. Assim, os fenômenos complexos, dotados de relações que envolvem interações circulares, apresentam comportamentos que não são determinados externamente, cujas propriedades sistêmicas, fruto do contexto relacional, emergem dos diferentes padrões de interações endógenas.

Para Wiener (1984), todo fenômeno organizacional do universo depende da relação de informação e de padrões circulares de interação, cuja permanência implica a geração de uma autonomia da organização no que diz respeito ao que é externo. Tal causalidade

complexa, gerada no interior do sistema, dá origem a comportamentos que, como afirmam Morin (2005) e Ackoff (1981), buscam objetivos: a causalidade complexa gerada localmente no interior do sistema.

Para Ackoff (1981), podemos nos referir aos processos internos dos sistemas produtivos humanos como processos finalistas que são estabelecidos a partir do interior do sistema e não como algo que é imposto de fora do sistema.

Assim, de acordo com os autores citados, características como estabilidade, adaptação e evolução estão associadas às interações que determinam internamente essas características.

A lógica das interações, que propõe o padrão organizacional de um sistema complexo, pode, ao longo do tempo, gerar alterações no seu comportamento, modificando sua identidade. Ou seja, quando submetidos a determinadas causas, os sistemas complexos podem responder de maneiras bastante distintas.

4.1.3 Síntese

No pensamento sistêmico, as unidades simples dão lugar às complexas. Já as estruturas complexas são compostas por componentes agregados. Assim os sistemas são constituídos de outros subsistemas que ajudam a integrar outros sistemas de maior ordem.

Para Ackoff (1981), a síntese envolve a compreensão da realidade em estudo, incluindo a totalidade dos fatores relevantes à unidade complexa, suas interações e interdependências. O comportamento de uma variável deve ser estudado em função de todas as interações que são estabelecidas entre todas as variáveis inclusas na descrição de determinado fenômeno, incluindo as interações com o meio.

Assim, pensar sinteticamente exige:

- identificar o todo no qual o fator de interesse está incluso, observando suas interações com o sistema maior ou outros sistemas que constituem o ambiente;
- analisar a função que a parte exerce dentro do sistema;
- explicar as propriedades e o comportamento do todo, do qual o subsistema é parte.

Dessa maneira, o pensamento sistêmico, em vez de reduzir o foco à procura de partes elementares, busca contextualizar o fenômeno a ser estudado. A determinação do comportamento sistêmico deve ser analisada a partir de uma lógica causal contingente, gerada a partir de interações endógenas, ao invés de explicar tal comportamento a partir de uma lógica causal imposta de fora do objeto.

4.1.4 Resumo comparativo entre o pensamento sistêmico e o pensamento analítico

O quadro 3 apresenta um comparativo entre os fundamentos do pensamento sistêmico e do pensamento analítico.

Quadro 3 – Comparação entre os fundamentos do pensamento analítico e do pensamento sistêmico

Pensamento analítico	Pensamento sistêmico
Fundamentos explicativos da realidade	
Objeto	Sistema
Elementos ou partes constituintes	Organização ou “estruturas sistêmicas”
Relações causa-efeito entre partes ou “blocos de construção”	Interações entre fatores configurados através de processos dinâmicos
Reduccionismo	Contextualização
Determinismo	Causalidade contingente
Análise	Síntese
Universo mecânico	Organismo, máquinas auto-reguladas e processadoras de informação, redes, fluxos e transformação

Fonte: adaptado de Kasper (2000)

4.2 Aspectos da organização sistêmica

São vários os aspectos que colaboram para a organização sistêmica. Os principais são apresentados nas subseções a seguir.

4.2.1 As características gerais da organização

Tradicionalmente as organizações são concebidas como relações estáticas entre suas partes isoladas. As organizações complexas admitem padrões dinâmicos de interações.

Por sua vez, a descrição das interações nos fenômenos complexos pressupõe processos que envolvem fluxos de energia, matéria e informação.

Os modelos que descrevem as estruturas sistêmicas são teórico-explicativos e versam sempre sobre as complexas questões da realidade.

4.2.2 As noções operacionais da organização

Para operacionalizar uma organização em modelos descritivos, a partir das principais suposições sistêmicas, é necessário concluir que:

- a organização sistêmica envolve sempre um caminho circular de interações e recorrência dos processos que as realizam;
- os sistemas são constituídos por níveis hierárquicos (CHECKLAND, 1981), em que a complexidade aumenta com o aumento do número de níveis. Cada nível apresenta uma propriedade emergente que não aparece no nível inferior;
- a abertura e fechamento organizacional, que permite trocas com o meio (abertura) e a configuração endógena de interação (fechamento), são duas tendências na forma de descrever os sistemas.
- a adaptação é um tema que se refere ao processo de ajuste do sistema ao meio ambiente, onde o sistema realiza ações que visam a influenciar e controlar fatores ambientais. Para tanto, opera mudanças internas que, incorporando novas capacidades, permitirão fazer com que o sistema se depare com situações presentes ou futuras. Tal processo é estabelecido por Ashby (1970) na Lei da Variedade Necessária.

4.2.3 A aplicação das concepções sistêmicas

Segundo Kasper (2000), a aplicação das concepções sistêmicas propõe:

- a explicação de conceitos associados à dinâmica sistêmica;
- a compreensão dos mecanismos de regulação, na busca do comportamento final proposto;
- o entendimento de processos de organização e autoorganização;
- a explicação de processos de mudança e transformações em geral;

- o entendimento de situações complexas, a fim de organizar conhecimentos e o aprendizado, elucidando modelos mentais, de modo a construir a visão compartilhada;
- a administração da complexidade em sistemas sociais.

4.2.4 Resumo das concepções sistêmicas

As concepções sistêmicas específicas que deverão ser utilizadas nas aplicações citadas anteriormente, sob a ótica de Kasper (2000), estão apresentadas resumidamente no quadro 4.

Quadro 4 – Principais concepções específicas

Abordagem	Aspectos específicos contemplados nas abordagens
Teoria Geral dos Sistemas	Trocas de matéria e energia como essenciais para manter e renovar a estrutura de sistemas complexos
Cibernética	Realimentação de informação: princípio básico de regulação e o controle de sistemas em geral.
Cibernética	Ultraestabilidade: característica derivada de múltiplos laços de realimentação que realizam ajustes permanentes (dupla adaptação) de um sistema em função do outro; Lei da Variedade Necessária, que estabelece que somente variedade pode destruir variedade.
Cibernética	Morfogênese: o caráter generativo dos processos de amplificação de desvios.
Dinâmica de Sistemas	Estruturas sistêmicas complexas concebidas como múltiplos laços de realimentação positivos e negativos, que endogenamente geram o seu comportamento no tempo.
Organização como sistemas abertos	Sistemas sociais como processos recorrentes ou padrões cíclicos de atividades e energia.
Modelo do Sistema Viável	Modelo de sistema baseado nos princípios e ferramentas cibernéticas: Lei da Variedade Necessária, mecanismos de realimentação homeostáticos, teoria da informação e noção de “caixa preta”.
A abordagem sistêmica de Ackoff	Sistemas propositais humanos envolvem três níveis de propósito: as pessoas, a organização e o ambiente. “Problemas” em organizações integram “sistemas de problemas” e devem ser abordados como sistemas.
Metodologia de Sistemas de Checkland	Formulação do conceito de sistema de atividade humana; modelos conceituais como expressão da visão de mundo dos atores envolvidos e aprendizagem contínua como processo sistêmico da metodologia.
Aprendizagem organizacional	Pensamento sistêmico, segundo a versão da

	Dinâmica de Sistemas, como ferramenta de aprendizagem e mudança organizacional.
Estruturas dissipativas	Sistemas afastados do equilíbrio combinam dissipação de energia e emergência de novas estruturas complexas.

Fonte: Adaptado de Kasper, 2000.

4.3 Análise da descrição da complexidade a partir das abordagens sistêmicas

As abordagens sistêmicas deverão ser utilizadas como ferramentas no tratamento de situações problemáticas no gerenciamento de organizações.

Para Senge (2005), a complexidade nas organizações pode ser analisada em quatro níveis que poderão estar relacionados entre si:

- o primeiro nível envolve a percepção de eventos em que a diversidade de partes ou componentes explica as situações a partir do questionamento – “quem faz o que a quem”;
- o segundo nível é a instância onde são analisadas as características ou padrões de comportamento que estão associados a fenômenos e situações;
- o terceiro nível aborda a estrutura organizacional sistêmica;
- o quarto nível, que é determinado pelo processo cognitivo e interações humanas, invoca como os modelos mentais dos atores influenciam o comportamento de forma a gerar estruturas sistêmicas da realidade.

Kasper (2000) propõe um resumo das várias formas de se referir à complexidade nos sistemas organizacionais, apresentado no quadro 5.

Quadro 5 – Resumo das formas de se referir à complexidade

Complexidade sistêmica
Teoria Geral dos Sistemas
A complexidade sistêmica distingue-se da complexidade de um agrupamento qualquer de elementos, por envolver interações de natureza constitutiva.
Cibernética
-A complexidade de um sistema aumenta com o aumento da quantidade de níveis de controle inter-relacionados.
-Eventos aleatórios podem disparar interações sistêmicas. A complexidade de um sistema é função das relações circulares de causalidade mútua.
-Sistemas excessivamente complexos envolvem grande número de conexões e um grande

número de estados, influenciados tanto pela variedade externa como pela variedade gerada internamente ao sistema. Tais sistemas não podem ser conhecidos em seus detalhes. A complexidade de um sistema pode ser quantificada em termos da quantidade de informação necessária para descrever os seus estados de interesse. Estes são função do propósito pelo qual algo é examinado. A complexidade é uma medida relativa aos interesses do observador.

Dinâmica de sistemas

O grau de complexidade de sistemas complexos está relacionado a três aspectos: (1) ao número de variáveis de estado; (2) ao número de laços de realimentação e (3) à natureza não-linear dos laços de realimentação.

Organizações como sistemas abertos

Estruturas complexas em sistemas sociais se constituem a partir da interligação de várias estruturas cíclicas mais simples.

A abordagem sistêmica de Ackoff para sistemas sociais

Sistemas envolvem elementos em interação de tal modo que suas características funcionais não podem ser consideradas isoladamente. As partes de um sistema são subsistemas, e o sistema, um subsistema de um sistema de ordem maior ou ampliado.

Metodologia de Sistemas *Soft*

A complexidade não é algo preexistente, independente do observador. Depende das interpretações derivadas da “visão de mundo” de quem descreve uma situação complexa. Em sistemas de atividades humanas, as diferentes interpretações de uma situação são o aspecto determinante da sua complexidade.

Pensamento sistêmico e aprendizagem organizacional

Situações e fenômenos complexos podem ser explicados em quatro níveis distintos: eventos, padrões de comportamento, estrutura sistêmica e modelos mentais. A complexidade de uma estrutura sistêmica específica é concebida nos mesmos termos da Dinâmica de Sistemas.

Estruturas dissipativas – termodinâmica dos sistemas afastados do equilíbrio

Interações complexas em estruturas dissipativas (sistemas abertos ao fluxo e à dissipação de energia) envolvem estados de afastamento do equilíbrio termodinâmico. Conexões de longo alcance, de natureza não-linear (que envolvem laços de realimentação), emergem na transição do estado próximo ao equilíbrio para estado afastado do equilíbrio. A partir dos pontos de bifurcação, estruturas dissipativas passam a exibir características de um todo. Bifurcações subsequentes, ainda mais afastadas do equilíbrio, são pontos em que a complexidade se desdobra. Longe do equilíbrio e próximo a pontos de bifurcação, pequenas flutuações (ruído) e “erros” são fontes de indeterminação e imprevisibilidade quanto às características futuras do sistema.

O conceito de sistema como um novo paradigma

Um sistema é uma unidade que resulta da diversidade ou de partes múltiplas em interação. Em entidades e fenômenos complexos naturais e sociais, não somente a unidade é resultado das interações entre partes diversas, como a diversidade é produzida a partir da existência da unidade. Interações complexas compreendem relações organizacionais que, complementarmente, geram desorganização (degradação da própria organização). Interações complexas contemplam potencialidades reprimidas, brechas, zonas desconhecidas, situações fora de controle, fontes potenciais de conflitos e cisões.

4.4 Síntese do conhecimento que podemos obter com a abordagem sistêmica

A partir do referencial teórico apresentado nas seções anteriores, citamos as principais tendências do movimento sistêmico e que estão apresentadas no quadro 6.

Quadro 6 – Síntese das posições acerca da natureza do conhecimento obtido sobre a realidade com o pensamento sistêmico

Modelos representam sistemas no mundo real. Sistemas existem num mundo de objetos exterior e possuem propriedades universais que podem ser medidas objetivamente com base em técnicas quantitativas. ‘Resolução de problemas’ consiste em escolher a melhor maneira de atingir um objetivo, cuja definição está dada objetivamente segundo avaliação de CHECKLAND (1981).

Modelos não são uma representação absoluta da realidade. Sua utilidade está em capturar e registrar o conhecimento acerca de uma situação e testar os pressupostos adotados e compará-los com a realidade (FORRESTER, 1990).

A organização e complexidade de um sistema, quanto a variáveis e interconexões relevantes, é relativo ao interesse observador (ASHBY, 1970).

A concepção ou descrição de um sistema viável envolve aspectos subjetivos, pois os seus estados relevantes são função do propósito pelo qual o modelo é formulado (BEER, 1984).

Fatores biológicos, culturais e lingüísticos são centrais na modelagem do conhecimento em geral. Modelos sistêmicos representam apenas alguns aspectos de um fenômeno (BERTALLANFFY, 1975).

O modo de estruturação da informação para compreender algo depende da epistemologia. Ou seja, do modo como alguém organiza o universo em sua mente. No universo relacional predomina a organização da informação em função de interações mútuas, ao invés de causas primeiras ou componentes ontológicos (MARUAYMA, 1965).

O reconhecimento de um universo onde predomina o não-equilíbrio, não-linearidade e indeterminação conduz a uma nova racionalidade em que predomina a perspectiva criativa do universo; onde existe a possibilidade de serem narradas muitas histórias distintas, semelhante ao que acontece nas coisas humanas (PRIGOGINE, 1989).

Toda descrição é relativa ao observador e não deve ser confundida com a operação de um sistema real. O processo cognitivo não faz representações de informações - não é uma imposição do mundo físico, nem há acesso a uma realidade absoluta e objetiva. Uma explicação (um modelo) é uma descrição na linguagem,. É aceita como válida se servir para coordenar condutas consensuais, no domínio a que se refere (MATURANA, 1995).

A descrição da complexidade envolve duas dimensões: uma relacionada ao sistema e outra relacionada às pessoas. O que caracteriza a dimensão relacionada às pessoas é que sempre haverá outras descrições possíveis acerca de uma situação, fundadas em outros valores, noções e percepções (FLOOD; CARLSON, 1988).

Quando se trata de sistemas sociais, nenhum modelo é independente de questões normativas. A delimitação da fronteira de um sistema, quando se trata de planos ou mudanças em contextos sociais envolve aspectos metafísicos, políticos e ideológicos (ULRICH, 1987).

Relações de poder coercitivas, desigualdade e conflitos estruturais fazem parte das interações que constituem a complexidade em contextos sociais. Pessoas não podem ser tratadas como partes passivas do sistema. Novas percepções e interpretações podem influenciar as ações, alterando a configuração de interações até então prevalentes (JACKSON, 1991).

Modelos sistêmicos envolvem pensar em termos de conexões relações e contexto. A percepção da realidade como redes de relações implica no reconhecimento de que as descrições dessa realidade também são baseadas em redes interconectadas de conceitos e modelos (CAPRA, 1997).

Os objetos que percebemos, os modelos que concebemos não representam uma realidade independente, objetivamente dada. Através da linguagem os homens participam da configuração do mundo que descrevem (SENGE et al, 1995).

Modelos são construções mentais e não existem como estados objetivos concretos. A objetividade é produto de interações sociais que envolvem uma grande variedade de subjetividades individuais (ACKOFF, 1974).

As noções sistêmicas não são ontologias: são dispositivos epistemológicos (ou intelectuais) de uma nova linguagem descritiva da realidade (CHECKLAND, 1981).

Fonte: adaptado de Kasper (2000)

4.5 Uma nova referência conceitual para construção do conhecimento

Kasper (2000) apresenta as conclusões gerais acerca do pensamento sistêmico como um novo quadro de referência para os processos de construção do conhecimento.

4.5.1 Considerações gerais

O pensamento sistêmico, consiste na elaboração de uma nova maneira de pensar, que atravessa os diferentes campos do conhecimento, mas que se traduz em múltiplas abordagens e modelos teóricos aplicados.

De modo análogo ao pensamento analítico que se desdobrou numa multiplicidade de disciplinas específicas, envolve múltiplas abordagens aplicadas aos mais variados campos de conhecimento.

Uma vez aceito o pensamento sistêmico, isso significa concluir que o mesmo é totalmente incompatível ao pensamento analítico e aos conhecimentos dele oriundos? Kasper entende que não, e afirma:

A ruptura esboçada pelas concepções sistêmicas não significa a negação de todas as ideias analíticas. Implica apenas a necessidade de reconhecer que os seus preceitos fundamentais não são absolutos nem universais, mas sim, que servem para conceber modelos úteis de fenômenos, situações e problemas, somente em contextos onde há aceitação de que os mesmos se encaixam nas suposições analíticas e seus critérios de validação (2000, p. 257).

Análise, segundo o autor, focaliza nas estruturas (entendidas como partes) e permite obter conhecimento sobre um objeto descrevendo o seu comportamento frente a diferentes condições; síntese focaliza nas funções, na dinâmica, e produz entendimento sobre por que as coisas funcionam do jeito que funcionam num contexto determinado.

A partir do entendimento acima, conhecer o funcionamento das diversas estruturas e subsistemas – seus limites, capacidades, potencialidades, sensibilidades etc. – ampliará o conhecimento das possibilidades e limites de como podem ser integrados funcionalmente num todo e como podem afetar esse todo, quando submetidas a diversas circunstâncias.

4.5.2 O pensamento sistêmico como um processo dinâmico de desenvolvimento contínuo

A visualização do pensamento sistêmico, sob a ótica de Kasper (2000), como um processo de desenvolvimento de uma nova estrutura conceitual, está descrito a seguir através de seus fatores constitutivos que são:

- as concepções gerais: são as noções e princípios acerca da natureza da realidade e a constituição do conceito de sistemas envolvendo os princípios do pensamento sistêmico, o conceito de organização sistêmica e as quatro noções constitutivas fundamentais;
- formulações sistêmicas relacionadas aos conteúdos específicos (abordagens sistêmicas formalizadas): são os aspectos teóricos de que se revestem as ideias sistêmicas nas

diversas abordagens que tratam os distintos modos de aplicação do conceito de sistema, as concepções específicas e as quatro dimensões de percepção da complexidade ou explicação da realidade.

- Concepções acerca da natureza do processo de conhecimento e natureza das interações: são os pressupostos filosóficos analisados, ou seja, os pressupostos acerca da natureza do conhecimento que envolve a relação do pensamento sistêmico e a realidade e os pressupostos acerca da natureza das interações sistêmicas especialmente em sistemas sociais.

Do exposto, Kasper (2000) abstrai do desenvolvimento do pensamento sistêmico um novo modo de percepção da realidade e organização do processo de construção de conhecimento sobre a mesma e apresenta esse modo de percepção da realidade na forma de um modelo dinâmico desenhado como um processo em desenvolvimento e aprimoramento contínuo, desenhado na figura 22.

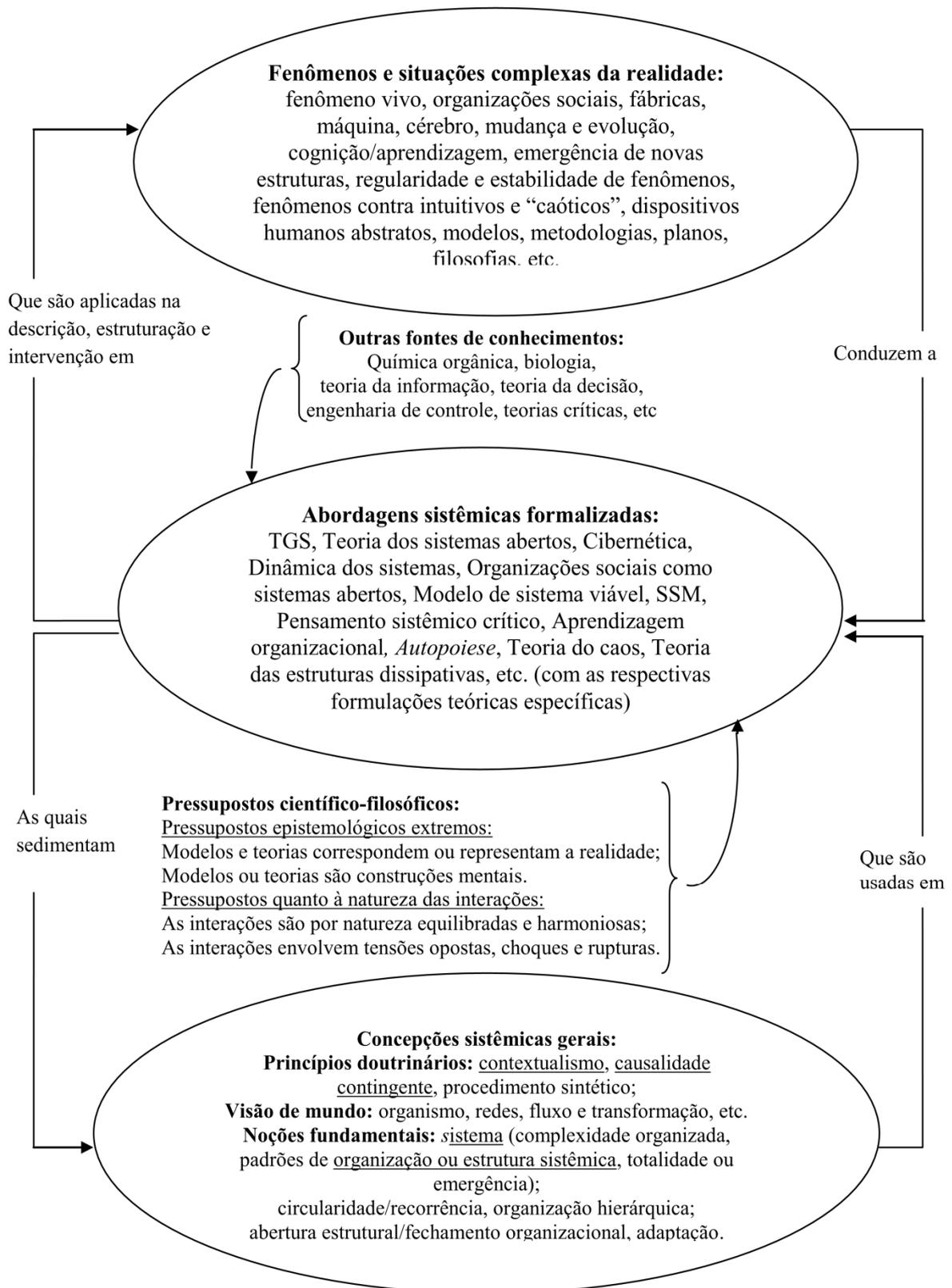


Figura 22 – Modelo dinâmico de inter-relacionamento dos três aspectos centrais do pensamento sistêmico

Fonte: Adaptado de Kasper, 2000.

Como mostra a figura 22, o modelo é constituído de dois ciclos inter-relacionados:

- O ciclo aplicado (ciclo superior da figura) consiste na formulação de abordagens relevantes a problemas e preocupações relacionadas a fenômenos e situações complexos da realidade. Este ciclo compreende o processo básico de desenvolvimento de qualquer abordagem ou modelo teórico (abordagens sistêmicas formalizadas).
- O outro ciclo (ciclo inferior da figura) refere-se à sedimentação das concepções sistêmicas gerais. Estas derivam dos aspectos teóricos contemplados nas abordagens sistêmicas formalizadas ou em desenvolvimento. Por sua vez, o núcleo de concepções sistêmicas gerais já consolidadas serve de repertório tanto para o aprimoramento de abordagens existentes como para o desenvolvimento de novas abordagens.

Pressupostos científico-filosóficos acerca do caráter do conhecimento obtido com o processo de pensamento sistêmico e quanto à natureza das interações num contexto, são convicções profundas que informam as formulações teóricas específicas que conformam as abordagens.

Outras fontes de conhecimentos, externas ao pensamento sistêmico, muitas vezes servem de suporte ou base teórica para o desenvolvimento de novas abordagens sistêmicas.

Assim, o desenvolvimento das concepções sistêmicas pode ser visto como um processo contínuo de aprimoramento das abordagens e concepções gerais já existentes, bem como o desenvolvimento de novas concepções, via novas aplicações a questões complexas da realidade.

Distintas abordagens são necessárias em decorrência da ilimitada diversidade que constitui a realidade e dos distintos enfoques em que seus múltiplos aspectos podem ser descritos e examinados. A diversidade de abordagens é fonte de enriquecimento teórico e metodológico contínuo do pensamento sistêmico como um todo.

CAPÍTULO QUINTO

5 METODOLOGIA

O trabalho propõe, em sua metodologia, a estruturação de sistemas teóricos de conhecimentos que permitam, num ambiente de interação entre elementos conceituais, situar a educação ambiental (EA) e a gestão ambiental sistêmica (GAS) como agentes colaboradores para a visão da materialização da sustentabilidade do desenvolvimento (SD).

5.1 Metodologia sistêmica

Com esse objetivo, a organização dos princípios e conceitos que acabaram por contextualizar a EA e a GAS, como estratégias mitigadoras no sistema citado, aconteceu contemplando princípios e noções teóricas de diversas áreas do conhecimento, que, amparadas no pensamento sistêmico (SENGE, 2005), permitiu, ao eliciar conteúdos do modelo mental do pesquisador:

- organizar em rede, sob a ótica do novo paradigma da ciência (SANTOS, 2006), diferentes áreas do conhecimento que, realimentadas por fluxos de informação, estivessem em sintonia com nosso objetivo;
- expressá-los numa linguagem capaz de esclarecer a nossa percepção da complexa realidade no que diz respeito ao tema sustentabilidade proposto por Garcia e Vergara (2000);

- facilitar aos observadores – educandos, educadores e gestores envolvidos com os cursos de engenharia – o acesso a uma nova maneira de perceber a construção do conhecimento referente às questões ambientais;
- incentivar, mediante a imersão desses conhecimentos, valores e habilidades que pudessem promover práticas, atitudes e comportamentos proativos na relação do homem com o meio ambiente.

Dentro dessa proposta, após o encontro com o modelo global que buscou, num primeiro momento, promover a imersão das distintas capacidades e percepções citadas, procurou-se num segundo momento, encontrar sinergia desse modelo sistêmico global com estudos específicos realizados num estudo de caso que envolve a geração de energia elétrica com combustão de carvão na região de Candiota-RS (TEIXEIRA et al., 2004).

Assim, através do pensamento sistêmico (SENGE, 2005), foram utilizados o modelo que desenha o conhecimento como um processo de aprimoramento e desenvolvimento contínuo (KASPER, 2000) e técnicas de simulação computacional onde, através da Dinâmica de Sistemas (FORRESTER, 1990) e da modelagem computacional, dentro do ambiente STELLA, pudésemos construir arquétipos que contribuíssem com a análise das inter-relações dos elementos da realidade, como cadeias circulares de causa e efeito, percebendo dessa maneira a dinâmica dos processos ao longo do tempo.

Para tanto foi utilizada uma metodologia baseada em Senge (2005) referendada por Xavier (2003), por nós adaptada com o seguinte roteiro:

1. Definimos claramente a nossa situação de interesse, identificando dentro da realidade complexa, uma situação importante que, pudesse colaborar didaticamente com o novo paradigma científico que envolve a relação homem/mundo.
2. Para termos acesso ao primeiro nível do pensamento sistêmico, procuramos situar historicamente os principais eventos vinculados à situação de interesse descrita, verificando como esta evoluiu no tempo.
3. A partir da lista de eventos, identificamos os fatores que passaram a se tornar ponto chave para compreensão da situação. Cabe ressaltar que tais elementos contribuíram decisivamente para o resultado esperado e que, estando sujeitos a variações, podem influenciar o nosso objetivo sistêmico.
4. Nesse ponto da pesquisa, refletimos sobre o comportamento passado e as tendências futuras dos fatores chave do sistema proposto. Não se fez necessário traçar curvas baseadas em dados exatos. Bastou que considerássemos os comportamentos semiquantitativos ao longo do tempo. É importante observar que o objetivo do sistema,

que propõe a estruturação do aprendizado e do conhecimento, é compartilhado por uma série de autores voltados para educação e gestão, inclusive especialistas em modelagem;

5. Identificamos as relações causais e as influências recíprocas que revelam as estruturas sistêmicas que determinam esse padrão de comportamento a partir de hipóteses preliminares e intuições a respeito de influências recíprocas. O objetivo nesse estágio metodológico é desvendar estruturas sistêmicas que determinam padrões de comportamento dos elementos da realidade. Neste momento, está em teste o modelo mental do pesquisador, que tenta obter percepções a respeito do assunto abordado;

6. Nessa etapa do estudo, eliciamos alguns conteúdos de nosso modelo mental, situação que nos permitiu gerar estruturas que, estando em conexão com a realidade, puderam ser incluídas no sistema, entendendo a impossibilidade, nos indivíduos, de dissociar a sua estrutura mental interna do mundo externo (MOREIRA, 2001), tendo consciência de que:

- estrutura influencia comportamento;
- modelos mentais influenciam a ação;
- a identificação dos conteúdos dos modelos mentais em ação requer abertura para inquirição de comportamentos e crenças arraigadas.

Cabe esclarecer que o modelo mental eliciado influencia o objetivo do sistema, estando este associado ao comportamento e crenças do pesquisador e, portanto, associado a sua motivação, condições de trabalho e sua capacidade de identificação e resolução dos problemas.

7. Neste passo, para enriquecer o estudo, torna-se necessário transformar alguns conteúdos do modelo mental, em elementos da estrutura sistêmica, procurando o que deve ou não ser incluído no sistema, definindo assim as suas bordas. Aqui, estando o autor familiarizado com os elementos necessários para trabalhar a situação de interesse, elegeu-se a ferramenta conhecida por mapa conceitual que, decorrente da teoria de aprendizagem de David Ausubel, permite através de sua linguagem, identificar e hierarquizar padrões comuns dos conteúdos que atuam na questão.

Segundo Ausubel (2000), a organização do conteúdo cognitivo, em determinada área do conhecimento, tende a formar uma estrutura hierárquica, na qual as ideias mais inclusivas se situam no topo dessa estrutura e abrangem progressivamente proposições, conceitos e dados factuais menos inclusivos e mais diferenciados.

Os mapas conceituais são recursos utilizados no ensino, qualquer que seja a área do conhecimento, e destaca a aquisição de conceitos claros, estáveis e diferenciados como fato preponderante na aprendizagem subsequente. Diferentemente dos instrumentos

convencionais, os mapas conceituais abordam a aprendizagem significativa de conceitos e oferecem uma perspectiva construtivista à produção do conhecimento.

Os mapas são diagramas hierárquicos que indicam os conceitos e as relações entre esses conceitos. Esses diagramas procuram refletir a organização dos conceitos, em nosso caso em particular, a interdisciplinaridade que envolve os conceitos de EA, GAS e sustentabilidade do desenvolvimento.

Como nosso mapa conceitual deriva do nosso entendimento na área estudada, deve ser entendido, como “um mapa conceitual” e não como “o mapa conceitual”, e deve ser visto apenas como uma das possíveis representações da estrutura conceitual.

Os mapas conceituais que apresentaremos incluem conceitos, as relações entre os conceitos e o seu grau de abrangência. A dimensão vertical representa o grau de generalidade ou abrangência. Os conceitos mais abrangentes ou gerais foram colocados no topo do mapa. À medida que se desce vão-se encontrando conceitos intermediários, menos subordinados. Na parte inferior do mapa aparecem os conceitos mais específicos. As linhas que ligam os conceitos sugerem relações entre estes. O fato de vários conceitos diferentes aparecerem na mesma posição vertical dá ao mapa a sua dimensão horizontal.

Os passos para elaboração do mapa seguiram as orientações de Buchweitz (apud MOREIRA; BUCHWEITZ, 1993) e foram os seguintes:

- localizamos os conceitos;
- catalogamos os conceitos segundo uma ordem hierárquica;
- distribuímos os conceitos em duas dimensões;
- traçamos as linhas que indicam as relações entre os conceitos;
- escrevemos a natureza da relação;
- procedemos à revisão;
- preparamos o mapa final.

É importante *descer* no mapa e *subir*, explorando explicitamente as relações entre os conceitos.

8. Através dos mapas conceituais obtivemos, mediante as abordagens sistêmicas formalizadas e sedimentadas pelas concepções sistêmicas gerais, uma estrutura sistêmica. Um modelo que desenha um processo de desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento (KASPER, 2000) constituído de dois ciclos inter-relacionados. O ciclo superior consiste de abordagens sistêmicas relevantes ao problema relacionado com o

nosso objetivo. O ciclo inferior refere-se à sedimentação das concepções sistêmicas gerais que derivam dos aspectos teóricos contemplados nas abordagens sistêmicas formalizadas. Nesse modelo sistêmico global, cuja complexidade é em parte relativa ao observador, distintas visões podem surgir no que diz respeito ao objetivo proposto, existindo subsistemas específicos capazes de colaborar na resolução de problemas que envolvam a dinâmica dos sistemas complexos e seu comportamento com o passar do tempo. Tais sistemas, contrastando com o pensamento analítico, propõem sinergia com o estudo de aspectos específicos resultantes do estudo global.

9. Assim, no último passo, a modelagem computacional pode transformar o diagrama causal de uma situação específica em um diagrama de fluxo, o que possibilita alterar parâmetros ou simular a passagem do tempo. No trabalho utilizamos, como ferramenta do estudo específico, técnicas de simulação computacional com o *software* STELLA, ou seja, o estudo do comportamento de uma parte propondo o entendimento do comportamento do todo.

Cabe ressaltar que o pensamento sistêmico é uma técnica prática para compreender as questões complexas da realidade, para ação e para o aprendizado. Em nosso trabalho, as interações endógenas que ocorrem via fluxo de informações (KASPER, 2000) entre diferentes conteúdos e a interdisciplinaridade é o que proporcionará a emersão do conhecimento global.

5.2 Metodologia proposta para determinação da área impactada com a utilização do carvão na região de Candiota-RS

Nosso estudo de caso consiste em um estudo comparativo entre a modelagem computacional com o *software* STELLA e o estudo de caso intitulado *Aplicação de modelo para quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão, Candiota-RS*, estudo esse realizado por Alves, Guerra e Lelarge (2004), e que constitui um estágio complementar do Projeto PADTC/CIAMB 1998, coordenado pela gerência de projetos da FEPAM, cuja metodologia serve de subsídio para o nosso trabalho.

O estudo de caso trata especificamente da determinação de áreas impactadas pela mineração do carvão, através de um modelo linear proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004). Tal modelo leva em conta a interpretação de dados secundários fruto da análise química das drenagens superficiais na região da mineração,

delimitando-a a partir dos pontos de amostragem, através do modelo prognóstico linear que será posteriormente apresentado.

5.2.1 Confecção do mapeamento das áreas impactadas

A metodologia e as técnicas empregadas na análise ambiental proposta por Alves, Guerra e Lelarge (2004) foram pioneiras na determinação das áreas impactadas, tendo sido aplicado o Modelo Prognóstico Linear de Áreas Impactadas.

Tal modelo relaciona as áreas impactadas ao potencial carbonífero para geração de energia elétrica, permitindo fazer um prognóstico associado às unidades mineiras e as usinas termelétricas (UTE) em operação. A área impactada foi delimitada de acordo com os valores analíticos encontrados em cada ponto de amostragem ao longo das drenagens superficiais. A aplicação em situação real do modelo foi testada pela primeira vez levando em consideração as minas ativas e desativadas, as quais influenciam fortemente a qualidade das águas, gerando os impactos ambientais analisados. A área impactada foi delimitada conforme os valores analíticos encontrados em cada ponto da amostragem ao longo das drenagens superficiais. Um segmento de área foi considerado impactado quando pelo menos um ponto analisado estava acima dos limites dos pontos de controle, considerando-se que toda a drenagem a montante desse ponto até a zona de influência (minas de carvão) estava impactada. Os passos dados para obtenção dos resultados foram os seguintes:

1- Análise química das águas: foram utilizados os levantamentos de parâmetros físicos e químicos realizados em águas superficiais da bacia do arroio Candiota, em pontos adotados por Streck (2001, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004) na sua dissertação de mestrado intitulada *Estudo da qualidade da águas superficiais e estimativa de fluxos de elementos-traço na região de Candiota-RS* e que estão representados na figura 23.

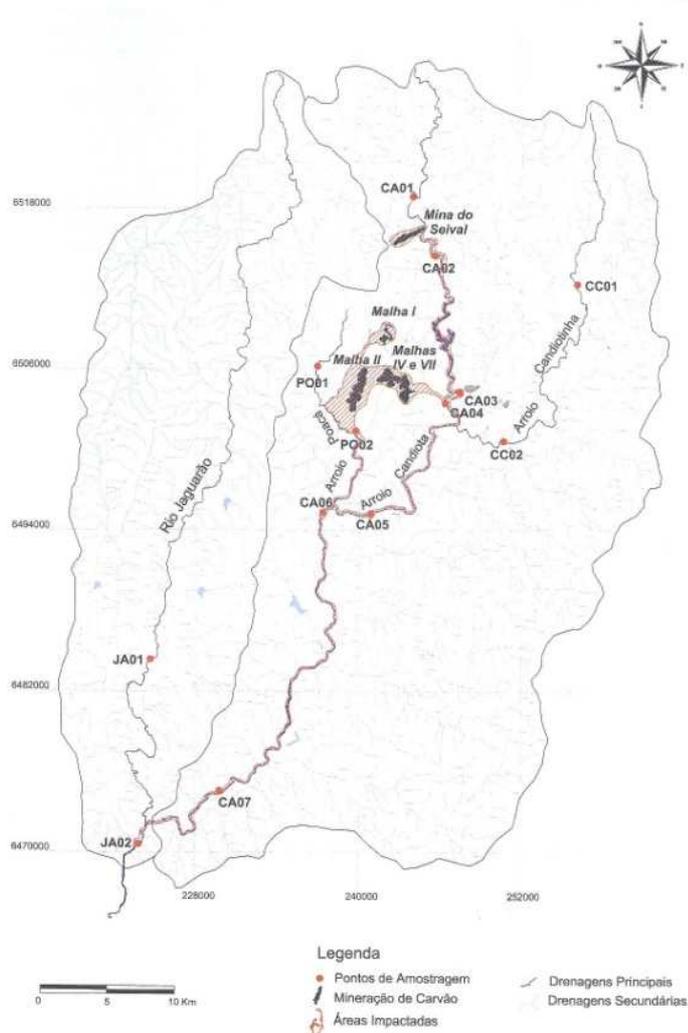


Figura 23 – Área impactada pela mineração de carvão na área de estudo.
 Fonte: Streck (2001), apud Alves; Guerra; Lelarge (2004)

O ponto JA 01 não foi incluído para delimitação da área impactada por estar fora da zona de influência da mineração de carvão e por situar-se na bacia do rio Jaguarão, embora tenha servido como ponto de controle para o entendimento das influências desse rio. Cada ponto de amostragem teve 39 parâmetros físicos e químicos analisados para determinação da distribuição e concentração destes parâmetros no meio aquático.

Segundo Streck (2001, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), os parâmetros que melhor indicam a distribuição da contaminação aquática em drenagens superficiais, gerada pela atividade carbonífera, são: pH, condutividade elétrica, turbidez e concentrações de sólidos suspensos, sulfatos e Fe^{+2} . Quanto aos padrões de contaminação, apenas três deles: pH, turbidez e sulfato, possuem padrões técnico-legais estabelecidos pela legislação nacional para comparação, através da Resolução do CONAMA 020/86, e seguem os valores estabelecidos no quadro 7.

Quadro 7 – Padrão CONAMA 020/86 para os parâmetros utilizados

Parâmetros Analisados	Finalidade/Significado	Padrão CONAMA
pH	Determina a acidez e basicidade das águas; comanda a especiação química das águas.	6 a 9
Fe ⁺²	Sob condições redutoras o Fe existe no estado ferroso. Devido à exposição ao ar ou adição de agente oxidante, o ferro ferroso oxida-se ao estado de ferro férrico e pode tornar-se hidróxido de ferro insolúvel. Pode ocorrer em soluções, estado coloidal ou em partículas suspensas. Expresso em mg/L.	*
Sulfato	Resíduos de drenagens de carvão contribuem com altas quantidades de sulfato através da oxidação da pirita. Expresso em mg/L.	250mg/L
Turbidez	Estima a claridade das águas, importante para a determinação das condições e produtividade dos sistemas aquáticos. É atribuída principalmente às partículas em suspensão. Expressa em Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT.	100 UNT
Sólidos Suspensos	Porção retida no filtro durante filtração, compreende as frações superiores a 1mm. Expresso em mg/L.	*
Condutividade	Medida de íons (cátions e ânions) presentes na água. Expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$.	*

Fonte: Adaptado de Alves; Guerra; Lelarge (2004)

2- Geração de dados: as localizações dos pontos de amostragem de água superficial, criados no trabalho de Streck (2001, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), foram previamente georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM (Unidade Transversa de Mercator), onde foram introduzidas nas bases vetoriais das drenagens.

3- A área impactada foi determinada de acordo com os valores da análise dos seis parâmetros escolhidos, que ultrapassaram ou não os valores das análises dos pontos de controle da área.

Para determinação da área impactada através do modelo prognóstico linear de Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), foram considerados impactados os pontos de amostragem que tiveram seu valor analítico excedido ao do controle de área, em qualquer parâmetro, pelo menos uma vez.

Os pontos de amostragem que são ou não influenciados pela atividade carbonífera, considerando os parâmetros analisados, estão resumidos no quadro 8.

Quadro 8 – Resumo dos pontos de amostragem que são influenciados ou não pela atividade carbonífera, considerando os parâmetros analisados

	pH	Fe ⁺	SO ₄ ²⁻	Turbidez	SS	Cond.
CA 02	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
CA 03	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
CA 04	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
CA 05	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
CA 06	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
CA 07	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
PO 02	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
CC 02	Não	Não	Não	Não	Não	Não
JA 02	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de Alves; Guerra; Lelarge (2004)

Do exposto, podemos verificar que apenas o ponto CC02, localizado no arroio Candioteinha, não teve pelo menos um parâmetro excedido em relação ao controle. Os demais foram considerados impactados. De acordo com Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), a observação dos resultados permite traçar algumas tendências da influência antrópica nessa região.

Partindo da compilação dos dados dessas informações, foi confeccionado um mapa das áreas impactadas (figura 23).

A área impactada inclui, além da parte hachurada, uma área ao longo do curso do arroio Candiota, iniciando na mina do Seival, a jusante do ponto CA01, estendendo-se até o ponto JA02; no rio Jaguarão, englobando também parte do arroio Poacá, drenagens secundárias e áreas de mineração atuais e antigas (malhas I, II, IV e VII). A vetorização das áreas foi realizada a partir da estimativa dos possíveis cursos que o contaminante possa percorrer. Assim, a área impactada estava estimada graficamente no ano 2000 em 41,24km².

5.2.2 Aplicação do modelo prognóstico linear tentativo

O modelo para determinação da área impactada, Modelo Prognóstico Linear Tentativo, proposto por Guerra (2000), está abaixo descrito:

$$AIP = tAI_{\text{atual}} * PCGE$$

$$PCGE = \frac{PAC * VUM}{HaUTE * FcUTE * VUTE * CeC}$$

Portanto:

$$VUM = \frac{(PCGE * FcUTE * VUTE * CeC * HaUTE)}{PAC}$$

Onde:

AIP = Áreas Impactadas Projetadas (km²);

tAI_{atual} = Taxa de Área Impactada atualmente relacionada à potência instalada de energia termelétrica (km²/MW);

PCGE = Potencial Carbonífero para Geração de Energia Elétrica (MW);

PAC = Produção Anual de Carvão (t);

VUM = Vida Útil da Unidade Mineradora (anos);

HaUTE = Hora/ano disponíveis para operação da Usina Termelétrica (horas/ano);

VUTE = Vida Útil da Usina Termelétrica (anos);

FcUTE = Fator de Capacidade da Usina Termelétrica (0,5 ou 50%);

CeC = Consumo Específico de Carvão ($\frac{t}{MWh}$).

Por sua vez, Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004) conclui que $tAI_{atual} = 41,24km^2/446MW = 0,0925km^2/MW$. Prevendo na época, um aumento da capacidade da Usina para 946MW, o autor criou um segundo cenário, no qual a área impactada passaria, segundo seu modelo, a: $AIP = 0,0925 * 946 = 87,46km^2$, onde tAI_{atual} se manteria constante com o valor de 0,0925.

5.3 Considerações metodológicas sobre a utilização do STELLA na pesquisa

Assim, sob a ótica do modelo proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), procuramos na modelagem computacional, dentro do ambiente STELLA, mediante uma análise semiquantitativa, um diagrama de fluxo que espelhasse as relações causais das variáveis em questão, ou seja, um modelo que, sendo linear, mantivesse constante o valor de tAI_{atual} e a proporcionalidade entre AIP e PCGE, possibilitando, assim, a visualização de diferentes cenários para o estudo em questão.

A seguir, para complementarmos nossa metodologia, acompanhando o pensamento sistêmico, mediante uma perspectiva sinérgica, procuramos, dentro do ambiente STELLA,

uma maneira de colaborar com os estudos de Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), planejando alterações na estrutura inicial do diagrama de fluxo, de maneira que pudéssemos alcançar resultados, não aquele fruto da análise linear atemporal determinística, mas outros que, como parte incluída do comportamento sistêmico, estariam associadas a um modelo causal circular que, ao incluir variáveis que são função do tempo, nos permitam visualizar, através dessa dinâmica, novos cenários para a situação.

CAPÍTULO SEXTO

6 RESULTADOS

Para avaliar os resultados do estudo, identificamos de forma abrangente todos os aspectos relevantes do referencial teórico, o que possibilitou um diagnóstico claro e objetivo para aplicação da metodologia.

6.1 Apresentação dos resultados

Apresentaremos a seguir os resultados da pesquisa tendo como base os aspectos metodológicos referendados na seção 4.1 do Capítulo Quarto.

6.1.1 Primeira etapa

Num primeiro momento, procuramos definir claramente nossa situação de interesse, ou seja, um complexo sistema de conhecimentos que tem por objetivo colaborar com os processos e concretização dos princípios e materialização da visão da SD.

Sabendo-se que os problemas ambientais, para onde confluem os processos naturais e sociais, não podem ser entendidos em sua complexidade, nem resolvidos com eficiência, sem a introdução dos diferentes ramos do saber, nos mobilizamos a encontrar um sistema de conhecimentos que tivesse, na sua dinâmica, um caminho teórico técnico que nos auxiliasse a concretizar níveis e formas de integração desse conhecimento, com o propósito de auxiliar a:

- entender as causas históricas, econômicas e sociais da degradação ambiental;
- ressaltar a especificidade dos complexos sistemas socioambientais;
- propor uma forma de pensar produtiva, embasada no planejamento dos recursos.

Tal temática incentivou a realização do trabalho, tendo em vista o ritmo em que segue o esgotamento dos recursos naturais, a exclusão e polarização social em todos os cantos do planeta, sendo hoje um dos maiores desafios a ser enfrentado pela humanidade. Neste contexto, o campo da educação e em particular a educação superior nas engenharias, com respeito a sua forma de operar e funcionar, só tem sentido na medida em que forme conhecimentos, habilidades e valores orientados a colaborar na compreensão e solução dos problemas em que estamos inseridos como sociedade.

Surge então a SD, propondo alternativas a serem adotadas e que, no futuro, serão determinantes para a sustentabilidade dos processos produtivos. Tais pressupostos necessariamente passarão por políticas estruturadas pelos princípios da educação ambiental (EA) e pela gestão ambiental sistêmica (GAS).

6.1.2 Segunda etapa

Neste passo, procuramos situar historicamente alguns eventos vinculados à situação de interesse descrita. Nesse sentido, foi preciso diagnosticar alguns efeitos do processo de acumulação e as condições atuais de reprodução e expansão do capital e a decorrente expansão da economia de mercado, que, voltadas para a valorização e exploração dos recursos naturais, se associam à produção, ao consumo e seus impactos ambientais.

Partes de suas articulações históricas, ou seja, como esses efeitos vêm evoluindo no tempo, como impactos ambientais, estão citadas no quadro 9.

Quadro 9 – Histórico dos mais importantes incidentes e acidentes ambientais que são conseqüências do atual MDE

Ano	Incidente/Acidente
1952	Na Inglaterra, na região de Londres, entre 4 e 13 de dezembro, grande parte das indústrias, sobretudo as de geração de energia elétrica, e das residências que usavam carvão para a produção de energia e calor, cuja queima emitia grande quantidade de enxofre e material particulado na atmosfera, ocasionou um fenômeno denominado <i>smog</i> (contração das palavras <i>smoke</i> e <i>fog</i>). O problema foi causado pela chegada de uma grande massa de ar frio vinda do Norte, ocorrendo uma inversão térmica. Depois de quatro dias com esse quadro, houve em Londres mais de 100 mortes, decorrentes de ataques cardíacos pela dificuldade de respiração. Cerca de 8.000 pessoas faleceram em conseqüência do problema ou bronquite, enfisema pulmonar, gripe, pneumonia, além de ataques cardíacos.
1956	Contaminação da Baía de Minamata, Japão. Inicialmente, os efeitos da contaminação por mercúrio foram detectados nos gatos (<i>mal dos gatos</i>). Foram registrados casos de

	disfunções neurológicas em famílias de pescadores, em gatos e aves. A contaminação acontecia desde 1939, devido a uma companhia química (Chisso) instalada às margens da baía. Setecentos moradores morreram e 9.000 se tornaram doentes crônicos devido às altas concentrações de mercúrio, que causavam a doença chamada “mal de Minamata”. Os sintomas envolviam distúrbios sensoriais nas mãos e nos pés, danos à visão e audição, fraqueza e, em casos extremos, paralisia e morte também de natureza teratogênica.
1976	Em Seveso, cidade italiana perto de Milão, a fábrica Hoffmann Roche liberou densa nuvem de uma toxina (tetracloro dibenzeno dioxina - TCDD), um desfolhante (agente laranja) altamente venenoso. Em virtude do acidente, ocorreram abortos e nascimento de crianças sem cérebro (anencefalia) e com deformações físicas as mais diversas. Mais ou menos 5.000 italianos foram vítimas desse acidente.
1978	Um dos canais abandonados após a construção da usina de Niagara Falls (Love Canal) foi utilizado pela empresa Hooker Chemical and Plastics como depósito de resíduos no período de 1942 a 1953. Posteriormente, a área foi aterrada e vendida para a construção de um loteamento. Entretanto, o <i>playground</i> acabou localizado exatamente sobre a antiga área do canal. As crianças, principalmente, passaram a apresentar problemas de saúde: câncer, distúrbios neurológicos e psicológicos.
1984	Um vazamento de 25 toneladas de isocianato de metila, ocorrido em Bhopal, Índia, causou a morte de 3.000 pessoas e a intoxicação de mais de 200.000. O acidente foi causado por uma fábrica fornecedora da Union Carbide. No dia seguinte ao do acidente, o valor das ações da Union Carbide caiu à metade, fazendo com que a companhia perdesse sua posição de liderança no mercado mundial.
1985	É descoberto o buraco na camada de ozônio na Antártida. Em reunião na cidade de Villach, Áustria, discute-se sobre o aumento crescente das emissões de dióxido de carbono e outros gases causadores do efeito estufa na atmosfera, prevendo-se o aquecimento global.
1986	Explosão do reator da usina de Chernobyl (antiga URSS, atual Ucrânia), causado pelo desligamento do sistema de refrigeração com o reator ainda em funcionamento. Provocou um incêndio que durou uma semana, lançando na atmosfera um volume de radiação cerca de 30 vezes maior que o da bomba atômica de Hiroshima. A radiação espalhou-se, atingindo vários países europeus e até mesmo o Japão. Ocorreram 80 mortes e 2.000 pessoas foram levadas aos hospitais. No prazo de cinco anos, supõe-se que o acidente provocou câncer em 135.000 pessoas e causarão doenças nos próximos 150 anos em seus descendentes por mutação genética. A rigor, considera-se que somente o Hemisfério Sul não foi afetado.
1986	Em Basileia, Suíça, após incêndio em uma indústria, foram derramadas 30 toneladas de pesticidas no Rio Reno, causando mortandade de peixes ao longo de 193 quilômetros. Foram estimados cerca de 500.000 peixes e centenas de enguias mortos.
1987	Com a mudança do Instituto Goiano de Radioterapia, foram abandonados alguns aparelhos de radioterapia, vendidos como sucata a um ferro velho. Ao abrir a cápsula, liberou-se o pó radioativo (Césio 137) e, pouco tempo depois, as pessoas que frequentavam o local começaram a apresentar os sintomas básicos de contaminação, como queimaduras por todo o corpo, vômitos e diarreias. Com esse acidente, 110 pessoas foram contaminadas e quatro morreram.
1989	O navio-tanque <i>Exxon-Valdez</i> , após colidir com um recife, foi responsável pelo vazamento no Alasca de cerca de 44 milhões de litros de petróleo. Considerado o pior da história dos EUA, atingiu uma área de 260km ² , poluindo águas, ilhas e praias da região. Morreram milhares de animais – peixes, baleias, leões-marinhos e aves, ameaçando a sobrevivência de muitos pescadores da região.

2000	Por causa de uma falha na operação de um duto da Petrobras, vazaram 1,3 milhão de litros de óleo, contaminando as águas da Baía de Guanabara. A contaminação estendeu-se por uma faixa de 3km, atingindo praias da Ilha de Paquetá e 1.434 hectares da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, a reserva mais importante da Baía de Guanabara, bem como uma área de manguezal.
2000	Ocorreu vazamento de óleo pelo rompimento de um duto sem válvula de segurança na área de oleoduto pertencente à Petrobras de São Francisco do Sul (SC), provocando o derramamento de cerca de 4 milhões de litros de óleo bruto. A contaminação estendeu-se por uma área de cerca de 300.000m ² , atingindo o arroio Saldanha, e deste para o rio Barigui e, em seguida, o rio Iguaçú, formando mancha superior a oito quilômetros. Morreram cerca de 60% dos animais atingidos.
2002	O petroleiro <i>Prestige</i> , pertencente à firma grega Mare Shipping, encalhou diante do litoral da Galícia (noroeste da Espanha), vindo afundar a 350km da costa espanhola, derramando no mar 20 mil toneladas de óleo, segundo dados do Greenpeace. O vazamento prejudicou a indústria pesqueira da Galícia, deixando na época 4.000 pescadores e 28 mil trabalhadores temporariamente sem trabalho e um número indeterminado de aves marinhas mortas ou cobertas de óleo. A mancha de óleo, cujo tamanho estimado equivale à área da cidade de Nova York, foi localizada a cerca de 4km do litoral de Portugal.
2010	Explosão em plataforma de prospecção de petróleo da British Petroleum (BP), no golfo do México, EUA, causou um vazamento entre 3 e 4 milhões de barris de petróleo, sendo considerado o maior acidente ambiental da história do país.
2011	Acidente nuclear com vazamento de radiação na usina de Fukushima, no Japão, com risco de desastre ambiental apenas comparável à explosão de Chernobyl, causado pela combinação de um terremoto de alta magnitude e um tsunami.

Fonte: Adaptado de Seifert (2007, p. 8)

Tais acontecimentos acabaram por impor todo um questionamento aos modelos de desenvolvimento industrial, tanto capitalista quanto socialista, o que resultou por despertar uma nova consciência relacionada à dimensão ambiental, fazendo-nos refletir sobre nossa proposta em relação ao usufruto dos recursos naturais que nos cercam.

6.1.3 Terceira etapa

Na sequência, identificamos os fatores que passaram a se tornar ponto chave para compreensão da situação: a EA e a GAS, tendo claro que esses dois processos são os principais instrumentos utilizados para concretização e materialização da SD, sendo para onde confluem as teorias epistêmicas da interdisciplinaridade, a teoria sistêmica e a complexidade, temas necessários para realização de processos pedagógicos.

Neste ponto da pesquisa, refletindo sobre o comportamento passado e as tendências futuras do sistema proposto, ou seja, conhecimentos envolvidos com a materialização da SD,

abordados ao longo do referencial teórico no Capítulo Segundo, entendemos que tal proposta, somente se realizará através do equilíbrio entre os imperativos das esferas ambiental, social e econômica, conforme o exposto na figura 24.

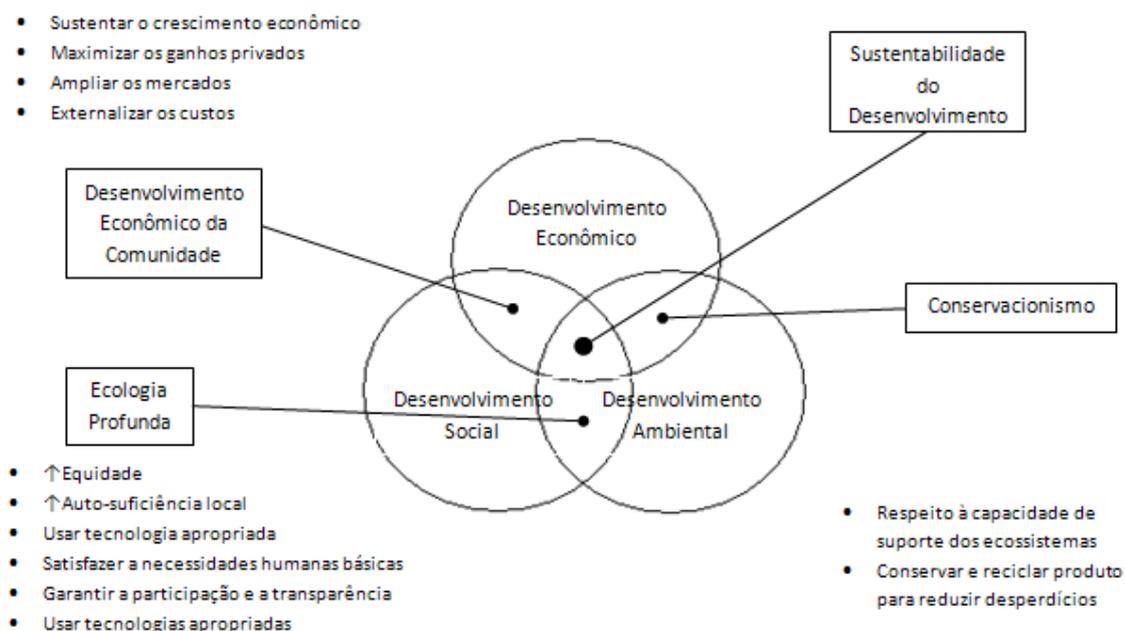


Figura 24 – Imperativos e conflitos dos âmbitos social, ambiental e econômico para a sustentabilidade do desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de Seiffert (2004, p. 27)

6.1.4 Quarta etapa

A seguir, identificamos as relações causais e as influências recíprocas que revelam as estruturas sistêmicas, ou seja, as leis, os princípios e os conceitos que dão embasamento à SD, estando cientes de que a prática do ecodesenvolvimento requer também um trabalho teórico e uma elaboração de *estratégias conceituais* que apoiem práticas orientadas a construir esta racionalidade ambiental.

Com a proposta colocada no parágrafo anterior, recorreremos às implicações filosóficas e aos conceitos socioeconômicos e ideológicos da interdisciplinaridade, os princípios de sistemas e os sistemas complexos, sendo importante, dentro do trabalho, a análise dos efeitos emergentes da questão ambiental sobre a produção de conhecimentos.

Cabe ressaltar, a importância da interdisciplinaridade, que, ao incrementar o processo de internalização do saber ambiental emergente dentro dos diferentes paradigmas científicos, pôde elaborar bases conceituais que permitiram pensar a articulação de processos necessários a uma sustentabilidade produtiva (LEFF, 2006).

6.1.5 Quinta etapa

Aqui, surge a necessidade de traçar o comportamento passado e as tendências futuras dos fatores EA e GAS, tendo consciência que o comportamento das sociedades humanas, ao longo das últimas décadas, através do MDE até então adotado, gerou desequilíbrios sócio-ambientais, os quais passaram a comprometer a qualidade de vida e a saúde do homem. Surge então, num passado recente, a proposta da SD, como uma alternativa ecologicamente mais adequada para atenuar o problema. No entanto para que a SD seja efetivamente materializada, é necessário nos dias de hoje, a implementação da GAS nos mais diferentes níveis, entre eles nos currículos de Engenharias, tendo a EA como o mais importante dos instrumentos de consolidação dessa gestão.

6.1.6 Sexta etapa

Nessa etapa do estudo, eliciamos alguns conteúdos de nosso modelo mental que, como parte do sistema, nos permitiram gerar estruturas que estão inclusas no sistema e em conexão com a realidade, entendendo a impossibilidade nos indivíduos, de dissociar a sua estrutura mental interna do mundo externo. É importante esclarecer que o modelo mental eliciado influencia o objetivo do sistema, estando este associado ao comportamento e crenças do pesquisador e, portanto, associados a sua motivação, condições de trabalho e sua capacidade de identificação e resolução dos problemas frutos de sua experiência como docente de uma universidade federal (FURG), nas áreas tecnológica e empresarial e também como gestor organizacional por três décadas. Tal vivência nos permitiu entender que os processos interdisciplinares se caracterizam não só pela construção de conceitos, noções e métodos de estudo entre os campos constituídos do saber, mas “também pela geração de uma descentralização e deslocamento dos objetos teóricos das ciências para a constituição de objetos teórico-práticos do conhecimento” (LEFF, 2006, p. 78).

6.1.7 Sétima etapa

Nesse estágio, para enriquecer o estudo, tornou-se necessário transformar alguns conteúdos do nosso modelo mental em elementos da estrutura sistêmica, procurando o que deve ou não ser incluído, definindo assim as suas bordas, conscientes da necessidade de analisá-los como subsistemas complexos, ou seja, um conjunto de conhecimentos derivados de diversos campos do saber envolvidos com a realidade ambiental.

Dessa forma, uma análise integrada da realidade acabou por gerar um processo de intercâmbio teórico, metodológico, conceitual e terminológico que nos permitiu o uso metafórico de noções, a importação de analogias e a significação estratégica de conceitos entre diferentes teorias, agora reforçadas pelo potencial aplicativo do conhecimento. Assim, os efeitos positivos dos intercâmbios conceituais entre disciplinas e a internalização do saber ambiental, dentro dos seus paradigmas teóricos, vieram a contribuir para compreender melhor a articulação dos processos ecossistêmicos, geográficos, econômicos, culturais e sociais que caracterizaram uma problemática ambiental que, em nosso estudo, envolve particularmente a geração de energia elétrica com a combustão de carvão na região de Candiota-RS.

Estando o pesquisador familiarizado com conteúdos necessários para trabalhar a ideia da sustentabilidade nos programas de engenharia, o mapa conceitual torna-se uma ferramenta que permite, através dessa linguagem, delimitar o sistema com a implementação, a identificação e hierarquização dos padrões comuns dos conteúdos que atuam na questão e que aparecem sob uma perspectiva que integra a evolução ecológica, a inovação tecnológica e as mudanças sociais, num processo de transformação do conhecimento e de suas aplicações à produção.

A elaboração dos mapas conceituais segue os procedimentos descritos nas próximas seções.

6.1.7.1 Mapa conceitual I

Diz respeito aos conceitos que possibilitam a emersão do fenômeno associado à complexidade da realidade: o conhecimento necessário à materialização da visão da SD.

Entendendo que as reflexões mais abrangentes sobre a SD estão associadas aos aspectos filosóficos da natureza, iniciamos a construção do mapa, colocando tais estudos no topo do mapa. A seguir, amparado pelos princípios ausubelianos, buscando os conceitos generalistas que nos encaminham para o objetivo do trabalho, citamos no mapa conceitual os estudos relativos à SD.

O próximo passo consiste em horizontalizar os elementos que nos permitem, através de seus processos, instrumentalizar e materializar a visão do nosso objetivo. Assim, encontramos nessa interface a EA e a GAS.

Por sua vez, os conteúdos que confluem para a EA, e que dessa forma se associam com a situação real que envolve o objetivo do trabalho, aparecem amparados em um nível conceitual – princípios, leis e conceitos da Física, da Economia e Teoria da Administração e dos Ecossistemas.

Os conceitos anteriormente citados confluem para os conhecimentos necessários aos processos de geração de energia elétrica nas termelétricas.

Na mesma linha horizontal da seção anteriormente citada, instrumentalizando a viabilidade da GAS, são citadas ferramentas conceituais da esfera privada, tais como a análise ambiental e as ISO 14000, e o instrumento da esfera pública, a AIA.

Assim, a dimensão vertical do mapa representa o grau de generalidade, dando hierarquia aos conceitos. Os conceitos mais abrangentes foram colocados no topo do mapa. À medida que fomos descendo, nos deparamos com conceitos intermediários, menos abrangentes. Na parte inferior do mapa aparecem os conceitos mais específicos. O mapa conceitual resultante, obtido através do programa IHMC-Cmap-Tools versão 2010, está apresentado na figura 25.

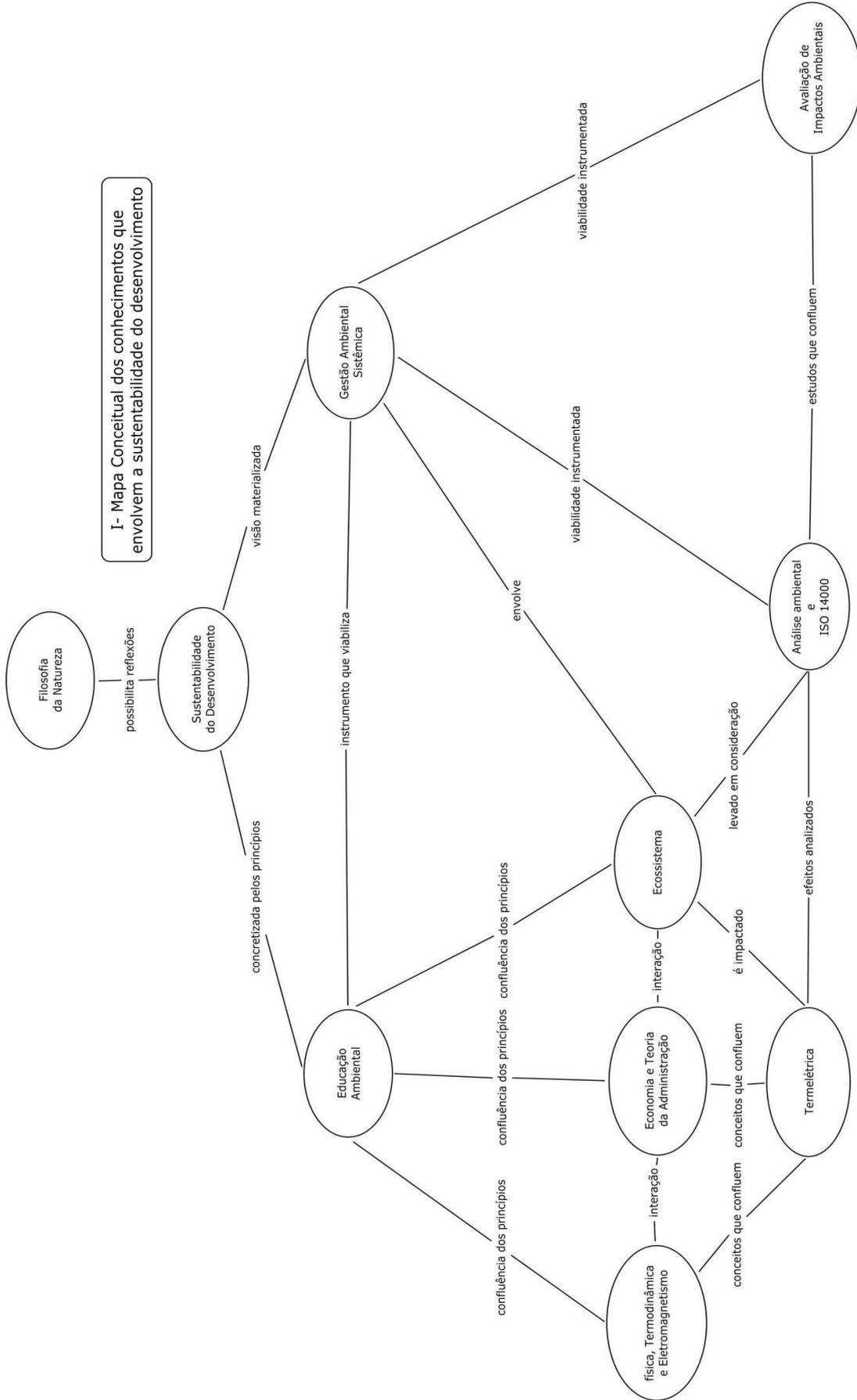


Figura 25 – Mapa conceitual I

6.1.7.2 Mapa Conceitual II

Segundo Garcia e Vergara (2000), uma das características mais importantes da noção de sustentabilidade forte é a concepção do pensamento sistêmico. Portanto, a emersão do nosso objetivo sistêmico depende do enlace dos conteúdos do mapa conceitual I com conteúdos que dizem respeito a abordagens sistêmicas formalizadas, que são a Complexidade e Autoorganização, TGS, Dinâmica de Sistemas, Pensamento Sistêmico Organizacional, estando esses conhecimentos inter-relacionados no mesmo nível hierárquico do mapa (figura 27) e complementando o Capítulo Terceiro da dissertação.

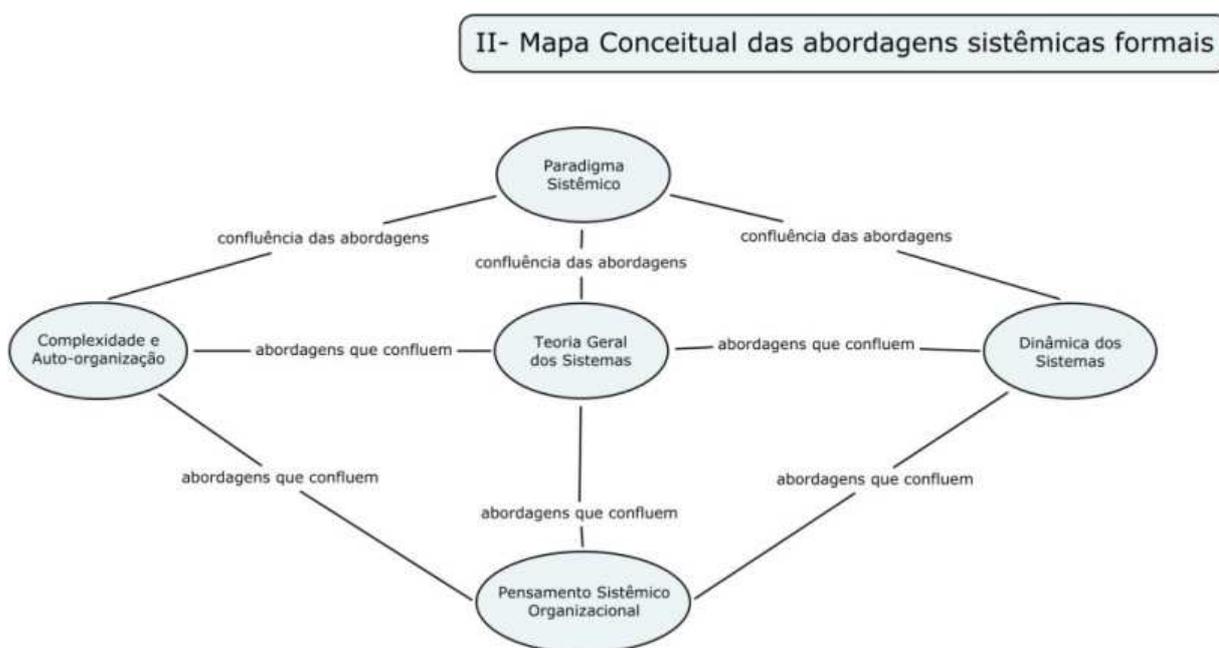


Figura 26 – Mapa conceitual II

6.1.7.3 Mapa conceitual III

Refere-se aos tópicos envolvidos com sedimentação das concepções sistêmicas gerais que derivam dos aspectos teóricos das abordagens sistêmicas formalizadas. Tais conteúdos são os princípios, visão de mundo e noções sistêmicas fundamentais que, estando interligados, constituem o mapa conceitual III, apresentado na figura 27.



Figura 27 – Mapa conceitual III

6.1.8 Oitava etapa

Através dos mapas conceituais, estruturamos nosso sistema, um modelo dinâmico global (figura 28) que, associado ao arquétipo proposto por Kasper (2000), diz respeito ao conhecimento contínuo necessário para abordarmos os fenômenos, situações e problemas complexos que dizem respeito à SD. Nesse modelo são enaltecidas no ciclo inferior as formulações específicas das concepções sistêmicas gerais, como:

- a abordagem do pensamento sistêmico nos contempla com o argumento de que as trocas de informação manterão e renovarão a estrutura do sistema;
- da cibernética podemos afirmar que a realimentação da informação, em laços de retroação, nos permitirá a regulação e controle do sistema, na busca por seu objetivo;
- havendo realimentação positiva no sistema, colocando em movimento processos cumulativos de conhecimento, poderá haver mudanças que originam novas estruturas, aumentando a sua complexidade;
- a lei da variedade requerida, proposta por Wiener (1984), permite entender que os sistemas complexos possuem mecanismos de regulação capazes de bloquear a variedade dos distúrbios ambientais (resiliência);
- a introdução do observador e a distinção entre o objeto (conhecimento) e sistema (conteúdos interdisciplinares) nos permitem perceber que o sistema, como forma de um fenômeno global, origina-se de interações cuja configuração constitui sua organização, onde o sistema é uma manifestação emergente da unidade complexa;
- o sistema se constitui de relações entre partes ou variáveis qualitativamente distintas, que mantêm interações, e não somente ações simples entre si;
- o sistema, configurando-se através de interações endógenas, constitui uma organização que, sendo aberta e incompleta, servirá de base para construção do aprimoramento contínuo necessário à SD.

Cabe ressaltar, que para articular as concepções sistêmicas gerais abordadas e tornar visível a teoria sistêmica como um quadro de construção do conhecimento, é necessário que as abordagens sistêmicas formalizadas sedimentem os princípios que são as concepções sistêmicas gerais, como:

- o contextualismo, a causalidade contingente, o procedimento sistêmico;
- a visão de mundo que envolve redes, fluxos etc.
- suas noções fundamentais, como: sistema, circularidade, organização hierárquica, abertura/fechamento e adaptação.

Entretanto, dentro desse mesmo sistema, existem estudos específicos que resultam do modelo global, subsistemas específicos, capazes de nos dar informação a respeito do comportamento da dinâmica de sistemas complexos que variam com o tempo.

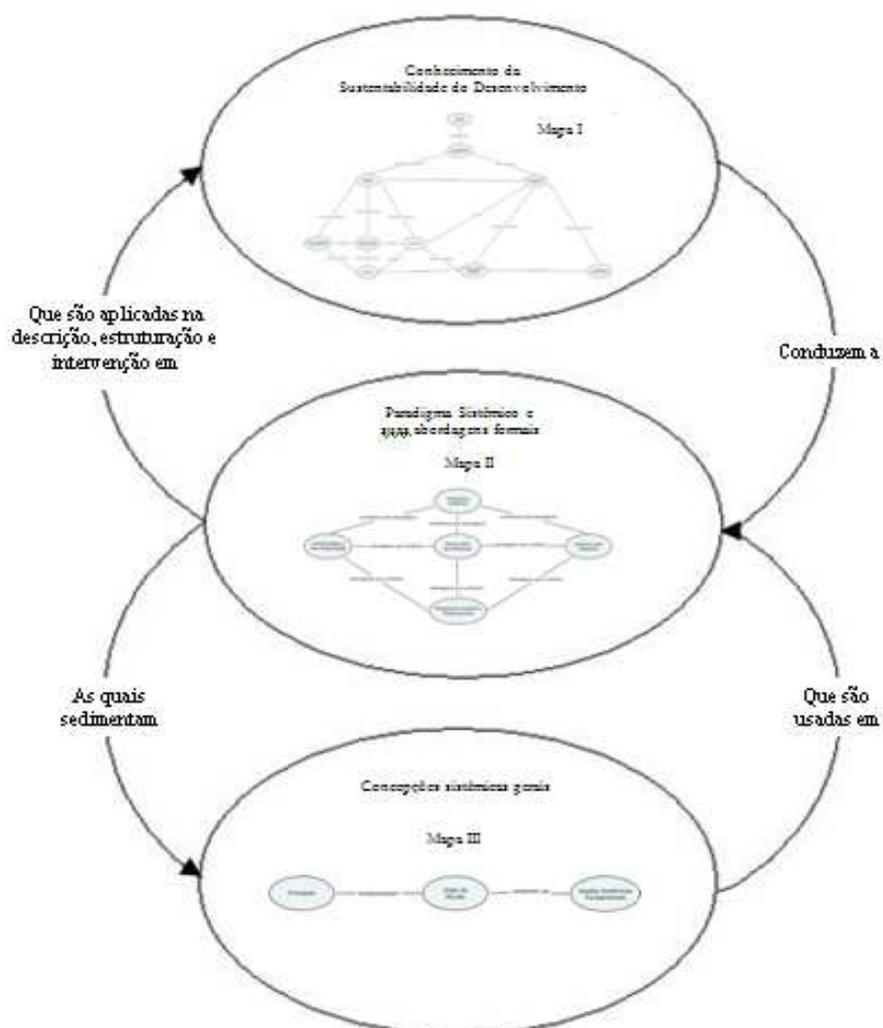


Figura 28 – Modelo global do processo dinâmico de conhecimento da SD proposto por Almeida (2011)

6.1.9 Nona etapa

Dentro dessa proposta, buscando sinergia com o modelo global, procuramos uma situação que possibilitasse o encontro com um arquétipo que, através da modelagem computacional, complementaria nosso estudo, levando em consideração a diversidade e complexidade que intervêm na problemática ambiental, transformando diagramas causais em diagramas de fluxo, propondo a integração de diversos campos do conhecimento científico para o seu diagnóstico.

Assim, o intercâmbio de ideias, que gera um processo interdisciplinar, faz com que surjam perguntas a partir de uma especialidade para outras. Estes questionamentos não só apresentam inquietações sobre o potencial aplicativo dos conhecimentos dessas disciplinas, mas também pode levar a reformular os problemas teórico-práticos que não surgem do desenvolvimento interno dos paradigmas das ciências e do saber disciplinar normal. A eficácia do processo interdisciplinar é produto da integração dos saberes, habilidades, métodos e técnicas particulares das diferentes especialidades, orientadas ao estudo de certos problemas teórico-práticos específicos e a partir de seus campos de atuação definidos. Em nosso trabalho, o intercâmbio de conhecimentos associados a transformação de diagramas causais em diagramas de fluxo permitirá, através da modelagem computacional com o *software* STELLA, compreender os complexos processos da realidade, alterando parâmetros ou simulando a passagem do tempo. Tais processos se configuram em nosso trabalho em duas situações:

6.1.9.1 Estudo de caso *Aplicação de modelo para quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão, Candiota-RS*

Os procedimentos para identificação e avaliação dos aspectos e impactos ambientais foram realizados por Alves, Guerra e Lelarge (2004) e apresentados em nossa metodologia, seguindo um roteiro caracterizado por fases de planejamento, implantação e operação, tendo nesse trabalho informações técnicas, de modo que se pode entender algumas consequências ambientais advindas do processo de geração de energia elétrica com combustão de carvão mineral.

O estudo trata especificamente da determinação de áreas impactadas na região de estudo, a partir da interpretação de dados secundários de análise química das drenagens superficiais na região de mineração, delimitando-a a partir dos pontos de amostragem, através

do modelo prognóstico linear proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004) para área de estudo.

A vetorização das áreas foi realizada a partir da estimativa dos possíveis cursos que o contaminante pudesse percorrer, e está apresentada no capítulo anterior (seção 5.2.1, figura 24), sendo que a área impactada estimada para o ano 2000 era de 41,24km².

O modelo proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), Modelo Prognóstico Linear Tentativo, está abaixo descrito:

$$AIP = tAI_{\text{atual}} * PCGE$$

Onde:

AIP = Áreas Impactadas Projetadas (km²);

tAI_{atual} = Taxa de Área Impactada. Atualmente relacionada a potência instalada de energia termelétrica $\left(\frac{\text{km}^2}{\text{MW}}\right)$;

PCGE = Potencial Carbonífero para Geração de Energia Elétrica (446MW);

PAC = Produção Anual de Carvão (1.200.000 t/ano);

VUM = Vida Útil da Unidade Mineradora (38,8 anos);

HaUTE = Horas/ano disponíveis para operação da Usina Termelétrica (5.532,8 horas/ano);

VUTE = Vida Útil da Usina Termelétrica (30 anos);

FcUTE = Fator de Capacidade da Usina Termelétrica (0,5 ou 50%);

CeC = Consumo Específico de Carvão (1,26t/MW).

$$\text{Por sua vez, o autor conclui que } tAI_{\text{atual}} = \frac{41,24\text{km}^2}{446\text{MW}} = 0,0925 \frac{\text{km}^2}{\text{MW}}.$$

Prevedo, na época, um aumento da capacidade da termelétrica para 946 MW, desde que mantidos os parâmetros citados. Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004) elaborou um segundo cenário, no qual a área impactada passaria, segundo seu modelo, para: AIP= 0,0925 * 946 = 87,46 km², onde tAI_{atual} mantém o valor constante de 0,00925 $\frac{\text{km}^2}{\text{MW}}$.

Dando sequência aos estudos, passamos a uma análise do comportamento da AIP (área impactada) * PCGE (potência instalada), criando um terceiro cenário que aponta para a atual realidade da Usina Candiota III (Fase C/2011), tendo havido um acréscimo na PCGE de 350MW.

Mantendo inalterados os parâmetros que compõem o valor da potência (PCGE) e registrando uma área impactada: $AIP = 0.09258 * (446+350) = 73,6 \frac{\text{km}^2}{\text{MW}}$, encontramos a seguinte situação gráfica (figura 29).

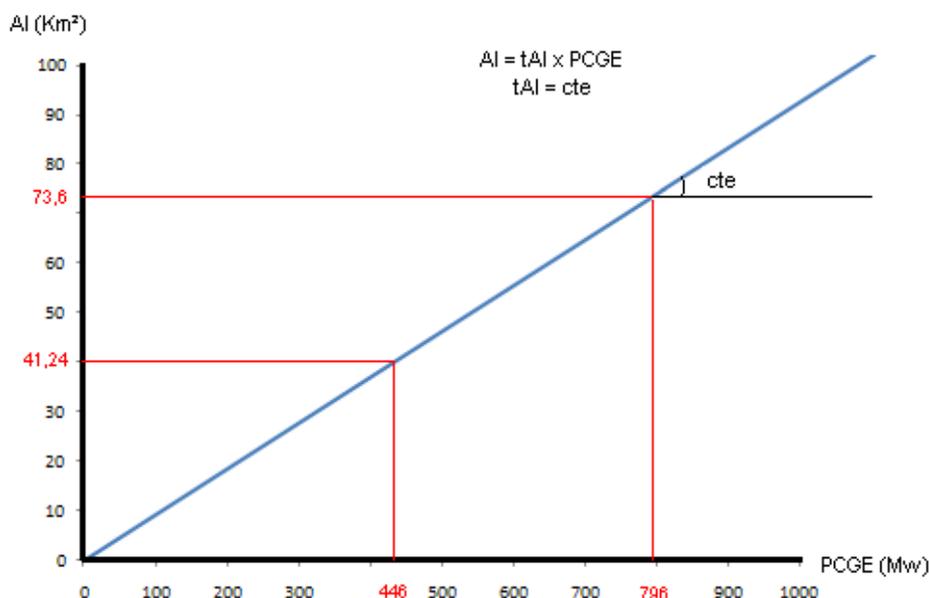


Figura 29 – Modelo prognóstico linear

Fonte: Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004)

Assim, sob a ótica do modelo proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), procuramos na modelagem computacional, dentro do ambiente STELLA, uma análise semiquantitativa que, mediante um diagrama de fluxo, espelhasse as relações causais em questão, ou seja, um modelo linear que mantivesse constante tAI_{atual} e consequentemente a proporcionalidade da relação linear entre AI e PCGE, possibilitando assim a visualização de diferentes cenários para a análise.

Dentro dessa proposta, foi elaborado um diagrama de fluxo, onde se admite AI como um reservatório com determinado nível inicial, cujo valor poderia sofrer alterações em função do fluxo ou taxas de entrada (tAI_{atual}) e seu fator de conversão (PCGE) e as taxas de saída (tAM) ou ações de fluxo, que podem estar associadas a ações mitigadoras como a EA e GAS.

De acordo com Kurtz dos Santos (2002), para realizarmos o diagrama de fluxo, é importante lembrar que:

- a equação do nível $x(t) = x * (t-dt) \pm (taxa) * dt$, o que implica dizer que o novo nível é calculado pelo seu valor inicial diminuído ou acrescido da porção $(taxa) * dt$;

INIT x é o valor inicial do nível x ;

taxa = constante * x , o que quer dizer que a equação da taxa é proporcional ao nível x ;

Na sequência apresentamos os diferentes cenários cujos parâmetros podem ser alterados e, através de diagramas de fluxo, modelados no STELLA:

Cenário 1: as ações que colaboram com o fluxo de entrada (tAI_{atual}), como o aumento da PCGE, e as ações mitigadoras (tAM) do fluxo de saída, como por exemplo a GAS, seriam equivalentes e se manteriam constantes ou iriam variar na mesma proporção, fazendo com que o nível AI se mantivesse constante com o passar do tempo;

Cenário 2: as ações produziram uma taxa de variação de fluxo de entrada (tAI_{atual}) maiores que as taxas de variação do fluxo de saída (tAM). O resultado do processo seria um aumento do nível AI;

Cenário 3: a taxa de mitigação (tAM), ou seja, o fluxo de ações da EA e GAS, seria superior às ações do fluxo de entrada (tAI_{atual}). Tais ações produziram um decréscimo no nível de AI.

Para analisar tais cenários preparamos o diagrama de fluxo apresentado na figura 30 e suas correspondentes equações e saídas gráficas (estudo semiquantitativo), conforme figuras 31, 32 e 33.

De posse do modelo, foram simulados os diferentes cenários, chamando a atenção para a análise gráfica da $AI \times T$, onde AI, conforme prevê Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), se mantém constante com o passar do tempo, desde que a PCGE se mantenha a mesma.

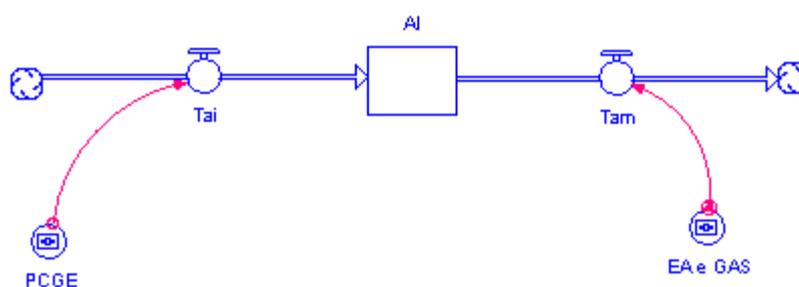


Figura 30 – Diagrama de fluxo modelado no STELLA

Situações:

- a) Nesta situação, as ações do fluxo de entrada e saída seriam equivalentes em eficácia.

$AI(t) = AI(t - dt) + (Tai - Tam) * dt$
 INIT AI = 1
 INFLOWS:
 Tai = PCGE
 OUTFLOWS:
 Tam = EA_e_GAS
 EA_e_GAS = 2
 PCGE = 2

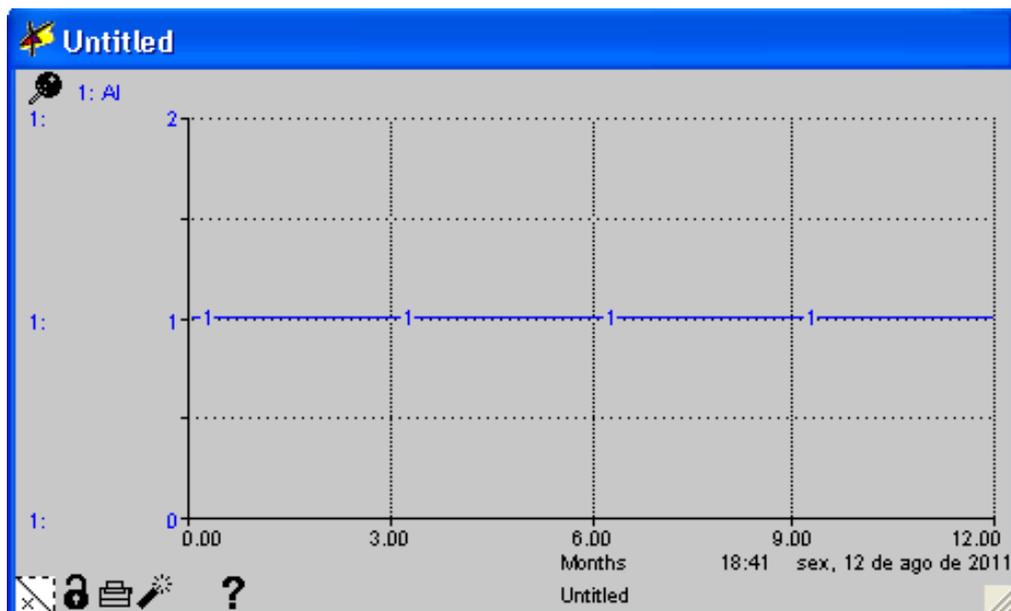


Figura 31 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA

b) Nesta situação as ações associadas ao fluxo de entrada seriam, em eficácia, maiores que as ações associadas ao fluxo de saída.

$AI(t) = AI(t - dt) + (Tai - Tam) * dt$
 INIT AI = 1
 INFLOWS:
 Tai = PCGE
 OUTFLOWS:
 Tam = EA_e_GAS
 EA_e_GAS = 2
 PCGE = 2.5

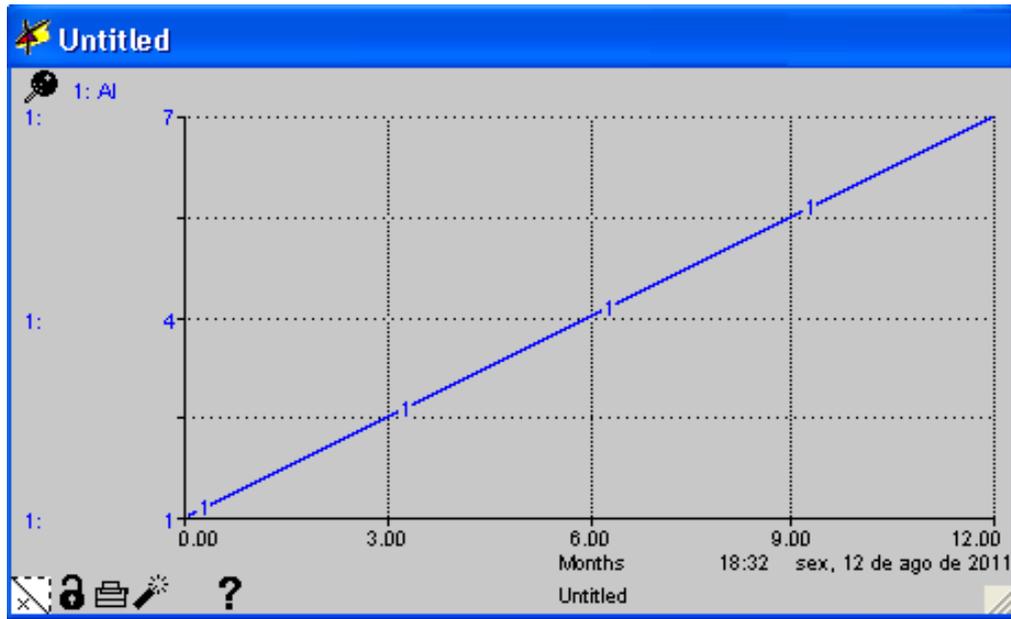


Figura 32 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA

c) Nesta situação, as ações associadas ao fluxo de entrada seriam menores, em eficácia, que as ações associadas ao fluxo de saída.

- $AI(t) = AI(t - dt) + (Tai - Tam) * dt$
- INIT AI = 1
- INFLOWS:
 - Tai = PCGE
- OUTFLOWS:
 - Tam = EA_e_GAS
- EA_e_GAS = 2.5
- PCGE = 2

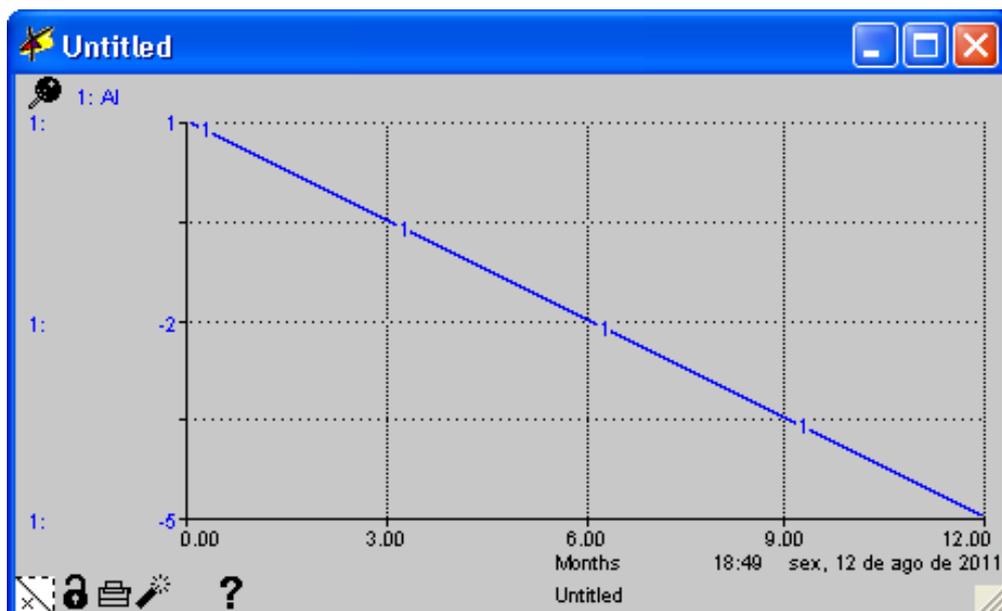


Figura 33 – Equações e saídas gráficas modeladas no STELLA

6.1.9.2 Transformação de diagramas causais em diagramas de fluxo

Para complementarmos nossa metodologia, almejando o encontro com nosso objetivo, procuramos dentro do ambiente STELLA uma forma de estudo que viesse a colaborar com os estudos de Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), situando sua análise linear atemporal como parte incluída de um sistema dinâmico, que tivesse suas bordas ampliadas, entendendo que a articulação de um ou mais conhecimentos (processos materiais do campo científico de um deles – o funcionamento estrutural e a dinâmica dos fenômenos que este estuda) são afetados, condicionados ou superdeterminados pelos processos e efeitos materiais de outro conhecimento.

Podemos observar tal situação pensando como Leff (2006), onde a evolução e transformação dos ecossistemas naturais estão determinadas pelas necessidades de exploração de matérias-primas, que gera o processo de acumulação de capital, bem como pelos efeitos das relações sociais de produção e das práticas produtivas de uma formação econômica sobre os modos e técnicas de aproveitamento dos recursos naturais do ecossistema. Isso obriga a pensar nas possibilidades de internalização dessas condições históricas e econômicas no objeto de estudo a partir das especificidades das disciplinas sociais. Em nosso trabalho, procurando articular algumas variáveis pertencentes ao estudo das transformações dos ecossistemas naturais, incluíram-se nessa situação variáveis temporais como o comportamento populacional, a geração de energia elétrica e a poluição gerada no processo.

Associamos a tais variáveis os níveis, cujas equações de diferenças finitas são dependentes de ações ou fluxos (taxas) de entrada e/ou saída procurando simular um cenário que nos permitisse analisar o comportamento desses níveis com o tempo.

Conhecido o diagrama causal que enlaça as variáveis citadas, passamos dentro do ambiente de modelagem STELLA, a construir o diagrama de fluxo, esboçando o modelo, criando uma lista de equações que obedecem à ordem requerida, onde foram arbitrados valores para todos os níveis, taxas e conversores.

Após transformar o diagrama causal (figura 34) em diagrama de fluxo no programa STELLA (figura 35), encontrarmos os diagramas, executamos o programa e analisamos a saída gráfica (figura 36), que foi interpretada como mostramos a seguir.

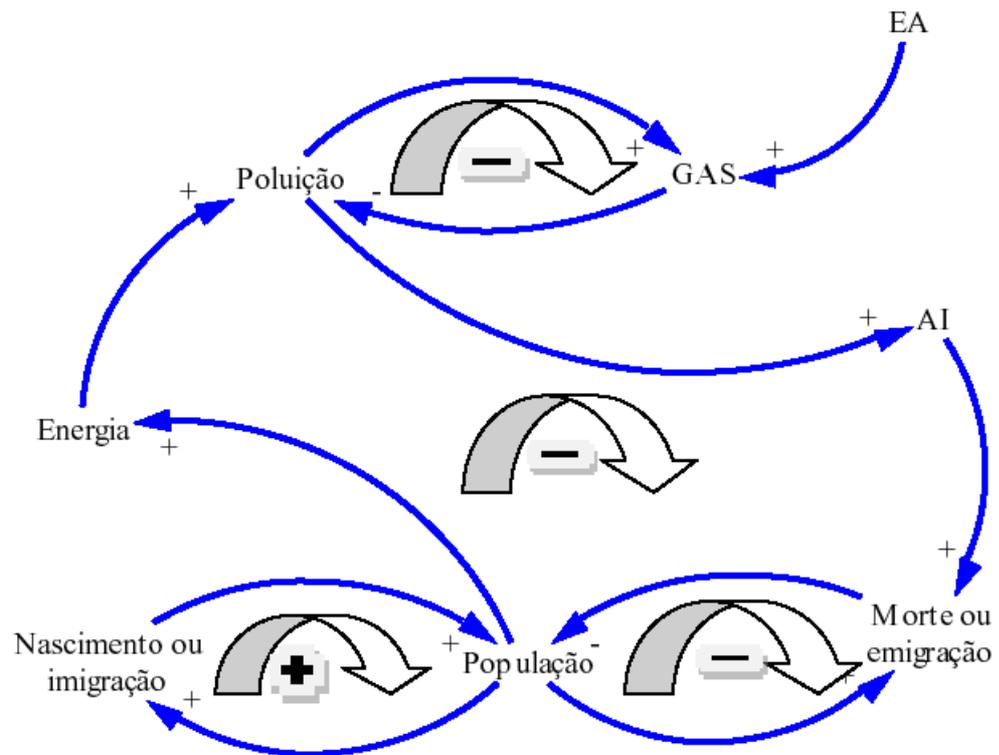


Figura 34 – Diagrama causal da variação de energia como consequência da variação populacional.

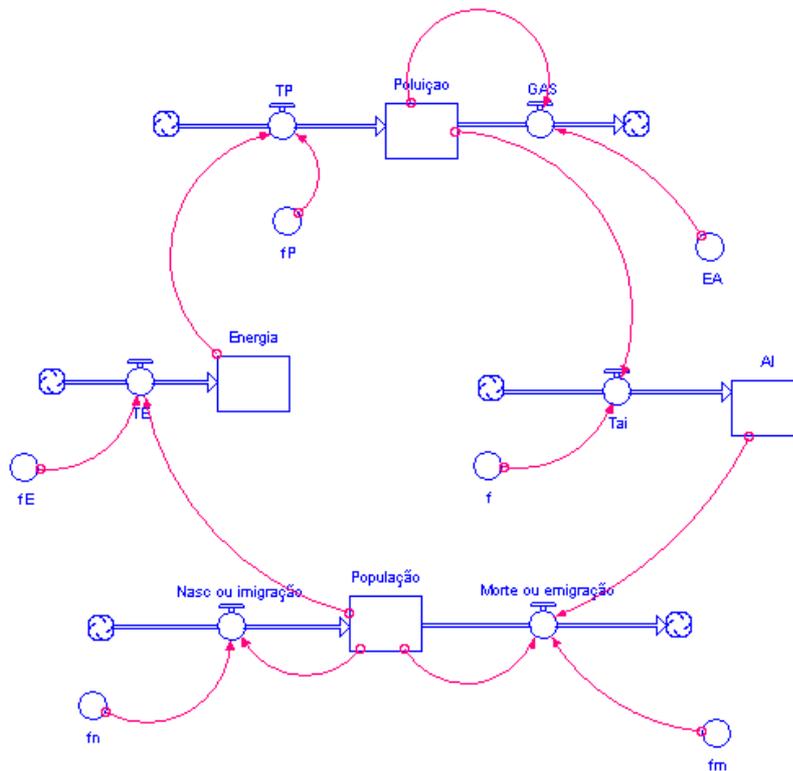


Figura 35 – Diagrama de fluxo modelado no STELLA

- $AI(t) = AI(t - dt) + (Tai) * dt$
 INIT AI = 1
 INFLOWS:
→ $Tai = Poluição * f$
- $Energia(t) = Energia(t - dt) + (TE) * dt$
 INIT Energia = 1
 INFLOWS:
→ $TE = População * fE$
- $Poluição(t) = Poluição(t - dt) + (TP - GAS) * dt$
 INIT Poluição = 1
 INFLOWS:
→ $TP = Energia * fP$
 OUTFLOWS:
→ $GAS = EA * Poluição$
- $População(t) = População(t - dt) + (Nasc_ou_imigração - Morte_ou_emigração) * dt$
 INIT População = 1
 INFLOWS:
→ $Nasc_ou_imigração = fn * População$
 OUTFLOWS:
→ $Morte_ou_emigração = fm * População * AI$
- EA = 1
- f = 1
- fE = 1
- fm = 0.03
- fn = 1
- fP = 1

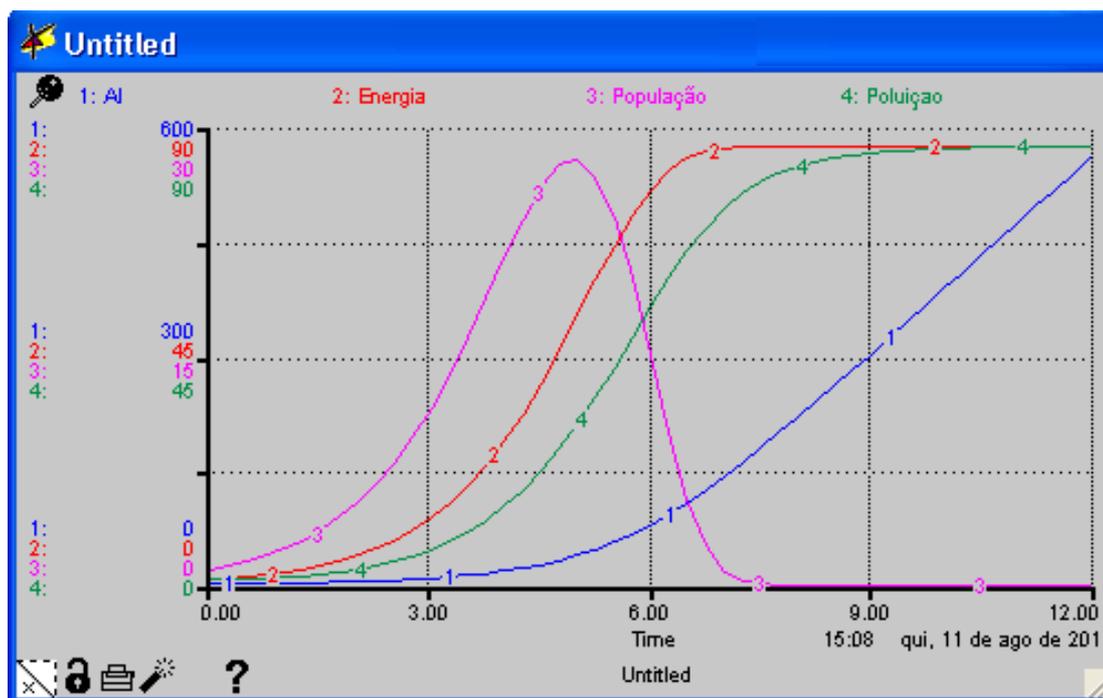


Figura 36 – Equações e saída gráfica obtidas no programa STELLA

O nível populacional varia em função das taxas de imigração (t_{IM}) ou emigração (t_{EM}) da região abastecida pelo gerador (aspectos sociais).

À medida que o nível populacional cresce, incentiva um aumento da geração de energia elétrica que é limitada por fatores de conversão que influenciam suas ações de produção de Energia (TE) tais como as reservas de carvão e/ou a capacidade técnica de produção da geradora (aspectos econômicos). Aumentando a geração de energia (aproveitamento dos recursos naturais), aumenta a poluição, que poderá ser ou não controlada por diferentes aspectos, tais como os processos impactantes (T_p) advindos da queima do carvão e pelo fluxo de ações mitigadoras (técnicas de aproveitamento dos recursos naturais) e a taxa de controle da poluição (T_{am}), onde associamos os processos de GAS e EA. O aumento de poluição aumenta a área impactada (AI), que, estando regulada por T_{ai} , dependente direta do valor da PCGE, a medida que aumenta juntamente com a poluição, promove a diminuição populacional.

Observamos, no contexto sistêmico, que o diagrama de fluxo proposto na figura 31, associado ao estudo de Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004), colabora como partes (o nível AI e as válvulas T_{ai} e T_{am}), para o objetivo do novo sistema: as partes interagem para o comportamento dinâmico do todo.

Assim, ao executar o diagrama de fluxo correspondente no programa STELLA, procuramos uma saída gráfica que permitisse analisar semiquantitativamente como cada

estrutura sistêmica reproduz seu padrão de comportamento, o que facilita a exploração de diferentes cenários, testando estruturas que reproduzam comportamentos que se aproximem da realidade.

CAPÍTULO SÉTIMO

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho, orientou-se pela investigação dos aspectos que envolvem as filosofias, leis, princípios, conceitos e noções que articulam a educação ambiental e a gestão ambiental sistêmica, objetivando com isso, evidenciar conhecimentos que pudessem colaborar para a sustentabilidade do desenvolvimento (SD) necessária à qualidade de vida do homem no planeta Terra.

Com esse intuito, foram utilizadas como base conceitual, concepções sistêmicas que permitiram formular uma síntese que expressasse a emersão de tal objetivo, consolidadas por metodologias que proporcionassem a estruturação de tais conhecimentos, representando os mesmos num modelo conceitual global que, integrasse as complexas questões que envolvem a questão ambiental.

Assim focados, organizamos no Capítulo Segundo nosso referencial teórico interdisciplinar, que, estando no núcleo do desenvolvimento do trabalho permitiu, mediante um fluxo de informações que, veiculados pela EA e pela GAS, pudessem conduzir processos que contribuíssem para a materialização do conhecimento necessário a proposta do trabalho.

Nos Capítulos Terceiro e Quarto, foram examinadas quatro distintas abordagens sistêmicas que consolidadas, proporcionaram dentro de uma perspectiva global conceitual, o encontro com um modelo mental que eliciasse conteúdos que permitissem elaborar modelos conceituais que estivessem em sintonia com as nossas propostas.

Na sequência, nos Capítulos Quinto e Sexto, foram consolidadas as metodologias e os resultados da pesquisa teórica, procedimentos estes que acabaram por se ajustar com o nosso objetivo.

Quanto ao caráter dos princípios sistêmicos, o trabalho explorou os argumentos de Senge (2005), Forrester (1990), Checkland (1981) e outros, amparado numa epistemologia que permitiu a emergência dos modelos apresentados. Ou seja, um modelo global abstrato, que, baseado em percepções e visões de mundo procurou dar sentido à realidade, estruturando uma construção subjetiva de conhecimentos interdisciplinares, expressos em mapas conceituais para, posteriormente, amparado nesse conhecimento global, abordar aspectos específicos que, através de técnicas de simulação, dentro do ambiente da modelagem computacional STELLA, pudessem ser utilizados como instrumentos de EA e GAS e mais especificamente nos estudos de AIA.

Após examinarmos as abordagens, acima descritas, a imagem que emergiu pode ser entendida como um processo dinâmico de desenvolvimento e aprimoramento contínuo que proporcionou:

- reflexões sobre a filosofia da natureza, conteúdos da Física, Teoria da Administração, Economia e os Ecossistemas expressas no mapa conceitual, ressaltando a interação entre essas diferentes áreas do conhecimento, procurando, mediante o fluxo de informação, promover processos que, através da EA e da GAS pudessem agregar conhecimentos necessários à materialização do nosso objetivo sistêmico;
- a formulação de um modelo teórico global que proporcionasse, através do pensamento sistêmico, o encontro com formulações teóricas específicas que permitissem, através da modelagem computacional com utilização do *software* STELLA, encontrar procedimentos que auxiliassem na visualização dos dinâmicos e complexos processos que envolvem a GAS e a AIA, abordando a situação específica que acompanha o estudo de caso envolvendo a geração de energia elétrica com combustão do carvão na cidade de Candiota-RS, procurando com isso uma sinergia que viesse a ser útil na análise de um quadro geral hipotético que levasse a um entendimento mais amplo dos dinâmicos processos que envolvem a geração de energia, suas consequências para o meio ambiente e suas possibilidades de mitigação.

Salientamos que tal trabalho aponta para uma nova mudança de mentalidade, desdobrando-se em múltiplas abordagens voltadas as mais variadas áreas do conhecimento, caracterizando assim, os princípios sistêmicos como um quadro de referência geral que promove o pensamento dinâmico em detrimento dos aspectos estáticos do pensamento analítico.

A partir do exposto, podemos desdobrar algumas conclusões mais específicas do trabalho:

- através da visão sistêmica, a sustentabilidade do desenvolvimento (SD) deve ser examinada como um todo, ou seja, um conhecimento que deve emergir não como um estudo dos conteúdos das partes individuais, mas sim pela interação de natureza organizada dos diferentes conhecimentos propostos nos mapas conceituais;
- o objetivo do trabalho, a essência constitutiva da realidade, emerge dos fluxos de informação e dos processos de aprendizado contínuo que amparam a EA e GAS e seus conhecimentos específicos.
- o conhecimento que envolve a SD pode ser concebida em termos de padrões de interação entre os temas propostos nos mapas conceituais. As dinâmicas que envolvem estas interações no tempo, podem ser avaliadas pelas interações que envolvem a GAS no modelo computacional STELLA, dentro do contexto da geração de energia elétrica com utilização de carvão em Candiota e na situação hipotética da geração de energia e suas consequências para o meio ambiente. A realidade deve ser concebida em termos de uma complexidade organizada com padrões de interação que não podem ser explorados a partir de relações de causa e efeito simples. As proposições explicativas sistêmicas requerem explicações que supõe interações endógenas que determinam as características emergentes.
- para compreendermos a complexidade que envolve a modelagem computacional STELLA, na avaliação dos impactos ambientais, no caso específico citado, se faz necessário incluir todos os fatores relevantes que compreendem os diferentes conteúdos, as interações e as interdependências que envolvem o modelo conceitual global.
- a organização do sistema de conhecimento da SD refere-se a padrões dinâmicos de interações que caracterizam a unidade complexa, ou seja, a estruturação do conhecimento é realizada de uma forma aberta e compartilhada, distinguindo-se da compreensão tradicional onde a organização dos conhecimentos é concebida como relações estáticas entre os conteúdos dos mapas conceituais.
- a descrição abstrata do modelo global bem como, do modelo computacional STELLA, apresentados na metodologia, pressupõe atividades processuais que envolvem fluxos de informação, que modificam a estrutura cognitiva do observador realizando assim o aprendizado que é o objetivo do trabalho.
- os modelos sistêmicos apresentados servem para organizar a informação mesmo que o conhecimento proposto seja uma construção abstrata explicativa da experiência humana.

- quanto às características observadas nos modelos construídos no trabalho, é importante ressaltar que os mesmos propõem dar lógica a processos onde as atividades humanas estão inter-relacionadas, podendo surgir assim, diferentes pontos de vista acerca dos fenômenos abordados, já que os mesmos são descritos por interações entre noções conceituais e princípios de construções humanas abstratas.
- a organização dos sistemas propostos implica sempre algum caminho circular das interações que se mantém e se mantiveram ao longo do tempo, incentivando a recorrência dos processos em análise. Requer também a existência de restrições as quais as diversas partes e subsistemas estão subordinados, como parte de um padrão organizado, o modelo conceitual, que ajudam a constituir. Assim os modelos apresentados no trabalho envolvem o reconhecimento de níveis hierárquicos em que a complexidade aumenta com a generalidade apresentada em cada mapa conceitual. Quanto à adaptação do sistema de conhecimento da sustentabilidade, faz-se necessário compreender que as interações geram a capacidade de continuidade nos fenômenos complexos, diante dos impactos das variações ambientais. Para realizar os ajustes necessários às mudanças, as estratégias podem envolver os processos de co-evolução até autotransformação dos conceitos que envolvem o sistema.
- fundamentalmente a utilização das concepções sistêmicas serviram como base conceitual para elaboração de metodologias que servem para estruturar a interdisciplinaridade dos conhecimentos e aprendizagem que confluem para a EA, GAS, modelagem computacional (*software* STELLA), AIA, acabando por construir um modelo conceitual que se acerca dos problemas que envolvem o conhecimentos mínimos necessários a uma sustentabilidade forte proposta por Garcia e Vergara (2000).
- sendo assim, os modelos propostos partem das visões abstratas do pesquisador, baseados em suas percepções de mundo, procurando com isso dar sentido à realidade, servindo para estruturar o sistema global, constituindo com isso acordos que possam realizar melhorias com seu objetivo. Sendo o pesquisador parte ativa desse contexto, outras experiências como a observação de novos eventos e acontecimentos ou a distinção de diferentes características e padrões evolutivos no tempo, confrontados com o modelo proposto, podem gerar mudanças, tanto na forma de perceber como na maneira de descrever o sistema.

A partir do presente trabalho, várias possibilidades para pesquisas futuras podem ser destacadas. As propostas a seguir, indicam algumas oportunidades vislumbradas, tanto em termos teóricos como em aplicações práticas, onde:

- o trabalho poderá, a partir do estudo de caso apresentado, envolver pesquisas comparativas entre varias abordagens, onde técnicas de simulação computacional poderão ser utilizadas como ferramenta de estudo de uma parte, processo ou subsistema do modelo global;
- as investigações das abordagens citadas no trabalho, que dizem respeito à EA e à GAS, deverão ser avaliadas quanto a sua viabilidade e reais possibilidades de incorporação aos conteúdos programáticos dos cursos de Engenharias;
- o estudo de técnicas de modelagem computacional, contempladas nas diversas abordagens e metodologias sistêmicas, poderão se fazer presentes nos diferentes instrumentos de SGA e EA como a Análise Ambiental, ISO 14001 e a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA);
- poderão ser realizados estudos para aplicação integrada das abordagens sistêmicas, interdisciplinaridade e complexidade nos processos de EA.

Quanto às limitações do presente estudo, podemos ressaltar entre várias:

- a impossibilidade da quantificação dos parâmetros do STELLA;
- o envolvimento de diversas áreas do conhecimento, algumas não sendo a especialidade do pesquisador;
- por ser um estudo interdisciplinar e por abordar diferentes áreas do conhecimento, grande parte dos conteúdos foram citados, em sua maioria, de maneira sintética.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE & EDUCAÇÃO: Revista de Educação Ambiental da FURG. Rio Grande, Ed. da FURG, n. 2, 1997.

_____. _____. n. 7, 2002.

_____. _____. n. 8, 2003.

_____. _____. n. 9, 2004.

_____. _____. n. 10, 2005.

_____. _____. n. 11, 2006.

_____. _____. n. 12, 2007.

_____. _____. n. 13, 2008.

_____. _____. n. 14, 2009.

ACKOFF, R. L. **Systems, Organization, and Interdisciplinary Research**, Creating the Corporate Future, 1981.

ALVES, F. D.; GUERRA, T.; LELARGE, M. L. V. Aplicação de modelo para quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão, Candiota, RS. In: TEIXEIRA, E. C. (Coord.). **Estudos ambientais em Candiota: carvão e seus impactos**. Porto Alegre: Pallotti, 2004.

ASHBY, R. W. **Uma introdução à cibernética**. São Paulo: Perspectiva, 1970.

ATLAN, H. **Entre o cristal e a fumaça: ensaio sobre a organização do ser vivo**. São Paulo: Jorge Zahar, 1992.

ASMUS, M. L.; KITZMAN, D. I. S. Do treinamento à capacitação: a inserção da educação ambiental no setor produtivo. In: RUSCHEINSK, A. **Educação Ambiental: abordagens múltiplas**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

AUSUBEL, D. P. **The Action and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. London: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977.

BLISS, J. et al. **Qualitative Data Analysis for Education Research: a guide of systemic net**

works. London: Croom Helm, 1983.

BORGES, E. P. Na sutil fronteira entre a ordem e o caos. **Ciência Hoje**, v. 38, n. 223, 2006.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005

BRASIL. Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1981.

_____. Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix/Amana-Key, 1996

CARVALHO, I.C.M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico**. São Paulo: Cortez, 2011.

CHECKLAND, P. **Systems Thinking, Systems Practice**. New York: John Wiley & Sons, 1981.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. S. Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 2000

COMISSÃO MUNDIAL sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DE KLEER, J.; BROW, J. Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In: GENTNER, K.; STEVENS, A. (Eds.). **Mental models**. London: Lawrence Erlbaum, 1983.

DELATTRE, P. **Teoria dos Sistemas e epistemologia**. Porto: Regra do Jogo, 1981. (Col. Cadernos de Filosofia, 2).

DEMING, W. E. **A nova economia**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

_____. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Pereira, 1990.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: princípios e práticas**. São Paulo: Gaia, 2006.

EPSTEIN, I. **Cibernética**. São Paulo: Ática, 1996.

FADIMAN, J. R. F. **Teorias da personalidade**. São Paulo: Ed. Harbra, 1986.

FERRACIOLI, L. O conceito de energia e a Educação Ambiental. **Ambiente & Educação - Revista de Educação Ambiental**, v. 5-6, 2000, 2001.

FREIRE, P. **Aprendendo com a própria história**. Rio de Janeiro. Ed. Paz e Terra, 1987.

_____. **Pedagogia da esperança**. Rio de Janeiro. Ed. Paz e Terra, 1992.

FLOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de Impactos Ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FOERSTER, H. von. On Self-organizing Systems and their Environments. In: YOVITZ; CAMERON (Orgs.). **Self-organizing Systems**. Pergamon, 1960, p. 31-50.

FORRESTER, J. W. **Principles of systems**. Portland, OR: Productivity Press, 1990.

GALIAZZI, M. C.; FREITAS, J. V. **Metodologias emergentes em Educação Ambiental**. Ijuí: Unijuí, 2005.

GARCIA, M. L.; VERGARA, J. M. R. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, n. 18, v. 3, 2000.

GELL-MANN, M. **O quark e o jaguar: as aventuras no simples e no complexo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

GUIMARÃES, S. M.; TOMAZELLO, M.G.C. **A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade**. In: 26ª REUNIÃO ANUAL DA ANPED, Poços de Calda, 2003.

_____. A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 8, n. 1, 2003.

HALL, C.A.S.; DAY, Jr. J.W. Revisiting the Limits to Growth after peak oil. **American Scientist**, n. 97, p. 230-237, 2009.

HOGAN, D. J. **Considerações sobre interdisciplinaridade**. Campinas: Unicamp, 1995.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

JORGENSEN, S. **Integration of ecosystem theories**. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1992.

KASPER, H. **O processo de pensamento sistêmico: um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto**. Porto Alegre, 2000. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KHUN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2005

KURTZ DOS SANTOS, A. et al. **Modelagem computacional utilizando STELLA**. Rio Grande: Ed. da FURG, 2002.

_____. **Introdução à modelagem computacional na educação**. Rio Grande: Ed. da FURG, 1995.

_____. **Do universo ao ambiente:** construindo nossa concepção de natureza. Rio Grande, 2011. Disponível em: <<http://www.modelciencias.furg.br/ebooks/DOUNIVAMB.pdf>>.

LEFF, E. **Racionalidade ambiental:** a reapropriação social da natureza. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

_____. (Org.). **A complexidade ambiental.** São Paulo: Cortez, 2003.

LOREIRO, C.F.B. **Trajatória e fundamentos da educação ambiental.** São Paulo: Ed. Cortez, 2006.

MEADOWS, D. H. **Harvesting one hundredfold.** UNEP/UNESCO, 1989

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/modelosmentaisport.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem:** os mapas conceituais e o Vê epistemológico. Lisboa: Plátano, 1993.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

_____. **Ciência com consciência.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

NEUMANN, J. **Theory of Self-Reproducing Automata.** Urbana, Illinois: A.W. Burks, University of Illinois Press, 1996.

NOGUEIRA, M. G. Ambiente e desenvolvimento sustentável: Reflexão sobre educação ambiental no âmbito da gestão ambiental empresarial, **Ambiente & Educação:** Revista de educação ambiental da FURG. Rio Grande, Ed. da FURG, v.12, 2009.

NORMAN, D. A. Some observation on mental models. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. (Eds.). **Mental models.** London: Lawrence Erlbaum, 1983.

PEREIRA, H. J.; SANTOS, S. A. (Orgs.). **Criando seu próprio negócio:** Como desenvolver o potencial empreendedor. Brasília: Ed. SEBRAE, 1995.

PIDD, M. **Modelagem empresarial.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PINHEIRO, R.; URBANO, P. Teoria Geral dos Sistemas e teorias da comunicação na família. **Revista da UCPel**, v. 4, n. 1, p. 51-71, jun. 1994.

PRIGOGINE, I. **Arquiteto das estruturas dissipativas.** São Paulo: UNESP, 1996a.

_____. **O fim das certezas:** tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: UNESP, 1996b.

_____. **O nascimento do tempo.** São Paulo: Edições 70, 1990.

_____. **As leis do Caos.** São Paulo: Unesp, 1993.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **Entre o tempo e a eternidade.** São Paulo: Companhia das

Letras, 1992.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental**. São Paulo: Brasiliense, 2004.

REIS, M. J. L. **ISO 14.000 – Gerenciamento Ambiental**: um novo desafio para a sua competitividade. São Paulo: Quality-Mark, 1996.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física 3**. São Paulo: Ao Livro Técnico, 1965.

_____. **Física 3**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

ROSSETI, J. P. **Introdução à Economia**. São Paulo: Atlas, 1990.

RUCHEINSKY, A. et al. **Educação ambiental**: abordagens múltiplas. Porto Alegre: Artmed, 2007.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Garamond, 2002.

_____. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel: Fundap, 1993.

SÁNCHEZ, L.E. (Org.). **Avaliação de impacto ambiental**: situação atual e perspectivas. São Paulo: EDUSP, 2008.

SANTOS, B. S. **Um discurso sobre as ciências**. São Paulo: Cortez, 2006.

SANTOS, J. E.; SATO, M. **A contribuição da Educação Ambiental à esperança de Pandora**. São Carlos: Rima, 2006.

SEIFFERT, M. B. **Gestão Ambiental**: instrumentos, esferas de educação ambiental. São Paulo: Atlas, 2007.

SENGE, P. M. **A quinta disciplina**. Rio de Janeiro: Best Seller, 2005.

_____. **Systems Thinking**. Executive Excellence. 15-16, jan 15, 1996.

SHANNON, C. **Teoria Matemática da Comunicação**. São Paulo: Difel, 1975.

SMITH A., **A riqueza das Nações: uma investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações**. São Paulo: Madras, 2009.

TEIXEIRA, E. C. (Coord.). **Estudos ambientais em Candiota**: carvão e seus impactos. Porto Alegre: Pallotti, 2004.

TEIXEIRA, V. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Texto, 2003.

VENNIX, J. A. M. **Group modeling building**: facilitating team learning using System Dynamics. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

WALLACE, G. A.; GRAY, A. **Eletrotécnica**: princípios e aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

WIERNER, N. **Cibernética e sociedade**: o uso humano de seres humanos. São Paulo: Cultrix Ltda, 1984.

_____. **Cibernética**. São Paulo: Polígono; Universidade de São Paulo, 1970.

XAVIER, F. G. **A modelagem computacional, utilizando laboratório de aprendizagem experimental com animação para o pensamento sistêmico (STELLA), em tópicos relacionados à educação ambiental**: um estudo com alunos do ensino técnico profissionalizante do Colégio Técnico Industrial da FURG. Rio Grande, 2003. Dissertação [Mestrado em Educação Ambiental] – PPGEA, Universidade Federal do Rio Grande.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B – Artigo: A Educação Ambiental (EA) na Universidade e na Empresa

Eng. Julio Cesar Touguinha de Almeida ¹

Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann ¹

¹ Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração – Unilasalle
cotplanal@mikrus.com.br

RESUMO

É proposto neste artigo o estudo da Educação Ambiental (EA) e discussão de seus objetivos e métodos no ambiente acadêmico da Universidade e sua aplicação do conhecimento no labor antrópico da nossa sociedade. Realizou-se a leitura dos principais autores que se dedicam à EA e, quais suas abordagens sobre o tema proposto neste trabalho. Como uma primeira visão do tema, se trouxe a contextualização histórica, com foco no Brasil, os principais encontros internacionais e nacionais e a evolução dos conceitos sobre a EA, que dão corpo a este instrumento de gestão ambiental, mas que ainda busca a internalização no atual modelo de civilização. Apresenta-se a seguir os fundamentos da EA: princípios, objetivos e finalidades, e seus aspectos éticos, importantes para avaliarmos e analisarmos as ações de EA. Após estabelecido o entendimento da EA, mostra-se e discute-se a EA como instrumento de aprendizagem, promoção e prática da EA, na universidade e empresa e seus reflexos na Gestão Ambiental Sistêmica. Este estudo coloca, mais uma vez, a importância da EA como instrumento fundamental da Gestão Ambiental, e mostra o muito que o tema deve ser abordado nos ambientes da universidade e da empresa.

Palavras-chaves: Educação Ambiental, Gestão Ambiental Sistêmica, Universidade, Empresa

ABSTRACT

It is proposed in this paper the study of environmental education (EE) and discussing their goals and methods in the academic environment of the University and its application of knowledge in the anthropic work of our society. The reading was conducted about first authors who have devoted their thoughts on the EE and what their approaches to the topic discussed in this work. Initially it is contextualized the history, primarily in Brazil, the main national and international meetings and the evolution of concepts on the EE, which are also foundations of environmental management, and need to be internalized to the current model of civilization. The following presents the fundamentals of EE: principles, goals and objectives, and its ethical aspects, important to assess and analyze the actions of EE. After establishing the understanding of the EE, is discussing it like tool for learning, promotion and practice in the university and its effects on business and environmental management. This study show again the importance of EE as a fundamental instrument of systemic environmental management, and that the topic should be approached in the university and business environments.

Key-words: Environmental Education, Systemic Environmental Management, University, Business

1 INTRODUÇÃO

O ensino do gerenciamento de organizações, que abrange desde a elaboração de projetos até a entrega final dos produtos ou serviços, na maioria dos casos, sempre visa à satisfação do consumidor, promovendo a integração das fases do projeto, o respeito aos prazos, a análise de resultados, com base na crença do crescimento econômico ilimitado, em que a tecnologia avança, sem levar em conta os efeitos colaterais desse desenvolvimento. Tais efeitos, como a contaminação de ar e água, as secas e enchentes, a diminuição da fertilidade do solo, a desigualdade social, além das doenças típicas do modo de vida ocidental, acabou por instalar uma crise ambiental que passou a ser o maior desafio global da humanidade neste início de século.

Considerando que os problemas ambientais são complexos por sua natureza e não poderão ser resolvidos com ações pontuais e setoriais, cabe à educação sua contribuição específica para o enfrentamento da crise ambiental que vivemos. Tal situação foi engendrada pela atitude das civilizações no uso do ambiente, consolidada neste nosso tempo por um Modelo de Desenvolvimento Econômico (MDE), cada vez mais globalizado, fundamentado em uma política econômica concentrada no consumo desenfreado dos recursos naturais e exploração do ser humano com a finalidade do lucro.

Para Dias (2006) o MDE está fundamentado no lucro a qualquer custo, associado à lógica da produção-consumo sempre crescente. Tal binômio produção-consumo acaba por gerar maior pressão sobre os recursos naturais, tendo como consequência maior degradação do meio ambiente. Essa degradação reflete-se na perda da qualidade de vida, por condições inadequadas de moradia, poluição em todas as suas expressões, destruição dos habitats naturais e intervenções desastrosas nos mecanismos que sustentam a vida na Terra. De acordo com as conclusões da Rio-92, os modelos de desenvolvimento propostos pelos países desenvolvidos legaram-nos uma situação socioambiental insustentável. Para reverter tal situação, a promoção da sustentabilidade salta da utopia para assumir o papel de estratégia para sobrevivência da espécie humana, buscando na Educação Ambiental (EA) um importante instrumento de materialização na busca de um novo paradigma, de um novo estilo de vida. Dias (2004) alerta também sobre a influência do sistema financeiro internacional nos sistemas políticos, de educação e informação em quase todas as partes do mundo, que consolida o atual MDE e a situação socioambiental insustentável.

Neste momento se faz necessário encontrar e adotar processos educativos que rompam com o atual MDE. Este novo modelo de educação se torna importante, pois, conforme Santos e Sato

(2006) a formação de profissionais envolvendo a EA torna-se fator chave para que suplantemos a crise planetária.

Embora o tema ambiental esteja na ordem do dia em qualquer ação pública ou privada, de cunho local ou global, as questões do meio ambiente na universidade e nas empresas continuam a serem tratadas de forma departamentalizada; as propostas multidisciplinares carecem da interdisciplinaridade, e seus conceitos são abordados de forma fragmentada e isolada de um contexto sistêmico.

Tendo em vista este contexto o presente trabalho apresenta algumas reflexões quanto ao papel da EA na universidade e na empresa, após abordar os aspectos históricos e de fundamento da EA.

O trabalho recorre ao referencial teórico sobre o tema e está estruturado em dois momentos. No primeiro a Educação Ambiental (EA) é abordada quanto as suas proposições, tanto de caráter de política pública em nível nacional e internacional, e nos seus aspectos conceituais e de fundamentação teórica. No segundo momento é proposta a discussão quanto aos processos de formação de indivíduos no ambiente universitário e empresarial.

O sistema Universidade e Empresa na formulação e produção da EA será discutido à luz da Lei Federal nº 6.938, de 31/08/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e autores de referência sobre o tema.

3 A EDUCAÇÃO AMBIENTAL

3.1 A EA no Brasil

Na realidade Brasileira, o debate ambiental se impôs muito mais por pressões internacionais do que por movimentos sociais ambientalistas, à luz da Lei Federal nº 6.938, de 31/08/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)

Em abril de 1999 foi instituída a Lei nº 9.795, que estabelece os fundamentos da Política Nacional de Educação Ambiental, com uma proposta efetiva de levar aos cursos profissionalizantes, de modo transversal, uma EA que permita a ação profissionalizante baseada na minimização dos impactos sobre os bens naturais.

No ano de 2001 é criado o Sistema Brasileiro de Informação em Educação Ambiental e Práticas Sustentáveis (SIBEA), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com instituições de ensino superior e ONGs, com a proposta de sistematizar, organizar e divulgar as informações produzidas pela EA, articulando as ações governamentais que se encontram fragmentadas.

Considerando o percurso apresentado, verifica-se que, apesar da mobilização dos educadores ambientais e da aprovação da lei que define a política nacional da EA, esta ainda não se firmou em termos de política pública com seu caráter democrático e incluyente, prevalecendo até os dias de hoje as orientações econômicas, voltadas para os interesses de um modelo econômico focado no consumo e lucro.

Mesmo não se declarando ambientalista e sim um educador, Paulo Freire, apresenta sua proposta de *pedagogia libertária*, cujas formulações são aprovadas no diálogo crítico que Loreiro (2006, p. 25) por três motivos:

Primeiro, porque Paulo Freire foi a expressão viva de uma educação popular e libertadora, voltada para a superação da opressão e da alienação no capitalismo e dos seus efeitos no processo de dissociação entre humanidade e natureza.

Segundo, porque foi um dos marcos iniciais no Brasil do entendimento dialético, no nosso entendimento dialógico, da função desempenhada pela educação na sociedade, recordando seus limites (ao reproduzir a ideologia dominante), potencialidades (ao criar e transformar criticamente as relações sociais existentes, superando seus próprios limites). Ao definir a educação como processo dinâmico e contraditório se contrapôs à crença ingênua de que a escola podia resolver tudo e ao pessimismo típico da leitura althusseriana de educação nos anos setenta, que caracterizou a escola de modo unívoco como aparelho ideológico do Estado, instância de reprodução das relações sociais no capitalismo.

E terceiro, porque sua visão de educação como um processo dialógico pelo qual nos educamos mutuamente mediados pelo mundo (FREIRE, 1987; 1992) e em nome de uma “ética de vida” era perfeitamente compatível com a EA em sua tendência crítica e popular.

Portanto, é necessário superar o atual modelo de ensino reducionista e em consenso com a Lei nº 9.795 que dispõe, no art. 9, incisos I e V, adotar no ensino formal e não-formal um processo educativo sistêmico. Assim, a EA deverá estar presente, assegurando que a sociedade, de maneira geral, adquira ideias, conceitos, valores, habilidades e atitudes em todos os níveis e modalidades da educação nacional, formando conhecimentos que permitam adotar uma posição crítica em relação aos dinâmicos e complexos problemas ambientais, incidindo assim, em melhoria da qualidade de vida para a humanidade.

3.2 Grandes eventos sobre EA

Dentro do processo de discussão ambiental que se desenvolve desde a década de 1970, onde a EA se insere como instrumento fundamental para que os esforços para melhoria da qualidade

ambiental sejam efetivos. A seguir são citados os eventos que marcam a evolução e consolidação da EA e seus princípios:

Na Conferência de Belgrado (1975), Iugoslávia, promovida pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) emergiu a Carta de Belgrado, instrumento que formulou os princípios e orientações do Programa Internacional de Educação Ambiental.

A primeira Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental (Conferência de Tbilisi – Geórgia), realizada em 1977, organizada pela Unesco/Pnuma (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), é considerada um marco histórico no desenvolvimento das atividades que contribuem e contribuirão para a evolução da EA.

Passados 10 anos, em 1987 o Congresso Internacional sobre Educação Ambiental, realizado em Moscou, teve como objetivo debater as dificuldades e os progressos alcançados pelas nações no âmbito da EA, procurando determinar as necessidades e objetivos relacionados com o seu desenvolvimento desde Tbilisi. Conforme os resultados desse congresso, mediante uma análise da situação ambiental mundial, a crise ambiental não diminuiu, evidenciando que as diferenças entre nações aumentavam as mazelas dos modelos de desenvolvimento adotados no mundo, antevendo maiores dificuldades para o futuro do planeta. Ratificou-se, na época, que a EA deveria preocupar-se paralelamente com a divulgação da conscientização, transmissão de informações, desenvolvimento de hábitos, promoção de valores, estabelecimento de critérios e padrões e orientação objetivando mudanças comportamentais nos campos cognitivos e afetivos do ser humano.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, trouxe dois instrumentos importantes para a gestão ambiental: a Agenda 21 e as normas da série ISO 14000, pelas quais evidenciou-se a necessidade do enfoque multidisciplinar da EA e propôs:

- orientar a EA para a sustentabilidade;
- promover, através da informação, a conscientização popular para os problemas do meio ambiente;
- divulgar treinamento, dando ênfase para a questão do analfabetismo ambiental;

Já a Conferência de Thessaloniki, na Grécia, em 1998, traz a Declaração de Tessalônica, documento que afirma a necessidade de uma visão transdisciplinar nas ações que envolvem a EA.

No Brasil, em consequência da mobilização social imposta pelo alcance global da Rio-92, o Ministério da Educação e o Ministério do Meio Ambiente produziram alguns documentos e ações importantes: o Programa Nacional de Educação Ambiental (1994) e os Parâmetros

Curriculares Nacionais (1997), elaborados com base na LDB, a qual definia a EA com tema *transversal* aos conteúdos programáticos de outras áreas do conhecimento.

Dentre os eventos importantes da década citamos a I Conferência Nacional de Educação Ambiental, realizada em Brasília, em 1997. Nesse encontro foi redigida a Declaração de Brasília para a Educação Ambiental, um minucioso diagnóstico da EA no Brasil, tendo como objetivo a melhoria de seu processo de implementação, repetindo muitas das propostas de Tbilisi.

3.3 A evolução dos conceitos de EA

Segundo Dias (2004), a evolução dos conceitos de EA sempre esteve ligada à evolução do conceito de meio ambiente, que, segundo Reigota (2004, p. 20), é “o lugar determinado e/ou percebido onde estão em relação dinâmica e em constante interação os aspectos naturais e sociais”. Para Loureiro (2006), essas relações fazem emergir processos de criação cultural e tecnológica e processos históricos e políticos de transformação da sociedade e da natureza.

A União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (1970) definiu a EA como um processo de reconhecimento de valores e clarificação de conceitos, voltado para o desenvolvimento de habilidades e atitudes necessárias à compreensão e apreciação das interrelações entre o homem e sua cultura e seu entorno biofísico. Mellows apud Dias (2006) definiu a EA como um processo onde deve ocorrer o desenvolvimento da preocupação com o meio ambiente, baseado no entendimento das relações do homem com o ambiente que o envolve.

A Conferência de Tbilisi (1977) propõe a EA como uma dimensão onde a pedagogia da educação envolve conteúdos e práticas voltadas para a resolução dos problemas do meio ambiente, mediante um enfoque interdisciplinar, com a participação de cada indivíduo e da coletividade.

Meadows (1989) em uma publicação realizada pela UNEP/UNESCO traz uma série de definições para a EA. Nestas fica evidente duas visões: as duas primeiras entendendo a EA como um processo que integra sociedade e natureza, e as demais onde a natureza é vista separada da sociedade, a qual cabe zelar e proteger a primeira:

1. é um aprendizado do gerenciamento e do melhoramento das relações entre sociedade e ambiente, visando à sustentabilidade do planeta;
2. prepara o ser humano para sua vida enquanto agente participante da biosfera;
3. propõe o emprego de novas tecnologias que com o aumento da produtividade e decisões acertadas, evitem os desastres e danos à natureza;

4. enfatiza a compreensão da totalidade dos sistemas ambientais para que se possa saber apreciar e lidar com os mesmos;
5. ensina a olhar o quadro global que envolve um problema ambiental, observar sua história, seus valores, percepções, fatores econômicos e tecnológicos, os processos que o causam, bem como sugerir ações para saná-lo.

A comissão interministerial para preparação da Rio-92 apresentou a EA como um processo que, na busca da utilização sustentada do meio ambiente, para satisfação material e espiritual da sociedade, deve incorporar a dimensão socioeconômica, política, cultural e histórica, devendo considerar as condições e o estágio de cada país, região e comunidade sob uma perspectiva holística.

A PNMA (Política Nacional do Meio Ambiente) define a EA como um conjunto de processos a partir dos quais os indivíduos e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências que permita capacitá-los para participação na ativa na defesa do meio ambiente. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (1996) – entende a EA como um processo pedagógico, direcionado para o desenvolvimento de uma postura crítica por parte da coletividade, sobre as questões ambientais.

Leff (2006) entende a EA como promotora de novas atitudes nos sujeitos sociais e novas decisões da sociedade, guiadas pelos princípios da sustentabilidade ecológica e da valorização da diversidade cultural. Neste processo a EA implica em educar para formar um pensamento crítico, reflexivo, capaz de analisar as complexas relações da realidade natural e social, para atuar no ambiente dentro de uma perspectiva global, mas diferenciada pelas diversas condições naturais e culturais que a definem. Dias (2004) argumenta na mesma direção, vendo a EA como um processo por meio do qual as pessoas aprendem como funciona o ambiente, como dependem dele, como o afetam e como podem promover a sua sustentabilidade. Dentro desta linha pode-se incluir também Santos e Sato (2006) e Seiffert (2007).

Outros autores explicitam mais o caráter revolucionário da EA como instrumento de alteração do atual MDE, que segundo Loreiro (2006) remete à práxis social e ao processo de reflexão sobre a vida e a natureza, contribui com a transformação do modo como nos inserimos no mundo; ou conforme Reigota (2004) como uma educação política, que reivindica e prepara os cidadãos para exigir justiça social, cidadania nacional e planetária, autogestão e ética nas relações sociais e com a natureza. Minimi apud Dias (2006) acrescenta à EA o objetivo de eliminação da pobreza e do consumismo exagerado na busca de melhor qualidade de vida.

3.4 Fundamentos da EA

As finalidades e objetivos maiores do processo da EA necessitam estarem fundamentados em princípios que possibilitem sua operacionalidade. Dias (2006) faz observações e críticas sobre a Conferência de Tbilisi, vislumbrando a proposta sistêmica da EA (Figura 1). Assim, o sistema da EA se organiza a partir de finalidades, objetivos e princípios básicos a seguir comentados, na visão do autor:

3.4.1 Princípios da EA

Para que a EA ocorra através de uma abordagem holística, isto é, observando o meio ambiente em sua totalidade, ou seja, em seus aspectos naturais e nos criados pelo homem, esta deve estar fundamentada nos seguintes princípios:

- estimular um processo educativo contínuo e permanente no ensino formal e informal;
- promover a multidisciplinaridade, de modo que o conteúdo de cada disciplina seja parte de uma perspectiva global;
- permitir que os educandos, ao serem informados das questões ambientais locais, nacionais e internacionais, se identifiquem com as condições ambientais de outras regiões geográficas;
- concentrar os educando nas questões ambientais atuais, dentro de uma perspectiva histórica dos problemas ambientais;
- valorizar a cooperação local, nacional e internacional na prevenção e resolução dos problemas ambientais;
- considerar claramente, nos planos de desenvolvimento e crescimento, os aspectos ambientais;
- procurar as causas concretas dos problemas ambientais;
- reafirmar a complexidade que envolve os problemas ambientais e a partir daí desenvolver o senso crítico e as habilidades necessárias para resolução de tais problemas;
- utilizar, dentro dos processos educativos, o maior número de métodos que permitam adquirir conhecimentos a respeito do meio ambiente, estimulando práticas e experiências pessoais do educando.

3.4.2 Objetivos da EA

Os objetivos da EA estão interligados, tendo como característica a possibilidade de iniciarmos por qualquer um, pois todos levam a todos. São eles:

- incentivar os indivíduos e a sociedade a tomarem consciência da necessidade de sensibilizarem-se para as questões do meio ambiente;
- permitir, através da experiência, a compreensão dos problemas que envolvem o meio ambiente;
- facilitar a mudança de comportamento no que diz respeito ao interesse de participar da proteção e melhoria do meio ambiente;
- estimular as habilidades das pessoas quanto à necessidade de identificar e resolver os problemas ambientais;
- criar possibilidades de participação dos indivíduos e grupos sociais nas tarefas que têm por objetivo resolver os problemas ambientais.

3.4.1 Finalidades da EA

Três pontos são fundamentais para o estabelecimento do processo de EA que envolve todos os conhecimentos e manifestações sociais.

- divulgar a compreensão da importância da interdependência econômica, social, política e ecológica (DIAS, 2006);
- permitir às pessoas a aquisição dos conhecimentos, o sentido dos valores, o interesse ativo e as atitudes necessárias para promoverem a proteção e a melhoria do meio ambiente (op. cit.);
- induzir nos indivíduos e na sociedade novas formas de conduta na relação com o meio ambiente.

A Figura 1 (DIAS, 2006) mostra, na forma de fluxo o contexto sistêmico que envolve a EA, e a relação sistêmica dos objetivos da EA e manutenção da qualidade de vida. Ela apresenta os componentes do sistema de implantação da EA e suas relações, no entanto deve se acrescentar o sentido de retroalimentação nas linhas de relações. Isto porque, a manutenção e melhoria da qualidade de vida incrementa o envolvimento em ações de EA, e o inverso, dificulta este envolvimento.

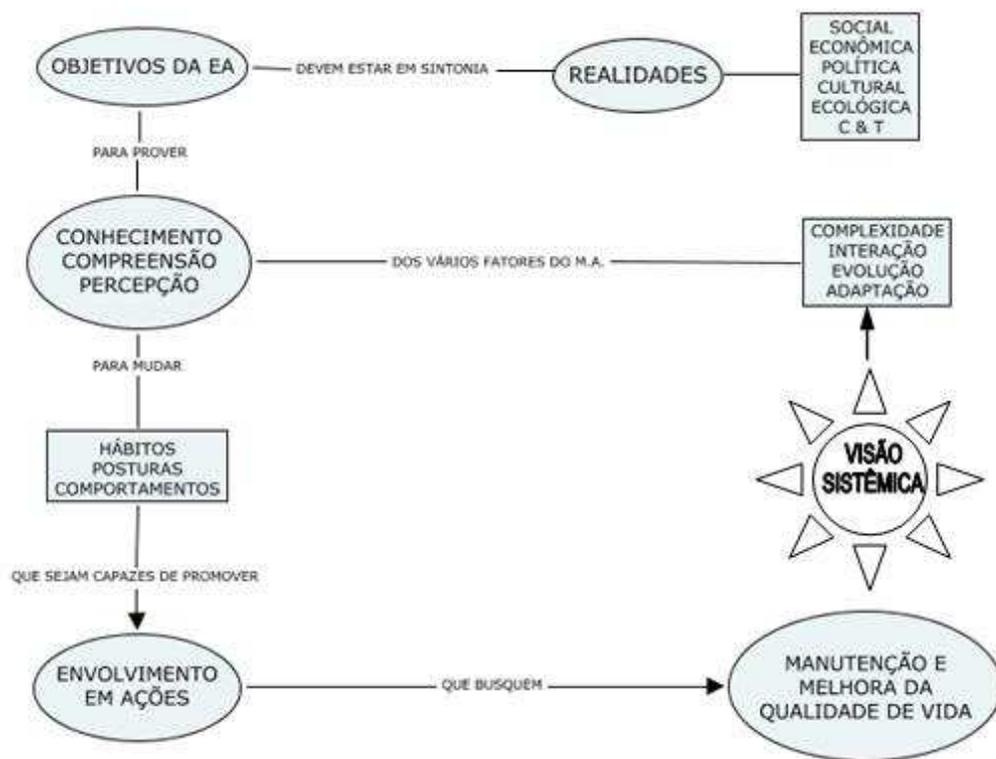


Figura 1: Fundamentação da atividade de EA e a importância da visão sistêmica.
Fonte: Dias (2006, p. 112)

3.4 Aspectos éticos da EA

Tendo claro que a sociedade globalizada apresenta o comportamento de consumidores, onde as coisas são devoradas e abandonadas num ritmo alucinante, fazendo com que dificilmente durem o suficiente para compensar, na forma de benefícios, os custos do processo vital utilizado para produzi-las (ARENDDT apud LOREIRO, 2004, p. 48).

Ignorar a complexidade de tal sociedade e tentar a solução dos problemas ambientais mediante caminhos compartimentados, somente éticos, somente educativos, somente científicos, é dar continuidade ao que existe e o que ameaça a própria vida.

Partindo da premissa filosófica de que a crise ambiental decorre de uma crise civilizatória que foi antecipada por uma crise ética, no sentido da ausência de um conjunto de valores, de uma tradição que possam balizar as ações humanas dentro de uma visão de maior interação com a natureza, pode-se concluir que a conduta ética passa a ser, entre os educadores, uma questão central, em que os modelos de desenvolvimento sustentáveis contenham valores que reafirmem a indissociabilidade entre o social, o ambiental e o econômico.

Logo, cabe à EA a responsabilidade de construir uma nova ética que, na visão de Loureiro (2004), possa ser entendida como ecológica e amparada pelas situações descritas a seguir:

- o educador ambiental, ao programar processos interdisciplinares e ao trabalhar com temas geradores, não pode isolá-los da realidade complexa que os forma;

- os educadores ambientais devem saber se posicionar com a devida autonomia política e reflexiva, diante de possibilidades de realizarem projetos de EA por meio de empresas, cujos impactos sobre a dinâmica de sistemas são relevantes;
- o educador ambiental deve trabalhar efetivamente a EA, para que gere processos conscientes de ação política vinculados a modos de organização produtiva não capitalista e atitude individual coerente, redefinindo o conjunto das relações sociais da natureza.

É dentro desse cenário que o desafio da EA, em sua dimensão ética, está a buscar a igualdade como condição de afirmação das diferenças no processo de definição de valores que sustentam uma perspectiva ambientalista da sociedade. Isto pressupõe desvelar a realidade em sua complexidade, pensar a utopia mediatizada pelas condições objetivas e históricas, agindo com a consciência de que se faz necessário reconstruir a própria consciência para modificarmos a realidade em que nos encontramos (LOREIRO, 2004, p. 52).

Para que sejam entendidos os aspectos éticos da EA precisa-se da conscientização de que a crise ambiental atual não está apenas na quantidade de pessoas que necessitam consumir recursos naturais para vestir, comer e morar, mas também no excessivo consumo desses recursos por uma pequena parte da humanidade – ao que estão associados o desperdício e a produção de produtos inúteis e nefastos à qualidade da vida humana. Então, não se trata apenas de garantir a preservação de determinadas espécies de animais e vegetais e dos recursos naturais; segundo Reigota (2004, p.10), “o que deve ser considerado prioritariamente são as relações econômicas e culturais entre a humanidade e a natureza e entre os homens”.

Na visão de Reigota (2004), a EA deve ser orientada para a comunidade; o cidadão deve participar da resolução dos problemas, não com a pretensão de por si só resolver os complexos problemas ambientais, mas influir decisivamente sobre isso com uma proposta de atuação que se traduz pelo jargão ambientalista: “Pensamento global e ação local, ação global e pensamento local”.

Portanto, nada mais oportuno que o debate sobre a formulação e aplicação de conhecimentos e práticas em EA, ocorra na esfera das Universidades e Empresa. Assim, a EA deve ser entendida como uma educação política que prepara o cidadão para o exercício da justiça social, cidadania nacional e mundial, autogestão e aplicação dos aspectos éticos nas relações sociais e com o meio ambiente. É uma educação política que incentiva a análise do “por que fazer” em vez do “como fazer”, tendo como proposta, neste momento histórico de grandes mudanças, firmar-se como uma educação que, ao questionar as questões políticas, torna-se por princípio criativa, crítica e inovadora, dentro de um contexto onde o homem, ao se

distanciar da natureza, torna-se mero expectador e explorador dessa mesma natureza, onde as questões éticas e sociais quase nunca estão presentes.

4 EA NA UNIVERSIDADE E EMPRESA

Universidade e Empresa são partes de um mesmo sistema com a função de produzir bens e conhecimento, onde uma promove o crescimento da outra. Assim ambas são responsáveis pela formação de profissionais capacitados a produção de bens com qualidade e sustentabilidade ambiental. A inclusão da variável ambiental, tanto como da variável técnica, social e econômica são, hoje, indispensáveis para a produção e aplicação do conhecimento. Como já mencionado, na visão de Santos e Sato (2006) é necessário adotar novos modelos de educação com uma formação adequada ao enfrentamento da crise planetária.

4.1 EA na Universidade

Embora o tema ambiental ganhe espaço na universidade, esta ainda conserva sua estrutura histórica de forma departamentalizada, onde a multi e a interdisciplinaridade entre áreas do conhecimento é pouco praticada, principalmente no que se refere à estrutura dos conteúdos disciplinares, trabalhados de modo fragmentado e isolado de um contexto sistêmico. Perde-se, assim, a capacidade de pensar os problemas concretos, afastando-se cada vez mais da realidade e de suas constantes transformações.

Entretanto, apesar dessa compartimentalização do saber, a introdução da EA na universidade avança e serve como eixo norteador de algumas disciplinas dos currículos, permitindo que, professores e alunos desenvolvam valores, conceitos e uma postura crítica e participativa no que diz respeito aos problemas ambientais.

De acordo com Novo (apud GUIMARÃES; TOMAZELO, 2003), a EA universitária coloca-se hoje de forma prioritária, com o objetivo de revisar os modelos éticos, científicos e tecnológicos que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente, a fim de contribuir com a reorientação das políticas de investigação e desenvolvimento, utilizando modelos baseados na sustentabilidade.

Tais propostas são incentivadas pela Lei 9.795, que, no artigo 11, parágrafo único, citando a EA, diz que “professores em atividade devem receber formação complementar em sua área de atuação, com o propósito de atender adequadamente ao cumprimento dos princípios e objetivos da Política Nacional de Educação Ambiental”. Não sendo lógico que se exija de profissionais atitudes que considerem essa complexidade, se eles não forem assim formados.

Por exemplo, citando o caso de um engenheiro, como exigir deste uma preocupação com o uso de recursos naturais, planejamento ecológico, impacto ambiental local e global, se os valores considerados pela sociedade e ressaltados no ensino formal e não-formal estão assentados na relação custo/benefício no que diz respeito aos aspectos econômicos?

Morin entende que a implantação de tal processo educacional passa por uma reforma da universidade, que exigirá a adoção de um novo paradigma científico:

A reforma do pensamento exige uma reforma da universidade. Essa reforma incluiria uma reorganização geral para instauração de faculdades, departamentos ou institutos destinados às ciências que já realizaram uma união multidisciplinar em torno de um núcleo organizado sistêmico (Ecologia, Ciências da Terra, Cosmologia). A ecologia científica, as Ciências da Terra, a Cosmologia, insistentemente, são efetivamente ciências que têm por objeto não uma área ou setor, mas um setor complexo: o ecossistema e, mais amplamente, a biosfera. (MORIN, 2002, p. 23)

No pensamento complexo de Morin, a Terra deve ser vista de forma integrada, cabendo à EA a discussão sistêmica e complexa dos problemas através da interdisciplinaridade.

Leff (2006) entende que a educação para o desenvolvimento exige novas orientações e conteúdos; novas práticas pedagógicas, nas quais se plasmem as relações de produção do conhecimento e os processos de circulação, transmissão do saber ambiental.

Garcia e Vergara (2000) recomendam alguns conceitos que podem ser trabalhados dentro da prática educativa adotada no ensino superior:

- implicações socioeconômicas e ideológicas da sustentabilidade;
- energia e entropia;
- sistemas complexos;
- fatores limitantes do crescimento;
- limitação da capacidade de recursos e impactos ambientais;
- princípios operativos da sustentabilidade;
- capital natural e capital humano;
- lei da oferta e da procura;
- valorização da natureza;
- impossibilidade de um crescimento contínuo.

Nesse sentido, Morin (2003) destaca três desafios que o ensino deverá enfrentar: o global, a complexidade e a expansão descontrolada do saber.

Uma possível estratégia para trabalhar a interdisciplinaridade embasada na pedagogia freireana seria, segundo Hogan (1995), ecologizar as disciplinas, primeiro abrindo espaços nos

currículos para a temática ambiental, depois criar vínculos informais com outras disciplinas, e finalmente, como meta maior, promover a reformulação das disciplinas.

Para enfrentar tais desafios, todos precisam estar conscientes de que a cultura está partida em blocos: a humanística (de natureza genérica) e a cultura fragmentada, a qual acarreta grandes descobertas, mas não uma reflexão sobre o destino humano e sobre o futuro da ciência. Para corrigir esse, viés faz-se necessário um pensamento sistêmico que aceite, através da reforma do pensamento, a complementaridade.

A implementação da EA e, conseqüentemente, da interdisciplinaridade, exige várias possibilidades que passam por uma prática pedagógica diferente da atual *educação bancária*, a qual Paulo Freire define como uma educação tecnocrática e conservadora, que por reproduzir a sociedade capitalista, impossibilita a superação das contradições nas relações sociais vigentes.

Mas há o conflito, de como, nós, professores especialistas, ministrando conteúdos especializados construiremos conteúdos e práticas com vínculos entre nós? Nesse contexto, a EA encontra-se desejada por todos, mas sem conseguir efetivamente se institucionalizar, sendo inclusive acusada de ter boas teorias e más estratégias de divulgação. A EA deve aprofundar sua ação, encontrando uma prática educativa que incorpore novos conceitos, trabalhando com propostas abertas em um processo de experimentação, conseguindo assim, novos aliados que incentivem seus objetivos na busca das novas realidades.

4.2 A EA na empresa

A partir da Eco-92 chegou-se a um consenso definido por Nogueira (2009) como o grande desafio ambiental do desenvolvimento econômico, que implica no encaminhamento de ações que permitam uma melhor conscientização ambiental do cidadão, a partir de um intenso trabalho de educação, envolvendo a reformulação dos valores éticos e morais pessoais e coletivos, através da EA formal e não-formal, pela continuidade da vida na Terra.

Verifica-se a partir desse momento uma busca de conciliação de interesses anteriormente conflitivos no modelo capitalista: o acúmulo de capital e a preservação do meio ambiente. Esta pressão da sociedade tem levado as nações a intensificarem as medidas reguladoras de controle e restrição ao uso dos recursos naturais, propondo o estabelecimento de padrões e medidas econômicas que propõem a internalização dos custos ambientais e o uso racional do meio ambiente. A Agenda 21 e as exigências de mercado embasadas na ISO 14000 passam a incentivar as empresas a se organizarem para cumprir as novas medidas legais e incorporar a

gestão ambiental; a relação entre o homem e o meio ambiente passa a ter uma dimensão política presente nas decisões relativas ao uso e propriedade dos recursos naturais.

Nogueira (2007) ressalta a importância de analisar criticamente o papel da EA no meio empresarial privado, no que diz respeito a ações fragmentadas e descontínuas, mais voltadas para o *marketing verde*, onde a EA se torna também um elemento de venda, restrita ao foco da tecnologia ambiental e de segurança, importantes, mas não completas na visão sistêmica.

Segundo Asmus (2002) os trabalhadores, os gestores e a população em geral são, ao mesmo tempo, vítimas e agentes de impacto ambiental. Pela falta de preparo e por não disporem de informações adequadas para o desenvolvimento de suas atividades são potenciais responsáveis por impactos ambientais, sofrendo também, de forma direta e indireta, a ação desses impactos – de forma direta, por estarem expostos a estes, e de forma indireta, na medida em que tais impactos representam perdas, tanto para o sistema produtivo quanto para o ambiente do qual dependem e fazem parte.

4.3 EA e o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) Empresarial

A EA é, portanto, vista como instrumento determinante para a gestão ambiental de forma sistêmica, promovendo a abordagem de sustentabilidade nas organizações, de ensino e empresariais.

Entretanto, a prática de associar a EA e a interdisciplinaridade aos conteúdos universitários e ao treinamento organizacional é o grande desafio, e primeiro passo para incorporar currículos e processos industriais ou serviços ambientalmente aceitáveis. A ideia de crescimento econômico deve evoluir para a ideia de desenvolvimento sustentável, extrapolando a abordagem além do espaço físico da organização e interligando problemas ecológicos à formação do cidadão, através de um processo educativo.

4.3.1 O processo pedagógico na Educação Ambiental na Gestão Ambiental

Entende Ruscheinsky et al. (2007), que a partir da inserção da EA ocorrerá a transformação do treinamento adestrador de recursos humanos, para uma realidade de capacitação de pessoas que trabalham, onde o processo produtivo se tornará economicamente viável, ambientalmente correto e socialmente justo. Cabe ressaltar ainda, nesse contexto, a existência de dois tipos de postura para implementação do gerenciamento ambiental (CALLENBACH et al. apud RUSCHEINSKY et al., 2007, p. 145):

1. a administração caracterizada como defensiva e reativa, buscando observar leis e melhorar a imagem da empresa, onde: as pessoas são vistas como bem de

produção e os pressupostos que levam em conta a capacitação de adultos utilizarem técnicas pedagógicas errôneas e um treinamento adestrador, limitado ao saber-fazer e o não saber pensar; enquanto a natureza é transformada em capital natural, e as matérias-primas brutas naturais, ao serem transformadas em bens de consumo, são utilizadas como parte do mercado de trocas e do sistema de preços.

2. a administração ecológica traz uma proposta ativa e criativa, que substitui o crescimento econômico pela ideia de sustentabilidade ecológica. A partir dessa cultura empresarial, seu gerenciamento poderá minimizar seu impacto ambiental e social e tornar todas as suas operações tão ecologicamente corretas quanto possível.

Ao tratarmos a capacitação ambiental de adultos trabalhadores, é importante ressaltar duas questões: esclarecer-lhes o que são recursos humanos e o que são recursos naturais. Os recursos naturais constituem a base sobre a qual se exercem pressões e as atividades dos demais recursos. A sua disponibilidade depende não só dos seus níveis e das dimensões de sua ocorrência, mas também da interação com os demais fatores, principalmente o tecnológico. É importante conscientizar o educando de que existem condições que expandem a oferta de tais recursos (estágio de conhecimento humano e uso de tecnologias de extração, renovação, reposição e reciclagem), mas também há condições que restringem a ação humana sobre os recursos naturais (níveis de exaustão das reservas naturais, ameaça de extinção de espécies, consciência preservacionista, restrições legais) (ROSSETI, apud RUSCHEINSKY et al., 2007).

Ruscheinsky et al. (2007) identifica essa visão econômica das sociedades modernas como decorrente da teoria do capital, que leva a uma visão reducionista da educação e ensino, defendendo uma ideia equivocada de que quanto maior for a qualificação da mão-de-obra, maior será a produtividade, maior o desenvolvimento e conseqüentemente, menos desigualdade social. Este postulado falha uma vez que a escola não é universalizada, determinando o seguinte processo de causa e efeito: “A educação gera capital humano, que gera crescimento e poder econômico, que gera o não acesso à educação pelos pobres” (RUSCHEINSKY et al., 2007, p.147). Tal sistema educacional, vigente, é mantenedor das diferenças sociais, pois tem acesso a um bom sistema educacional quem tem recursos. Enfim, a desigualdade social determina a desigualdade escolar, e a desigualdade escolar deforma a social. Para Ruscheinsky et al. (2007), os conceitos de recursos humanos e ambientais envolvem uma dupla exploração, ou seja, “aquele em que o homem explora o seu semelhante e aquele em que a natureza é explorada”.

A EA sendo instrumento de gestão indispensável deve também pensar sua prática pedagógica, que incorpore a sustentabilidade no processo de aprendizagem, frente aos métodos de formação instrumentalista, fragmentária, imediatista e interesseira.

As atividades podem se tornar um processo educativo caso venha a ser inserida a EA aos métodos de treinamento, seguindo a recomendação n.º 15 da Conferência de Tbilisi, que considera o meio de trabalho como meio natural de aprendizagem de grande parte da população adulta, sendo, portanto, um ponto de partida para a EA.

Como ensina Paulo Freire, estudar é assumir uma atitude séria diante de um problema, em que o crescimento acontece com o desenvolvimento da capacidade de pensar. É importante ressaltar que, sem a capacidade de pensar, a pessoa se torna domesticada e conseqüentemente desmotivada. Logo, fica claro que a vontade de aprender é fundamental num processo de educação e treinamento, e para isso o líder deverá despertar essa vontade nos seus liderados. O resultado obtido nesse processo de educação é o crescimento das pessoas e a maturidade do trabalho em equipe.

4.3.2 Aspectos motivacionais da EA

A primeira motivação, de empresas e empresários, tem sido a razão econômica, condicionada por exigências de financiamentos internacionais e postura dos países dominantes. Mas a EA deve ser abrangente a empregadores e empregados. Segundo Seiffert (2007), a teoria motivacional de Maslow ou a teoria da Auto-Atualização, fornece interessantes subsídios para que se possa analisar como o indivíduo necessita estar motivado para a conservação ambiental, levando a compreensão de si, como ser humano e de suas necessidades.

Segundo FADIMAN et al (1986, p.262), a Auto-Atualização de um homem estaria associada ao “uso e a exploração plena de talentos, capacidades e potencialidades” as quais, funcionam segundo uma hierarquia naturalmente predefinida, conforme a visão de Abraham Maslow (1908-1970). Menciona que Maslow, dentro da sua visão humanística, acreditava no potencial de auto-realização de todo o ser humano e considerava algumas condições para atingir tal desenvolvimento. Basicamente, entende que o ser humano necessita ser aceito e respeitado, bem como escutado de forma empática, de modo que seu interlocutor apresente a capacidade de se colocar no seu lugar. Para tanto segundo o autor, a satisfação de suas necessidades básicas leva o indivíduo a atingir a Auto-Atualização e conseqüentemente a saúde psicológica para obter motivação necessária para pensar de modo holístico, capazes de transcender as categorias do passado, presente e futuro, bem e mal, e perceber a unidade sob a complexidade e contradições da vida (FADIMAN et al., 1986).

Segundo Maslow, a hierarquia de necessidades básicas é:

- necessidades fisiológicas (fome, sono e assim por diante);
- necessidades de segurança (estabilidade, ordem);
- necessidades de amor e pertinência (família, amizade);
- necessidades de estima (auto-respeito, aprovação);
- necessidades de auto-realização (desenvolvimento de capacidades).

A partir de certo bem estar social, econômico e psicológico, o indivíduo torna-se mais sensível a uma melhoria da qualidade do meio ambiente, fato este que teria incentivado a introdução de inovações institucionais e organizacionais para corrigir as falhas de mercado decorrente do caráter público da maior parte dos serviços ambientais. Assim, uma vez que um nível de necessidade é atingido, deixa de ser um fator motivador e o indivíduo busca atualizar automaticamente seu objetivo para um nível superior.

5 CONSIDERAÇÕES

A crise ambiental requer soluções educacionais que se configurem em mudanças de hábitos, valores e atitudes. Discussões sobre o meio ambiente e sustentabilidade nos direcionam a formar profissionais que compreendam e, principalmente, tenham atitudes proativas nesta discussão.

O problema e a crise ambiental já possuem conhecimento e proposições de soluções consolidadas e teoricamente aceitas, através do estabelecimento de políticas de meio ambiente, de acordos e posicionamentos internacionais.

A EA se apresenta como o instrumento necessário para que o discurso e as medidas propostas para alcançarmos o desenvolvimento sustentável sejam conscientemente praticadas. É a matriz ou ferramenta básica pela qual o processo de gestão ambiental sistêmica possa ser tratado ou operacionalizado.

A EA encontra-se ainda desvinculada dos processos de gestão ambiental, sendo tratada como um processo em si, e isolado, ao invés de se apresentar através de seu caráter interdisciplinar e de valor fundamental a todas as áreas do conhecimento.

Entende-se a urgência da EA ser discutida no ambiente da universidade para que seja adotada de forma transversal a todo o conjunto de disciplinas, em especial nos cursos técnicos como são as engenharias. A integração do tema ambiental de forma transversal e interdisciplinar ao

conjunto das disciplinas de formação universitária, implicará que o tema ambiental seja melhor elaborado e difundido no ambiente empresarial.

Certamente esta postura implicará em ações e treinamentos de EA, que abandonem a conduta adestradora para um aprendizado ecológico onde a sustentabilidade ambiental e social seja vislumbrada.

A motivação para esta atitude holística da EA pode ser obtida em algumas empresas, universidades e até regiões e nações, mas será possível em um mundo onde a injustiça social, em todos os seus drásticos matizes, e o Modelo de Desenvolvimento Econômico do consumo crescente ainda estejam presentes?

REFERÊNCIAS

- ASMUS, Milton L.; KITZMAN, Dione I. S. Do treinamento à capacitação: a inserção da educação ambiental no setor produtivo. In: RUSCHEINSKY, Aloisio. **Educação Ambiental: abordagens múltiplas**. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- DIAS, Genebaldo Freire. **Educação ambiental: princípios e práticas**. São Paulo: Gaia, 2006.
- FADIMAN J. R. Frager. **Teorias da personalidade**. São Paulo: Ed. Harbra, 1986.
- FREIRE, Paulo. **Aprendendo com a própria história**. Rio de Janeiro. Ed. Paz e Terra, 1987.
- _____. **Pedagogia da esperança**. Rio de Janeiro. Ed. Paz e Terra, 1992.
- GARCÍA, M. L.; VERGARA, J.M.R. La Evolución del Concepto de Sostenibilidad y su Introducción en la Enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, n.18, v. 3, 2000.
- GUIMARÃES, Simone Sendin Moreira; TOMAZELLO, Maria Guiomar Carneiro. **A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade**. In: 26ª REUNIÃO ANUAL DA ANPED, Poços de Calda, 2003.
- HOGAN, D. J. **Considerações sobre interdisciplinaridade**. Campinas: Unicamp, 1995.
- LEFF, Enrique. **Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.
- LOREIRO, Carlos F.B. **Trajetória e fundamentos da educação ambiental**. São Paulo: Ed. Cortez, 2006.
- MEADOWS, D. H. **Harvesting onse hundredfold**. UNEP/UNESCO, 1989
- MORIN, E. **Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. São paulo: Cortez Editora, 2002.
- _____. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São paulo: Cortez Editora, 2003.
- NOGUEIRA, Marinez G. Ambiente e desenvolvimento sustentável: Reflexão sobre educação ambiental no âmbito da gestão ambiental empresarial, **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental da FURG**. Rio Grande, Ed. da FURG, v. 12, 2009.
- REIGOTA, M. **O que é educação ambiental**. São Paulo: Ed. Brasiliense, 2004.
- RUSCHEINSKY, A. **Educação ambiental: abordagens múltiplas**. Porto Alegre: Ed. Armed, 2007.
- SANTOS, José Eduardo dos; SATO, Michele. **A contribuição da educação ambiental à esperança de Pandora**. São Carlos: Rima, 2006.
- SEIFEERT, Mari E. B. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de e educação ambiental**. São Paulo: Atlas, 2007.

ANEXO C – Comentários sobre a Lei n.º 6938 em Seiffert (2007)

No artigo 4º a PNMA apresenta os seus demais objetivos:

- a) ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público;
- b) racionalização do uso do solo, do sub-solo, da água e do ar;
- c) planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais;
- d) proteção dos ecossistemas, com preservação de áreas representativas;
- e) controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- f) incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- g) acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- h) recuperação de áreas degradadas;
- i) educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do consumidor.

No que diz respeito à implantação dos instrumentos de GAS a PNMA no seu artigo 9º estabelece:

- 1- zoneamento ambiental;
- 2 - criação de áreas de proteção ambiental (preservação e conservação), para espaços de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas pelo Poder Público municipal, estadual e federal;
- 3 - licenciamento e revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras;
- 4 - avaliação de impactos ambientais;
- 5 - estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- 6- cadastro Técnico Federal de Atividades potencialmente poluidoras e/ou hostilizadoras dos recursos naturais (IBAMA);
- 7- Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- 8 - penalidades disciplinares ou compensatórias em caso de não cumprimento das medidas necessárias á preservação ou correção da degradação ambiental;
- 9 - instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo IBAMA;
- 10- Sistema Nacional de informações Sobre o Meio Ambiente;

11- garantia da prestação de informações relativas ao meio ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistente;

12- instrumentos econômicos como concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros.

A PNMA buscou ainda o amparo dos Estados na gestão ambiental ao criar o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no artigo 6º, inciso II, e artigo 8º, cuja finalidade é assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar no âmbito de sua competência sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial a qualidade de vida.

Compete ainda ao CONAMA, estabelecer normas e padrões gerais que poderá ser suplementados pelos Estados, de acordo com a Constituição Federal no seu artigo 24.

Entre os instrumentos definidos pelo PNMA e que deverão analisar a situação dos impactos advindos da ampliação em 350 MW na potencia da Usina Presidente Médice em Candiota, o Zoneamento Ambiental passa a ser é um instrumento pontual e regional muito importante, já que serve como base para outros instrumentos de gestão ambiental menos importante como a gestão dos recursos hídricos na abrangência macro e licenciamento ambiental e avaliação de impactos ambientais na abrangência micro.

ANEXO D – Diretrizes gerais e específicas para o zoneamento ambiental – Decreto n.º 4297/2002 (SEIFFERT, 2007)

I – atividades adequadas a cada zona, de acordo com sua fragilidade ecológica, capacidade de suporte ambiental e potencialidades;

II – necessidades de proteção ambiental e conservação das águas, do solo, subsolo, da fauna e flora e demais recursos naturais renováveis e não-renováveis;

III – definição de áreas para unidades de conservação, de proteção integral e de uso sustentável;

IV – critérios para orientar as atividades madeireira e não-madeireira, agrícola, pecuária, pesqueira e de piscicultura, de urbanização, de industrialização, de mineração e de outras opções de uso dos recursos ambientais;

V – medidas destinadas a promover, de forma ordenada e integrada, o desenvolvimento ecológico e econômico sustentável do setor rural, com o objetivo de melhorar a convivência entre a população e os recursos ambientais, inclusive com a previsão de diretrizes para implantação de infraestruturas de fomento às atividades econômicas;

VI - medidas de controle e ajustamento de planos de zoneamento de atividades econômicas e sociais resultantes da iniciativa dos municípios, visando a compartilhar, no interesse da proteção ambiental, usos conflitantes em espaços municipais contíguos, e a integrar iniciativas regionais amplas e não restritas às cidades;

VII – planos, programas e projetos dos governos federal, estadual e municipal, bem como suas respectivas fontes de recursos, com vistas a viabilizar as atividades apontadas como adequadas a cada zona.

ANEXO E – Linhas gerais e lógica do processo de AIA desenvolvido para o escopo do EIA-RIMA (BRAGA, 2005)

O Brasil definiu a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6398, de 31/8/1981), que dispõe sobre a Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA) e o Licenciamento de Atividades Efetiva ou Potencialmente Poluidoras. Com esse objetivo, através da Resolução nº 001/86 do CONAMA, ficou definido como deve ser feita a AIA, e para tanto foram criadas duas novas figuras: o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). O documento definiu em que consiste cada um deles e estabeleceu a relação de atividades para as quais estes são exigidos.

O licenciamento para fins do exercício dessas atividades e de outras pode ser estabelecido pela autoridade ambiental local e desde então passou a depender da prévia aprovação do EIA/RIMA, mediante procedimentos regulamentados, resumidos a seguir:

O EIA, segundo o CONAMA (1986), é um relatório técnico elaborado por equipe multidisciplinar independente do empreendedor, profissional e tecnicamente habilitada para analisar os aspectos físico, biológico e socioeconômico do ambiente. Além de atender os princípios e objetivos da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, o EIA deve obedecer às seguintes diretrizes gerais:

- I- contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não-execução do projeto;
- II- identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e de operação;
- III- definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza; e
- IV- considerar os planos e programas governamentais propostos e em implantação, na área de influência do projeto, e sua compatibilidade (inclusive diretrizes específicas e peculiares ao projeto, adicionais, fixadas pelo competente órgão estadual ou, quando couber, municipal).

Como conteúdo mínimo, o EIA deverá apresentar:

- I- informações gerais do empreendedor (identificação, histórico, localização etc.);
- II- caracterização do empreendimento (objetivos, porte, etapas de implantação etc.);
- III- área de influência do empreendimento;

- IV- diagnóstico ambiental da área de influência – descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existentes com os meios físico, biológico e socioeconômico;
- V- análise dos impactos e empreendimentos e de suas alternativas – identificação, previsão de magnitude e importância (permanência, reversibilidade, comutatividade, sinergismo, distribuição social, dos custos e benefícios etc.) dos impactos relevantes prováveis;
- VI- definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, e
- VII- definição de programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos e das medidas mitigadoras através dos fatores e parâmetros ambientais de interesse.

O RIMA, segundo o CONAMA (1986), é um relatório resumo dos estudos do EIA, em linguagem objetiva e acessível para não-técnicos, contendo, no mínimo:

- I- objetivos e justificativas do empreendimento;
- II- descrição do empreendimento e das alternativas locais e tecnologias existentes (área de influência, matéria-prima, energia, processo, efluentes, resíduos etc.);
- III- síntese dos resultados do diagnóstico ambiental;
- IV- descrição dos impactos prováveis;
- V- caracterização da qualidade ambiental;
- VI- efeitos esperados das medidas mitigadoras;
- VII- programa de acompanhamento e monitoramento, e conclusões e recomendações da alternativa mais favorável.

ANEXO F – Análise resultante de um diagnóstico do desempenho ambiental da Usina Termelétrica de Candiota (TEIXEIRA et al., 2004)

Com a inauguração da IV etapa de ampliação da Usina Termelétrica de Candiota, várias ações estão sendo desenvolvidas a fim de observar a área de influência dos impactos ambientais causados pelo seu funcionamento.

Sabendo-se dos impactos que envolvem a produção de energia gerada da queima do carvão mineral da região, vários estudos ambientais foram e estão sendo feitos.

Os levantamentos de dados para os Estudos Ambientais em Candiota (TEIXEIRA, 2004) foram realizados no período de 1999 a 2002. Ao longo do período de amostragens e análises, foram realizados estudos que buscavam a eficiência nas atividades de campo e coleta de amostras realizadas pela FEPAM, PUCRS, UFRGS, CIENTEC, UNISINOS e CGTEE, por meio de técnicos, pesquisadores, professores e alunos de programas de pós-graduação, gerando um grande volume de estudos que foram publicados em artigos de revistas científicas, teses de doutorado, dissertações de mestrado, e divulgados em eventos técnicos e científicos.

Esta dissertação, com base nos dados apresentados na quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão em Candiota, RS (ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004) pode confrontar o modelo de STELLA (dinâmico) com o modelo Prognóstico Linear Tentativo proposto por Guerra (2000, apud ALVES; GUERRA; LELARGE, 2004).

A área do estudo foi delimitada por um círculo de 30 quilômetros de raio, centralizado em Candiota, núcleo urbano sede do município, o que permitiu avaliar os problemas ambientais advindos da poluição atmosférica e que poderão ser potencializados pela ampliação da usina – Fase III.

A região de Candiota situa-se no sudoeste do estado de Rio Grande do Sul, distante 380 km de Porto Alegre, abrangendo uma área de 6970km², e os municípios de Candiota, Hulha Negra, Pedras Altas, Pinheiro Machado, Bagé e Aceguá.

A bacia hidrográfica do arroio Candiota pertence à região hidrográfica do Litoral Sul e integra a bacia hidrográfica do curso superior do rio Jaguarão, pertencente à bacia da Lagoa Mirim, que delimita a fronteira do Brasil com o Uruguai na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul.

As cabeceiras do rio Jaguarão inserem-se na região de Candiota, sendo seus principais afluentes pela margem esquerda os arroios Jaguarão e Candiota e pela margem direita os arroios do Vime e Jaguarão Chico.

Os impactos ambientais associados às atividades de mineração e termoelétrica foram delimitados à bacia hidrográfica do arroio Candiota com área de influência potencial para investigação de 1.650km².

O mapeamento do uso e cobertura atual da terra e aplicações de técnicas da análise espacial nas bacias dos arroios Candiota e Jaguarão, notou-se que a sub-bacia do arroio Candiota sofre influência direta da exploração do carvão e a sub-bacia do arroio Jaguarão caracteriza-se como uma área com predominância agropecuária. Entretanto, a área alterada diretamente pela mineração é extensa (637ha). Independentemente do valor da área fisicamente impactada, foi verificado pelos estudos de contaminação do ambiente aquático e atmosférico que, junto a esses usos, ocorrem impactos químicos associados (DOBROVOLSKI, et al., 2004, p. 226).

A seguir apresenta-se alguns extratos retirados dos estudos coordenados por Teixeira (2004) que envolvem os meios biótico, físico e socioeconômico:

2.1 Ambiente Atmosférico

A caracterização química integrada dos estudos conclui que os aerossóis e partículas atmosféricas apresentaram concentrações de massa de 14µg/m⁻³, portanto inferiores aos padrões de qualidade do ar diário (150µg/m⁻³) e anual médio (50µg/m⁻³) constantes da legislação nacional vigente. Os grupos de elementos encontrados na região de Candiota, compreendem os elementos metálicos de S, Ni, Cu, e Zn nas partículas mais finas, e dos elementos Si, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, e Br nas partículas grossas (DOBROVOLSKI, et al., 2004, p. 222). No entanto estudos de impactos cumulativos, não foram realizados, e sim, relevantes neste tipo de empreendimento.

No estudo de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em aerossóis atmosféricos na região de Candiota, foram encontrados compostos provenientes da queima de carvão e madeira, ou seja, indeno(1,2,3-cd)pireno, fluoranteno, antraceno, benzo(g,h,i) perileno e benzo(a)antraceno. Comparando com a concentração média associada à queima de carvão e madeira de 0,08ngm⁻³ (LEISTER; BAKER, 1994), 0,23 ngm⁻³ (PARK et al., 2003), 0,24 ngm⁻³ (VASCONCELOS et al., 2003), na região estudada, a média foi de 0,30 ngm⁻³, indicando que a região sofre a influência desses compostos provenientes da termoelétrica (DOBROVOLSKI, et al., 2004, p. 223). A qualidade das precipitações e drenagem também foram integradas no artigo de Dobrovolski et al. (2004).

No ano da pesquisa, comparando-se com o cenário estadual, o município de Candiota assumia o primeiro lugar em emissões de material particulado (417.655t/ano) e o segundo lugar em emissões de SO₂ (32.466t/ano) decorrentes da queima de combustíveis.

Quanto à qualidade ácida das chuvas, os resultados evidenciaram o valor médio de pH variando entre 5,0 e 5,6 nas quatro estações, considerando valores inferiores a 5,65 para os dois tipos de amostradores da pesquisa (precipitação total – Bulk e precipitação úmida). Além do pH, na estação de Aceguá, do lado do Uruguai, as concentrações de sulfato (11,04), nitrato (7,5), flúor (5,79) e cloro (11,24) foram inferiores às determinadas por Zunchel et al. (2003) para sulfato (63,5), nitrato (13,9), flúor (10,8) e cloro (27,4).

2.2 Ambiente aquático

As águas da bacia do arroio Candiota são utilizadas para abastecimento industrial e doméstico, dessedentação de animais, irrigação e diluição de despejos; e as da bacia do arroio Jaguarão são usadas exclusivamente para as lavouras de arroz e dessedentação de animais. (CEEE/CIENTEC, 1989; CEEE, 1992, apud TEIXEIRA; FERRARO, 2004, p. 19). Os estudos no ambiente aquático superficial (qualidade da água, biota e sedimentos) se concentraram na sub-bacia do arroio Candiota e seus tributários Candioteira, afluente da margem esquerda, e o arroio Poacá, afluente da margem direita. No estudo da qualidade das águas superficiais, foram selecionados locais de amostragem próximos às fontes potencialmente poluidoras (mineração, efluente da termoelétrica).

Foram detectados no arroio Poacá valores baixos de pH causados pela drenagem ácida da mineração, proporcionando um aumento na disponibilidade potencial dos metais Mn, Co, Zn, Ni e Al. Chamam a atenção os valores da NH₄, tendo em vista que a concentração desse parâmetro em outras regiões do mundo com atividades envolvendo o carvão apresentam valores consideravelmente mais baixos. Tal concentração poderia ser originada, além da queima de biomassa, da grande concentração de criatórios de cavalos e de um quarentenário existentes próximo à estação de amostragem localizada em Aceguá. Os estudos das águas superficiais na região mostraram pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos suspensos, sulfatos e Fe²⁺ como parâmetros de contaminação aquática nas drenagens superficiais em vários pontos amostrados, próximos às áreas de mineração. A turbidez, os sólidos suspensos e a condutividade excederam os padrões constantes na classe 2 da Resolução CONAMA nº 20.

As rotas preferenciais dos fluxos superficiais definem os mecanismos erosivo-depositivos preponderantes e resultam da interação de diversos fatores bióticos, abióticos e

antrópicos. Nesse sentido, foram identificadas concentrações de Ni, Cu, Zn e Fe e Mn em sedimentos de vários pontos de controle. A consequência dessa maior disponibilidade de metais nas águas superficiais se evidencia pela variação de baixos índices de indivíduos bentônicos encontrados em vários pontos de controle, reforçada pelo fato de que das 19 espécies (poríferos, moluscos, crustáceos e peixes) identificadas, em alguns pontos de controle nenhuma foi encontrada, o que evidencia um forte impacto sobre a fauna aquática, com redução da riqueza específica, confirmando a existência de contaminação pelas atividades de processamento do carvão (DOBROVOLSKI, et al., 2004, p. 227).

2.3 Ambiente Socioeconômico

Os estudos socioeconômicos do uso do carvão mineral na região de Candiota mostram que o polo carbonífero contribui positivamente, na geração de empregos, comércio e serviços (externalidades positivas) e que a exploração e o uso do carvão contribuem para a degradação ambiental (externalidades negativas). A sociedade local, consultada através de questionário aplicado na região, tem percepção de que as externalidades positivas são maiores que a degradação ambiental. Entretanto, a análise dos dados de longevidade e mortalidade infantil permite afirmar que a saúde em Candiota é classificada, entre os 467 municípios existentes no estado do Rio Grande do Sul na época do estudo, em 418º lugar, indicando os dados que Candiota possui alta mortalidade infantil e baixa população de pessoas idosas (DROBOVSKI, et al., 2004, p. 227).

Mas o estudo ressalta que, apesar de a sociedade local ter a percepção de que as externalidades positivas (geração de empregos) são maiores que as externalidades negativas (degradação ambiental) geradas pelo pólo carbonífero, deve-se levar em conta que o passivo ambiental na região pela contaminação de ambientes atmosféricos, aquático (superficial e subterrâneo) e terrestre é significativo, podendo chegar a ultrapassar a capacidade de suporte dos ecossistemas da região. A recuperação desses ambientes é demorada e, mesmo que cessem as atividades relacionadas ao carvão, a sua utilização para outros usos estaria comprometida por um longo período, ou até comprometida definitivamente.

Considerando-se os dados socioeconômicos da região, utilizados por Dobrovski et al. (2004), o processo de desenvolvimento que ocorre na região não se dá nem mesmo em bases sustentáveis fracas, uma vez que os prejuízos ambientais não estão associados aos ganhos proporcionados nas áreas econômicas e sociais, já que o município na época estava em 55º lugar em ocupação de mão-de-obra, com 41% a mais que a média do estado. Ao considerar a

vitalidade econômica da época, relativa às condições do meio em gerar novos empreendimentos, bem como para dar longevidade às empresas locais, o município de Candiota ocupava o 348º lugar. Essa baixa classificação evidencia uma tendência à estagnação, que é característica de municípios que não oportunizam o surgimento de novos empreendimentos (DROBOVSKI et al., 2004, p. 227).