UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO

NOÇÕES E CONCEITOS SOBRE SISTEMAS COMPLEXOS NO ENSINO DE ECOLOGIA

EDER FAVRETTO

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA

NOÇÕES E CONCEITOS SOBRE SISTEMAS COMPLEXOS NO ENSINO DE ECOLOGIA

EDER FAVRETTO

Sob a Orientação do Professor
Luís Mauro Sampaio Magalhães

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências,** no Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Área de Concentração em Educação Agrícola.

Seropédica, RJ
Março de 2013

577
F277n
T

Favretto, Eder, 1984-
Noções e conceitos sobre sistemas complexos no ensino de ecologia / Eder Favretto - 2013.
111 f. : il.

Orientador: Luís Mauro Sampaio Magalhães.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Educação Agrícola.
Bibliografia: f. 92-97.

1. Ecologia - Teses. 2. Ecologia agrícola - Estudo e ensino - Teses. 3. Ensino médio - Teses. 4. Biologia - Teses. I. Magalhães, Luís Mauro Sampaio, 1956-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Educação Agrícola. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA

EDER FAVRETTO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Área de Concentração em Educação Agrícola.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 11/03/2013.

Luiz Mauro Sampaio Guimarães, Dr. UFRRJ

Lenicio Gonçalves, Dr. UFRRJ

Welington Kiffer de Freitas, Dr. FAETEC-RJ

AGRADECIMENTOS

Aos brasileiros que lutam pela educação pública como direito de todo cidadão.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro que, através do Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, abriu as portas para esse mestrado.

À equipe do PPGEA pela atenção, dedicação e acolhimento.

Aos gestores do IFC - Campus Rio do Sul por viabilizar a participação nas semanas de formação do programa.

Ao professor Luís Mauro Sampaio Magalhães pela orientação com seriedade, serenidade e autonomia na construção dos trabalhos.

Ao professor João Carlos Ruszczyk pelo apoio e suas relevantes considerações;

Ao professor João José Stupp pelas atentas correções;

Ao meu filho Arthur Gabriel Favretto pela compreensão e constante apoio, inclusive, com seus materiais bibliográficos.

À Deise Schaiane Erhardt pela compreensão, correções e considerações.

Aos meus pais: Moacir Favretto e Rosane Spader Favretto por ter me oportunizado a vida.

Nós vamos morrer, e isso nos torna afortunados.
A maioria das pessoas nunca vai morrer, porque nunca vai nascer. As pessoas potenciais que poderiam estar no meu lugar, mas que jamais verão a luz do dia, são mais numerosas que os grãos de areia da Arábia
(DAWKINS, 2000, p. 17)

contudo...

[...] o planeta não é humano, tampouco pertence aos seres humanos.
Nenhuma cultura humana, a despeito de sua inventividade, pode acabar com a vida neste planeta, mesmo que tentasse. [...] Os seres humanos não são o centro da vida, e nenhuma outra espécie o é. Os seres humanos não são sequer fundamentais à vida. Somos uma parte recente e em rápido desenvolvimento de uma gigantesca e antiga totalidade (MARGULIS, 2001, p. 113).

RESUMO

FAVRETTO, Eder. **Noções e conceitos sobre sistemas complexos no ensino de ecologia**. 2013. 111f. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

O termo ecologia surge em meados do século XIX, baseado nos estudos de história natural. Contudo, esta área do conhecimento começa a se desenvolver significativamente no início do século seguinte. O desafio da ecologia, enquanto ciência, está intimamente ligado à compreensão das relações entre os componentes vivos e não vivos. Ela propõe uma visão sintética e integradora, que diverge do caminhar histórico das demais ciências da natureza. As tentativas de abordagens fragmentadas e as divisões existentes entre plantas e animais, aplicadas a esta ciência, limitaram a busca por respostas sobre o funcionamento da natureza. Novos enfoques conceituais estão emergindo na ciência e possibilitando à ecologia um resgate de suas pretensões de construção do conhecimento através da síntese. Considerando este contexto, o presente trabalho aborda uma discussão sobre o ensino de ecologia frente à emergência de noções e conceitos sobre sistemas complexos nas ciências. Apresenta como principal objetivo a realização de uma análise da existência de noções e conceitos sobre sistemas complexos no ensino de ecologia. Os conceitos analisados foram: propriedades emergentes, termodinâmica do não equilíbrio, estruturas dissipativas, auto-organização, não linearidade, caos determinístico e atratores. Para este estudo, foram considerados três aspectos: os conteúdos referentes à ecologia, existentes nas oito obras didáticas de Biologia aprovadas pelo MEC em 2011; os manuais do professor presentes nos livros didáticos de Biologia MEC/SEB (2011); e treze docentes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul, que tiveram, durante sua formação acadêmica, disciplinas diretamente relacionadas à ecologia. Através de uma abordagem qualitativa, que contou com a elaboração de questionário, quadros de análise e tabelas, os dados foram coletados, tabulados e analisados. Constatou-se que: existem assuntos (tópicos) dentro dos conteúdos de ecologia dos livros didáticos de Biologia que permitem a inserção de noções e conceitos sobre sistemas complexos no ensino; os autores das obras didáticas pouco discutem sobre os conceitos em torno da complexidade no conteúdo pertinente ao discente; nos manuais do professor, esses conceitos aparecem de maneira sucinta, possibilitando ao professor uma base para discussão em sala de aula; os docentes consideram que o estudo da complexidade é de grande relevância para o ensino de ecologia. Ainda que o uso de noções e conceitos seja restrito nos objetos analisados, percebe-se que as novas discussões dentro da ciência estão contribuindo de maneira significativa para um resgate estrutural dentro da ecologia.

Palavras-chave: Ciências; Emergência; Natureza; Complexidade

ABSTRACT

FAVRETTO, Eder. **Notions and concepts of complex systems in the teaching of ecology.** 2013. 111p. Dissertation (Masters in Agricultural Education). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

The term ecology appears in the mid-nineteenth century, based on studies of natural history. However, this area of knowledge begins to develop significantly in the beginning of the next century. The challenge of ecology as a science is closely linked to an understanding of the relationship between the living and nonliving components. It proposes an integrative and synthetic vision, which differs from the history of other sciences of nature. Attempts to fragmented approaches and divisions between plants and animals limited the search for answers about the workings of nature applied to this science. New conceptual approaches are emerging in science and enabling Ecology a ransom of its claims of knowledge construction through synthesis. In considering this context, this paper presents a discussion on the teaching of ecology facing the emergence of notions and concepts about complex systems sciences. The main objective is an analysis of the existence of notions and concepts about complex systems in teaching ecology. The analyzed concepts were: emergent properties, thermodynamics of nonequilibrium, dissipative structures, self-organization, nonlinearity, deterministic chaos and attractors. For this study, we considered three aspects: content related to ecology in eight Biology textbooks approved by MEC in 2011; the teacher's manuals present in textbooks of biology from MEC / SEB (2011); and thirteen teachers of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul, who had disciplines directly related to Ecology during their academic time. The data were collected, tabulated and analyzed through a qualitative approach, which included a questionnaire, analysis of frames and tables. It was found that: there are issues (topics) within the content of Ecology in Biology textbooks, which allow the inclusion of notions and concepts on complex systems in education; the authors of textbooks don’t discuss enough the concepts involving the complexity of content relevant to students; in the teacher's manuals these concepts appear briefly, allowing the teacher a basis for discussion in the classroom; teachers consider that the study of complexity is important in teaching of ecology. Although the use of notions and concepts are restricted to the analyzed objects, it is clear that new discussions within science are contributing significantly to a structural rescue within Ecology.

Key words: Sciences, Emergency, Nature, Complexity

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

CEB	Câmara de Educação Básica;
DNA	Ácido Desoxirribonucleico;
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento Da Educação;
IFC	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense;
MEC	Ministério de Educação;
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais;
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio;
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático;
SAC	Sistema Adaptativo Complexo;
SEB	Secretaria de Educação Básica;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de formação profissional dos docentes que atuam, exclusivamente, no Ensino Técnico do IFC - Campus Rio do Sul (valor unitário e percentual).....49
Figura 2: Tabela de análise da existência de termos referentes as noções e conceitos sobre sistemas complexos nos conteúdos de ecologia das obras didáticas analisadas (exceto nos manuais do professor).....54
Figura 3: Categorização dos sessenta e dois termos (complexo(s), complexa(s) e complexidade) encontrados nas obras didáticas, conforme sua representatividade (valor unitário e percentual).....54
Figura 4: Categorização das noventa e cinco citações, contendo noções ou conceitos sobre sistemas complexos, encontradas nas obras didáticas (valor unitário e percentual).....70
Figura 5: Perfil dos treze docentes envolvidos na pesquisa, quanto à formação acadêmica (valor unitário).....84
Figura 6: Conceitos, em torno da ecologia e dos sistemas complexos, que os docentes indicaram haver estudado durante o ensino formal (valor unitário e percentual).....85
Figura 7: Docentes que indicaram conhecer algum livro didático (Ensino Médio) que discuta os termos citados no item 3 do questionário (valor unitário).....86
Figura 8: Disciplinas do Ensino Médio que foram consideradas pelos docentes como prioritárias ao aprendizado ecológico (valor unitário e percentual).....87
Figura 9: Docentes que acreditam que a ecologia pode ser estudada com base nos fundamentos dos sistemas complexos (valor unitário).....87
Figura 10: Docentes que consideram os conceitos sobre sistemas complexos básicos para o estudo da ecologia (valor unitário).....88
Figura 11: Conceitos que foram considerados pelos docentes como de maior relevância para o ensino de ecologia (valor unitário e percentual).....89
Figura 12: Docentes que estudaram as leis da termodinâmica (valor unitário).....90
Figura 13: Disciplinas onde os docentes afirmaram ter estudado sobre leis da termodinâmica durante a formação acadêmica (valor unitário e percentual).....90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 3
2.1 O Mundo Natural e a Ciência 3
2.1.1 Correntes de pensamento biológico 8
2.2 O diálogo entre bios (βιος) e oikos (οἶκος) 13
2.3 A ecologia na biologia do Ensino Médio 18
2.3.1 O livro didático de biologia e os conceitos ecológicos básicos no Ensino Médio 22
2.4 Os Sistemas Complexos e a Ecologia: Noções e Conceitos 26
2.4.1 Propriedades emergentes 29
2.4.2 Termodinâmica do não equilíbrio 30
2.4.3 Estruturas dissipativas 33
2.4.4 Auto-organização 35
2.4.5 Não linearidade 36
2.4.6 Caos determinístico 39
2.4.7 Atratores 41
2.5 Os Conceitos sobre Sistemas Complexos e a Realidade da Fragmentação dos Ecossistemas 42
3 MATERIAL E MÉTODOS 47
3.1 Livro Didático 47
3.2 Material Complementar - "Manual do professor" 48
3.3 Docentes do IFC - Campus Rio do Sul 49
3.3.1 O IFC - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul 50
3.4 Instrumentos de Coleta de Dados 50
3.4.1 Quadro individual destinado à coleta de dados dos livros didáticos e manuais do professor (Anexo B) 50
3.4.2 Tabela de identificação da presença ou ausência dos termos nos livros didáticos (Figura 2) 51
3.4.3 Questionário 51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53

4.1 Análise da Existência dos Termos sobre Sistemas Complexos nos Conteúdos de Ecologia dos Livros Didáticos de Biologia (MEC/SEB, 2011) 53
4.2 Análises Individuais das Noções e Conceitos Existentes nos Livros Didáticos de Biologia (Obras didáticas) 55
4.2.1 Livro A 55
4.2.2 Livro B 56
4.2.3 Livro C 58
4.2.4 Livro D 59
4.2.5 Livro E 60
4.2.6 Livro F 61
4.2.7 Livro G 62
4.2.8 Livro H 63
4.3 Análise Individual dos Materiais de Apoio ao Docente, Presentes nos Livros Didáticos do Professor ("Manual do professor") 65
4.3.1 Livro A - (Manual do professor) 65
4.3.2 Livro B - (Manual do professor) 65
4.3.3 Livro C - (Orientações para o professor) 66
4.3.4 Livro D - (Manual do professor) 66
4.3.5 Livro E - (Suplemento para o professor) 67
4.3.6 Livro F - (Manual do professor) 67
4.3.7 Livro G - (Manual do professor) 67
4.3.8 Livro H - (Manual do professor) 67
4.3.9 Síntese das análises individuais 68
4.4 Análise Geral de Noções sobre Sistemas Complexos Presente nos Livros Didáticos e Manuais do Professor 69
4.4.1 Hipótese de Gaia 70
4.4.2 Lebres e linces: o exemplo canadense de predação 75
4.4.3 A sucessão ecológica e as propriedades emergentes 79
4.4.4 A complexidade dos ecossistemas: estabilidade x diversidade 82
4.5 Análise dos Questionários Aplicados aos Docentes do IFC - Campus Rio do Sul .. 84
5 CONCLUSÕES 91
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92
7 ANEXOS 98
Anexo A - Estrutura dos livros didáticos de biologia 99

Anexo B - Quadro de análise individual (Obras didáticas e manuais do professor)... 104
Anexo C - Matrizes curriculares dos cursos: Técnico em Florestas, Técnico em Agropecuária e Técnico em Agroecologia - IFC - Campus Rio do Sul..... 106
Anexo D - Questionário aplicado aos docentes do IFC - Campus Rio do Sul..... 110

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos organismos vivos e suas relações com os componentes abióticos é objeto da ecologia. Essa dinâmica do mundo vivo é bastante complexa e, na grande maioria das vezes, não passível de compreensão através de estudos, exclusivamente, fragmentados. Novas ferramentas e métodos que possibilitam uma melhor compreensão da complexidade dos ecossistemas e da vida, estão emergindo na ciência. A ecologia vem discutindo e se apropriando destas técnicas e de novos conceitos que podemos agrupar numa área do saber chamada: Complexidade. Através da constante construção do conhecimento, é que biólogos, ecólogos e vários outros pesquisadores de diversas áreas, estão buscando redescobrir as dimensões do mundo vivo.

Não é somente pela ecologia que a humanidade busca respostas que aproximem as pessoas dos fenômenos da natureza. Contudo, cada vez mais, projetos e programas governamentais e não governamentais, estão reforçando a presença e a necessidade de noções e conceitos ecológicos, seja através de campanhas de reciclagem, consumo consciente, economia de energia, recuperação de vegetação ciliar, uso racional das águas, ou ainda, em relação aos aspectos comportamentais da sociedade. Estas mobilizações estão fazendo parte do dia-a-dia da população brasileira, podendo servir como motivadoras da discussão de aspectos gerais da ecologia. Não obstante, durante o ensino formal (Ensino Médio), os estudantes brasileiros têm a chance de discutir sobre conceitos ecológicos que incluem o entendimento da dinâmica e evolução dos ecossistemas. Estes conceitos compõem tópicos específicos estudados na disciplina de biologia, mesmo que outras disciplinas contribuam fortemente neste processo de aprendizagem ecológica.

Vários são os conceitos ecológicos básicos presentes nos livros de biologia do Ensino Médio, tais como: nicho, população, ecossistema, bioma, habitat, sucessão ecológica, entre outros. Estes conceitos ecológicos, historicamente apareciam nos últimos capítulos dos livros e, frequentemente, acabavam não fazendo parte das discussões em sala de aula. Este fato pode ocorrer devido ao acúmulo de conteúdos de outras unidades anteriores do livro. Em sintonia aos PCNs, este contexto parece estar mudando.

Os limites que estão sendo observados pelos ecólogos na utilização destes conceitos, aliado à emergência de novos conceitos e novas teorias científicas nas diversas áreas do conhecimento, retroalimentam a dinâmica sintética com que a ecologia busca explorar os fenômenos da vida no ambiente. Conceitos como: propriedades emergentes, estruturas dissipativas, termodinâmica do não equilíbrio, auto-organização, caos determinístico, atratores e não linearidade, provenientes da física, da biologia e da matemática, passaram a fazer parte das discussões acadêmicas. Essa dinâmica conceitual nas ciências passa a exigir, tanto dos pesquisadores quanto dos educadores, uma constante reflexão do que conquistamos e esperamos da ciência, da tecnologia e do ensino. Frente a este dinamismo do saber, aplicado à ecologia, os recursos e instrumentos de ensino que dão suporte ao educador também precisam ser discutidos, atualizados e avaliados. Dentre estes cabe mencionar os materiais de audiovisual, as práticas ou vivências de campo e os livros didáticos.

O livro didático é um importante instrumento utilizado para o Ensino Médio, sendo viabilizado pelo Programa Nacional do Livro Didático - PNLD. Existem vários livros didáticos destinados ao ensino de biologia. Contudo, através do - PNLD, que se estendeu para o Ensino Médio no ano de 2004, o Governo Federal desenvolve processos de avaliação destes materiais didáticos. Sem dúvida, não somente nos livros didáticos é que os conceitos científicos precisam ser atualizados e rediscutidos, uma vez que este é o desafio constante da

ciência e do cientista. Não se trata de uma atualização conceitual plena, que seria praticamente inexequível em quaisquer áreas do conhecimento, visto o grande número de publicações, mas sim, trata-se de apropriar-se de noções conceituais gerais.

Em sintonia a estas possibilidades de conhecimento e de ensino, o presente estudo faz uma **análise da existência de noções e conceitos sobre sistemas complexos no ensino de ecologia**. O trabalho tem uma abordagem qualitativa e foi desenvolvido considerando o estudo da existência de noções e conceitos ligados aos sistemas complexos em três espaços fundamentais: 1) os conteúdos referentes à ecologia, existentes nas oito obras didáticas de biologia aprovadas pelo MEC em 2011; 2) os manuais do professor presentes nos livros didáticos de biologia MEC/SEB (2011); 3) os docentes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - IFC - Campus Rio do Sul, que tiveram durante sua formação acadêmica, disciplinas diretamente relacionadas à ecologia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Mundo Natural e a Ciência

A origem e o funcionamento do mundo vivo já foram explicadas diversas vezes, de várias formas e em diferentes culturas. De acordo com os PCN (2000, p. 14), "Ao longo da história da humanidade, várias foram as explicações para o surgimento e a diversidade da vida, de modo que os modelos científicos convivem permanentemente com outros sistemas explicativos [...]". Prigogine e Stengers (1997, p. 27) apontam que "Tal como os mitos e as cosmologias, a ciência parece tentar compreender a natureza do mundo, a maneira como se organizou e o lugar que os homens nele ocupam". Podemos perguntar: por que explicar o funcionamento do mundo vivo através da ciência? O que impulsiona a ciência? Seria esta uma necessidade, uma vantagem na compreensão da realidade do mundo? Certamente, as respostas são as mais variadas possíveis em se tratando de motivações individuais, entretanto Mayr (2008, p. 66) apresenta de maneira ampla, duas motivações para fazermos ciência quando afirma: "A insaciável curiosidade dos seres humanos e o desejo de uma melhor compreensão do mundo em que vive são as razões primárias para o interesse em ciência da maioria dos cientistas".

As discussões sobre o significado do termo "ciência", ou mesmo o que é científico, podem ser motivo de discordâncias, não somente no senso comum, mas também, no mundo acadêmico. Prigogine e Stengers (1997, p. 203) não apresentam dúvidas ao definir ciência como: "[...] uma arte de manipular a natureza. Mas é também um esforço para compreender, para responder a algumas questões que, de geração em geração, alguns homens não cessaram de colocar a eles mesmos". Para Russell (1988, p. 09), "La ciencia, como su nombre indica, es, en primer lugar, conocimiento". Mencionando as dificuldades existentes na tentativa de um consenso sobre a definição de ciência, Mayr (2008) escreve :

> A maioria dos filósofos hoje, em sua definição de ciência, enfatiza a atividade contínua dos cientistas: exploração, explicação e teste. Mas outros filósofos tendem a definir ciência como um corpo crescente de conhecimento, "organização e a classificação do conhecimento com base em princípios explicativos" (MAYR, 2008, p. 48).

Longe de ser um consenso no mundo científico, a questão é que a ciência, ou a lógica científica, sempre foi conduzida por fundamentos que ultrapassam a racionalidade e se fusionam com outros aspectos da sociedade, tais como o cultural e o político. Segundo Prigogine e Stengers (1997, p. 01), "[...] a existência da ciência e o conteúdo das teorias científicas podem ter algo a ver com as relações que os homens mantêm com o mundo natural". Diferentemente da arte e da religião, a ciência é bastante recente como fator na vida humana (Russell, 1988).

Apresentando diferentes perspectivas da definição e dos objetivos da ciência, Mayr (2008, p. 49) escreve sob um olhar amplo que "O objetivo da ciência é fazer avançar a nossa compreensão da natureza". Além do avanço de nossa compreensão de mundo, é possível visualizar de várias formas a expansão dos objetivos da ciência. Assim, Mayr (2008, p. 49) reforça: "Os objetivos da ciência são compreender, prever e controlar". Mesmo que esta visão de controle possa parecer perversa, ela é, em muitos casos, a realidade da dinâmica na região

fronteiriça entre ciência e tecnologia. A possibilidade de controle, frequentemente, torna a ciência e os cientistas alvos de fortes críticas, por vezes descontextualizadas. Assim, para Prigogine e Stengers (1997):

> A ciência é um jogo arriscado, mas parece ter descoberto questões as quais a natureza responde de maneira coerente, uma linguagem teórica pela qual inúmeros processos se deixam decifrar. Esse sucesso da ciência moderna constitui um fato histórico; não predizível a priori, mas incontornável desde que ocorreu, a partir do momento em que, no seio duma dada cultura, este tipo particular de questão passou a desempenhar o papel de chave de decifração (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 03).

Este diálogo de como o homem descobre uma linguagem capaz de reagir a suas expectativas oportunizou a solidificação da ciência e, esta se mantém por um longo período em sua hegemônica estratégia de construção. Porém, este processo histórico que culmina na apropriação de uma linguagem, um método de fazer avançar o conhecimento, tem sido alvo de mudanças substanciais caracterizadas pelos avanços conceituais e por algumas descobertas extraordinárias nas diversas áreas do saber.

Não somente o conceito é relevante, mas a representatividade social que o conjunto que se entende como ciência, exerce. Em algumas áreas do saber, tais como a medicina e a bioquímica, o fato de algo ter sido considerado científico ou "comprovado cientificamente" é a mensagem atual necessária para que as pessoas possam sentir-se seguras da veracidade da informação. Isto está implícito num contexto histórico, onde a ciência, através de seus métodos, busca aproximar-se da "verdade" na compreensão da natureza, ainda que não esteja caminhando só, visto o não abandono de outras visões cosmológicas. Neste sentido Fernandez (2009, p. 239), lembra que "É fundamental notar que a ciência desautorizou as religiões como fonte de valores morais, por outro lado, ela não as substituiu". A ciência, como parte de um processo cultural, entremeia-se às visões cosmológicas tradicionais, construídas por distintas culturas. De acordo com PCN (2000, p. 14), "É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico". Reconhecendo a ciência como parte de um processo histórico, Prigogine e Stengers (1997), escrevem:

> A ciência faz parte do complexo de cultura a partir do qual, em cada geração, os homens tentam encontrar uma forma de coerência intelectual. Ao contrário, esta coerência alimenta em cada época a interpretação das teorias cientificas, determina a ressonância que suscitam, influencia as concepções que os cientistas se fazem do balanço da sua ciência e das vias segundo as quais devem orientar sua investigação (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 01).

Procurando elucidar, de maneira breve, o caminhar da espécie humana na busca constante de explicar o mundo natural, é conveniente recordar uma relação que se mantém presente até os dias atuais: a relação entre o natural e o que escapa a esta condição, o sobrenatural. Neste sentido, Mayr (2008) escreve que:

> As primeiras tentativas de explicar o mundo natural invocam o sobrenatural. Desde o animismo mais primitivo até as grandes religiões monoteístas, qualquer coisa que fosse intrigante e aparentemente inexplicável era atribuída às atividades de espíritos ou deuses. Os antigos gregos deram início a uma abordagem diferente. [...] Os gregos basearam suas explicações em

> observação e reflexão [...]. Foi desse começo que a filosofia da ciência que conhecemos hoje gradualmente se desenvolveu (MAYR, 2008, p. 73).

Marcondes (2006, p. 36) demonstra um aspecto importante ao dizer que "Embora a filosofia grega não tenha se dedicado de modo especial à questão do meio ambiente, a concepção grega de integração do ser humano com o mundo natural é considerada um dos pontos de partida do pensamento ecológico contemporâneo". Outro fato bastante representativo do período da Grécia Antiga foi o surgimento da expressão "sopro vital" (primórdios do vitalismo) e sua transição posterior para o termo "alma", através da igreja cristã (Mayr, 2008). É importante reconhecer que, mesmo em seus limites, hoje evidentes, esta proposição grega separa o vivo do não vivo.

No ocidente, durante a longeva Idade Média, os ensinamentos das escrituras sagradas, que confiavam tudo na natureza a Deus, prevaleceram a qualquer tentativa explicativa divergente. Quaisquer que fossem as alternativas de explicação do mundo em relação à proposta divina, tais como bruxaria, alquimia, seriam imediatamente condenadas. Prigogine e Stengers (1997) provocam uma reflexão sobre essa relação entre as leis da natureza e o divino que, em certa medida, expressam as contradições entre ciência e religião na atualidade:

> Contrariamente aos atomistas da Antiguidade perseguidos por ateísmo, e contrariamente a Leibniz, por vezes, suspeito de negar a graça e a liberdade humana, os cientistas modernos conseguiram, pois, descobrir para o seu empreendimento uma definição culturalmente aceitável. O espírito humano, que habita um corpo submetido às leis da natureza, é capaz de chegar, pela decifração experimental, ao ponto de vista de Deus sobre o mundo, ao plano divino que este mundo exprime global e localmente. Mas esse espírito escapa ao seu próprio empreendimento. [...] quanto mais rebaixada for a natureza, mais glorificado fica o que dela escapa (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 37).

Poucos séculos atrás, manter a ordem divina era uma das condições vigentes para se fazer ciência. Além disso, essa condição de não atacar o sagrado contribuía para que os pensadores da época mantivessem o prestígio junto às lideranças religiosas e científicas. Afinal, o poder religioso extrapolava as questões sobrenaturais e deliberava intensamente sobre as leis do homem.

O período da Renascença onde, segundo Menezes (1986, p. 66-67), "A ciência, [...] enquadrava-se em dois ramos, da *natureza e do homem*", pode ter sido condicionante para que, dentro do que mais tarde se tornaria a base da ciência moderna (método cartesiano), o funcionamento dos organismos vivos fosse reduzido a autômatos. Assim, a vida funcionava de maneira semelhante a qualquer invento mecânico. Mayr (2008, p. 22) escreve que nesta época: "Havia grande fascínio por relógios [...] por quase todo tipo de máquina. Isso culminou na afirmação de Descartes de que todos os organismos, à exceção dos seres humanos, não eram nada senão máquinas".

Grün (2006, p. 60) apresenta outras contribuições de Descartes, dizendo que ele "[...] foi o primeiro filósofo a propor uma física matemática; com Descartes a física deixa de ser especulativa e passa, de fato, a intervir na natureza". A ciência moderna surge com a Revolução Científica e, já naquela época, discutindo princípios filosóficos, desenvolve muitos dos princípios básicos do método científico. Estes princípios estão presentes e caracterizam a metodologia da ciência atual. Para Mayr (2008, p. 50), "As disciplinas científicas que deram origem ao conceito dominante de ciência durante a Revolução Científica foram a matemática, a mecânica e a astronomia".

Pode causar certa estranheza, pois, dentre os ideais da ciência moderna, estava a eliminação de quaisquer vestígios de metafísica, entretanto, segundo Mayr (2008, p. 51), "[...] virtualmente todos os arquitetos da Revolução Científica permaneceram cristãos devotos e, como era de se esperar, o tipo de ciência que eles criaram era, em grande medida, um ramo da fé cristã". A condição cultural, mais uma vez, prevalece aos anseios de isolamento do homem em relação ao seu objeto de estudo. Prigogine e Stengers (1997) nos lembram de um aspecto dúbio interessante:

> A ciência clássica nasceu numa cultura dominada pela aliança entre *o homem*, situado na charneira entre a ordem divina e a natural, e *o Deus* legislador racional e inteligível, arquiteto soberano que tínhamos concebido à nossa imagem (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 37).

O cenário religioso do cristianismo foi palco de grandes descobertas científicas para a compreensão do mundo vivo, tal qual a mecânica newtoniana foi para a física. Muitas das descobertas, que inicialmente serviam para dar sustentação aos dogmas da ordem divina e religiosa, posteriormente se mostraram propulsoras no caminhar da ciência moderna. Muitos estudos, dentre eles: os estudos de história natural, anatomia, morfologia, os primórdios da genética, foram, originalmente, direcionados para a comprovação da ordem divina e não realizados com pretensões a desafiar a hegemonia da cosmologia cristã. Portanto, a perspectiva histórica na compreensão da ciência é fundamental para que possamos vislumbrar os avanços científicos dentro de seu contexto cultural, permitindo-nos melhor entender os aspectos limitantes e as possibilidades e, então, perceber de que maneira cada cenário científico precedente serve de alavanca para a realidade dos cenários futuros.

A ciência moderna, que emerge em meio ao cristianismo, e serve, inicialmente, como seu alicerce, aliena os grande pensadores da Revolução Científica, em relação a ordem divina. Segundo Prigogine e Stengers (1997, p. 38), "A ciência clássica visa sempre descobrir a verdade única do mundo, [...] a partir da qual tudo o que existe pode, em princípio, ser deduzido. A ciência clássica postula sempre a monótona estupidez do mundo que ela interroga".

> A convicção característica dos fundadores da ciência moderna vai muito mais longe. Galileu e seus sucessores pensam a ciência como capaz de descobrir a verdade *global* da natureza. Não somente a natureza é escrita numa linguagem matemática decifrável pela experimentação, como essa linguagem é única; o mundo é homogêneo: a experimentação local descobre uma verdade geral. Os fenômenos simples que a ciência estuda podem desde logo entregar a chave do conjunto da natureza, cuja complexidade não é mais que aparente: o diverso reduz-se à verdade única das leis matemáticas do movimento (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 32).

Mayr (2008), em relação a esta ideia de verdade única possibilitada por uma linguagem matemática que fragmenta o complexo, lembra que o mundo criado por Deus jamais poderia ser caótico:

> Ele era governado por Suas leis, que, por serem divinas, eram universais. Uma explicação qualquer de um fenômeno ou processo era considerada adequada se estivesse de acordo com uma dessas leis. Assim, com o mecanismo de funcionamento do cosmos tão claro e absoluto, deveria ser possível provar e prever qualquer coisa. A tarefa da ciência de Deus, portanto, era achar essas leis universais, encontrar a verdade última de tudo o

> que existe seguindo o enunciado dessas leis e testar sua veracidade por meio de previsões e experimentos (MAYR, 2008, p. 51).

A visão de que a natureza ordenada e não caótica existe para ser dominada e usufruída pelos humanos, ainda é influente em algumas culturas. Estes seres, "possuidores de alma", estão acima dos demais seres vivos. Assim nos lembra Fernandez (2009, p. 242), mencionando a relevância das cosmologias para uma análise do panorama atual do mundo vivo:

> [...] a passagem do gênesis na qual Deus diz ao homem que domine todas as criaturas da Terra e desfrute delas. Tais cosmologias estão profundamente entranhadas na cultura de nossos povos, e passam para nós dia após dia, consciente ou inconscientemente, desde nossa mais tenra idade. A mensagem é bastante clara: nós somos *proprietários* do resto da natureza, para consumí-la da maneira que acharmos melhor, ao nosso bel-prazer (FERNANDEZ, 2009, p. 242).

Mesmo com todos os ganhos que a Revolução Científica trouxe para o pensamento moderno, ela nunca incluiu uma revolta à religião cristã (Mayr, 2008). Isso nos diz que o mundo ordenado e não caótico, que se constrói e reconstrói pelas mãos daquele que está acima dos demais seres vivos, não precisa de novas explicações. Essa ideia representou um entrave para as tentativas de diálogo sobre origem e funcionamento do mundo vivo.

> [...] esse viés ideológico teve consequências adversas para a biologia. A resposta aos problemas mais básicos do estudo dos organismos vivos depende de se invocar ou não a mão de Deus. [..] A aceitação de um universo que não continha nada além de Deus, almas humanas, matéria e movimento funcionava bem para as ciências físicas da época, mas trabalhava contra o avanço da biologia (MAYR, 2008, 53-54).

Certamente, que o desenvolvimento de uma ciência descontextualizada, ou seja, fora de uma cultura num dado momento histórico, sequer seja possível. Assim como as cosmologias tradicionais seculares continuaram e, muitas vezes, continuam fazendo parte da vida dos cientistas e, desta forma, influenciando de maneira significativa suas ideias e teorias. Mayr (2008) exemplifica essa dinâmica da ciência através da teoria da evolução proposta no final do século XIX:

> [...] o conjunto de esforços que chamamos de ciência tem mudado continuamente através dos séculos. Por exemplo, a teologia natural - o estudo da natureza com o propósito de entender as intenções de Deus - era considerado um ramo legítimo da ciência até cerca de 150 anos atrás. Como resultado, em 1859, alguns dos críticos de Darwin o admoestaram por ter incluído em seu relato da origem das espécies um fator "não-científico" como o acaso, ignorando aquilo que eles viam claramente como a mão de Deus no planejamento de todas as criaturas, grandes e pequenas (MAYR, 2008, p. 49).

A teoria da evolução, que fora categorizada como não científica e que ainda é alvo de intensas críticas, atualmente é considerada por um grande número de pensadores, como uma teoria unificadora dentro da biologia (Mayr, 2008). Capra (1982) retrata parte da problemática atual, com relação à teoria da evolução e a compreensão da natureza, dizendo que:

> A teoria da evolução foi a principal contribuição da biologia para a história das ideias no século XIX. Ela obrigou os cientistas a abandonarem a imagem newtoniana do mundo como uma máquina que saiu totalmente construída das mãos do Criador e a substituírem-na pelo conceito de um sistema evolutivo e em constante mudança. Entretanto, isso não levou os biólogos a modificarem o paradigma reducionista; pelo contrário, eles se concentraram na tarefa de adaptar a teoria darwiniana à estrutura cartesiana. Foram extremamente bem sucedidos na explicação de muitos dos mecanismos físicos e químicos da hereditariedade, mas não conseguiram compreender a natureza essencial do desenvolvimento e da evolução (CAPRA, 1982, p. 105).

Dialogando sobre esta influência histórica do mundo religioso (sociedades antigas) na construção da ciência, Prigogine e Stengers (1997) escrevem sobre as diferenças entre os espaços sagrado e profano:

> [...] o espaço ordinário, submetido ao acaso, à degradação, insignificante, é separado do mundo sagrado, significante, subtraído à contingência e à história. É o mesmo contraste que Aristóteles supõe entre o mundo dos astros e o da natureza terrestre. Esse contraste reencontra-se na avaliação das possibilidades de aplicar as matemáticas à descrição do mundo. [...] os processos naturais, intrinsecamente imprecisos, não podem, por seu turno, constituir objeto de descrições matemáticas a não ser aproximativas (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, 28-29).

Foi nesta conjuntura de predominância cristã que a ciência da vida passou por vários séculos de torpor, impossibilitada de questionar seus próprios fundamentos. Desta forma, os trabalhos realizados através de história natural poderiam ser bastante descritivos, desde que incluíssem ou, ao menos, não excluíssem de seus relatos a supremacia divina com relação a origem dos seres vivos. A concepção da "academia-cristã" não possibilitou à ciência da vida um despertar precoce, assim como o fez em outras áreas do conhecimento. Mayr (2008) sintetiza essa discussão, afirmando que:

> [...] a biologia esteve basicamente dormente até os séculos XIX e XX. Embora uma quantidade razoável de conhecimento factual tenha se acumulado durante os séculos XVII e XVIII em história natural, anatomia e fisiologia, o mundo da vida naquela época era considerado parte dos domínios da medicina; isso valia para a anatomia e a fisiologia, e mesmo para a botânica, que consistia em grande parte na identificação de plantas de importância medicinal (MAYR, 2008, p. 54).

2.1.1 Correntes de pensamento biológico

Para a ciência da vida foram longos anos de lentidão, atendo-se a questões descritivas que não oferecessem perigo à cultura religiosa, enquanto que através da mecânica, a ciência física se consolidava através de suas descobertas e teorias relativamente harmônicas, a ordem preconizada. Mayr (2008, p. 54) diz que "[...] a aceitação da mecânica como modelo ideal de ciência levou à crença de que os organismos não são diferentes da matéria inerte. Daí se seguia, logicamente, a conclusão de que o objetivo da ciência era reduzir a biologia às leis da física e da química". Capra (1982) discute sobre esta visão mecanicista de mundo através dos avanços na física:

> Enquanto a nova física se desenvolvia no século XX, a visão de mundo cartesiana e os princípios da física newtoniana mantinham sua forte influência sobre o pensamento científico ocidental, e ainda hoje, muitos cientistas aderem ao paradigma mecanicista, embora os próprios físicos o tenham superado (CAPRA, 1982, p. 95).

Contemplando esta perspectiva de um mundo cartesiano e de funcionamento mecanicista é que o processo histórico nos mostra divergentes correntes de pensamento para explicação do mundo vivo. Formas distintas de compreender os mesmos fenômenos estavam amparadas pelos limites da ciência, mas também se alicerçavam no diálogo entre as descobertas científicas que pipocavam continuamente nas várias áreas do saber. Correia (1999), em sua obra - O ovário de Eva - traz vastos relatos sobre os esforços nos séculos XVII e XVIII para desvendar os segredos da concepção, exemplificando esta conjuntura histórica de como as descobertas científicas foram, aos poucos, alterando as concepções de funcionamento do mundo e da vida. Estas correntes, em certa medida, perduram em determinados temas até os dias atuais. Mayr (2008) apresenta claramente duas correntes divergentes de pensamento:

> [...] um campo alegando que os organismos vivos não eram, na verdade, nada diferentes da matéria inanimada; algumas vezes essas pessoas foram chamadas de mecanicistas, mais tarde de fisicalistas. E sempre houve um campo oposto - os chamados vitalistas - reivindicando, por sua vez, que os organismos vivos possuíam propriedades que não poderiam ser encontradas na matéria inerte e que, portanto, conceitos e teorias biológicas não poderiam ser reduzidos às leis da física e da química (MAYR, 2008, p. 21).

Falando sobre o sucesso parcial do fisicalismo, Mayr (2008, p. 23) escreve que "Seu maior tento talvez tenha sido fornecer uma explicação natural dos fenômenos físicos e eliminar, dessa forma, grande parte da confiança no sobrenatural que antes era aceita por quase todo mundo". Várias explicações fisicalistas surgem por volta da década de 1880 para tentar sanar o abismo entre as leis da física e o mundo vivo, entretanto, segundo Mayr (2008, p. 26): "Esses fisicalistas jamais se deram conta de que suas declarações sobre energia e movimento nunca explicaram realmente nada".

Os esforços para abandonar explicações metafísicas começaram a ficar evidentes neste período. Entretanto, os novos conceitos da física perturbavam os pensadores do mundo vivo. Estes pensadores também se mostravam abstratos, sem a compreensão necessária que a complexidade da vida exigira. Como dialogar numa linguagem científica com o desconhecido: seja na força vital (vitalistas) ou numa suposta energia (fisicalistas).

> No seu devido tempo, o vazio e o absurdo dessas explicações puramente fisicalistas da vida se tornaram aparentes para a maioria dos biólogos, que, no entanto, com frequência se contentavam em adotar a postura agnóstica de que os organismos e os processos vitais simplesmente não podiam ser explicados exaustivamente pelo fisicalismo reducionista (MAYR, 2008, p. 28).

Os vitalistas, considerados contrários ao processo hegemônico da Revolução Científica, eram um grupo heterogêneo. De acordo com De Duve (1997, p. 13), eles tinham "a crença de que os organismos vivos são animados por um princípio vital". Ainda assim, esses pensadores tinham em comum a insatisfação com os aspectos puramente mecanicistas na explicação da vida. Segundo Mayr (2008, p. 28), "[...] após a ascensão do fisicalismo, esses

naturalistas precisavam lançar um novo olhar sobre a natureza da vida e tentaram propor argumentos científicos (e não metafísicos ou teológicos) contra a teoria de Descartes dos organismos como máquinas".

> A vida, segundo um grupo de vitalistas, estava conectada ou a uma substância especial (que eles chamaram de protoplasma), que não podia ser encontrada na matéria inanimada, ou a um estado especial da matéria (como o estado coloidal), que dizia-se, as ciências físico-químicas não estavam equipadas para analisar (MAYR, 2008, p. 29-30).

A diferença entre o vivo e o inanimado eram evidentes há muito tempo, mas a insistência na antiga ideia grega de "força vital" sempre esteve latente. Mayr (2008, p. 30) diz que "[...] aqueles que apoiavam a existência de uma força vital tinham visões altamente diversificadas sobre a natureza de tal força". Todo esse cenário misterioso era desafiador para a ciência da época. Em meados do século XX, uma pequena minoria de cientistas ainda acreditava que a vida dependia de alguma força vital que emana de um Deus todo-poderoso (Watson, 2005). Contudo, em grande medida, foram os estudos bioquímicos, em meados do mesmo século, que abalaram esta corrente de pensamento de maneira significativa. Watson (2005, p. 74) ressalta que "A descoberta da dupla-hélice foi um golpe de morte no vitalismo. Todo cientista sério, mesmo aqueles de índole religiosa, percebeu que um entendimento pleno da vida já não exigia a revelação de novas leis da natureza".

Explicando um dos motivos da duração da proposta vitalista, mesmo com tantos aspectos frágeis, Mayr (2008, p. 33) escreveu que "Uma ligação próxima com o finalismo é evidente no trabalho da maioria dos vitalistas. Em parte por causa de seu aprendizado teleológico, os vitalistas se opuseram veementemente ao selecionismo de Darwin". De Duve (1997) evidencia bem como não é simples escapar da alçada finalista, dizendo:

> As células são tão obviamente programadas para se desenvolverem ao longo de determinadas linhas, os órgãos adaptados para desempenhar determinadas funções, os organismos ajustados para determinados ambientes, que a palavra determinação quase inevitavelmente nos vem a mente (De Duve, 1997, p. 12).

Estas finalidades reais existentes na estrutura dos seres vivos nos conduzem facilmente a uma corrente de pensamento que sustenta a hipótese de que os organismos são movidos por causas finais, ou seja, os indivíduos, inclusive os da espécie humana, apresentam uma finalidade. Esta corrente, chamada de finalismo, segundo De Duve (1997, p. 13), "[...] aproxima-se do vitalismo [...]. As duas visões estão hoje praticamente desacreditadas. A determinação deu lugar à seleção natural".

Anteriormente aos resultados dos trabalhos de Mendel e as descobertas da bioquímica sobre a estrutura do DNA, foi através da publicação de "A Origem das Espécies", em 1859, que esta corrente finalista levou um grande susto. O que estava posto era claramente um mecanismo para o processo da evolução e, este iria de encontro a qualquer perspectiva finalista ou vitalista. Mayr (2008, p. 33) afirma que "A teoria da evolução de Darwin negava a existência de qualquer teleologia cósmica, substituindo-a por um "mecanismo" para a mudança evolutiva - a seleção natural. [...] O selecionismo tornou o vitalismo supérfluo no reino da adaptação". Para De Duve (1997, p. 13), "O princípio vital foi-se juntar ao éter e ao flogisto no cemitério dos conceitos descartados". Entretanto, segundo Mayr (2008, p. 38):

> A derrocada do vitalismo, em vez de levar à vitória do mecanicismo, resultou em um novo sistema explicativo. Esse novo paradigma aceitava que

> os processos no nível molecular poderiam ser explicados exaustivamente por mecanismos físico-químicos, mas que esses mecanismos desempenhavam um papel cada vez menor se não desprezível, em níveis de integração mais altos. Eles são substituídos pelas características emergentes dos sistemas organizados. As características únicas dos organismos vivos não se devem à sua composição, e sim à sua organização. Esse modo de pensar é hoje comumente chamado de *organicismo*. Ele enfatiza em particular as características de sistemas ordenados altamente complexos e a natureza histórica dos programas genéticos que evoluíram nos organismos (MAYR, 2008, p. 38).

Sob uma perspectiva, aparentemente mecanicista, De Duve (1997, p. 01) escreve sobre a característica própria da vida e do funcionamento dos ecossistemas: "A história da vida é marcada por uma série de inovações, cada uma introduzindo um novo nível de complexidade, cada uma a ser explicada nos termos das leis naturais da física e da química". Dawkins (2009, p. 376) reforça a possibilidade de explicação molecular da vida dizendo que: "Em meados do século XX, pensava-se que a vida estivesse qualitativamente fora da alçada da física e da química. Hoje não mais". Dialogando sobre os avanços biológicos na segunda metade do século XIX, desde a teoria da evolução até as descobertas de Schwann e Pasteur sobre a falsa premissa da geração espontânea, Watson (2005, p. 12) afirma que "[...] diversas formas de vitalismo - a crença de que mecanismos físico-químicos não podem explicar a vida e seus processos - subsistiram". Dawkins (2009, p. 376) afirma que "A diferença entre vida e não vida é uma questão não de sustância, mas de *informação*. Seres vivos contêm prodigiosas quantidades de informação [...]". Assim, podemos dizer que o funcionamento dos seres vivos não diverge das leis da física e da química, entretanto, diverge do inanimado pela sua característica organizativa. Segundo De Duve (1997, p. 340), "Os organismos vivos não são mais vistos como se fossem feitos de matéria "animada" por um espírito vital (imaterial). Contudo, ninguém disputa o fato de que a vida existe como uma manifestação especial da matéria organizada de maneira especial". Mayr (2008, p. 39-40), evidenciando essa característica organizada da vida e dos sistemas vivos, diz que "[...] o reducionismo explicativo é incapaz de explicar as características dos organismos que emergem em níveis mais altos de organização". Prigogine e Stengers (1997, p. 41) reforçam:

> A ciência clássica, a ciência mítica de um mundo simples e passivo, está prestes a morrer, liquidada não pela crítica filosófica nem pela resignação empirista, mas sim por seu próprio desenvolvimento. [...] Julgamos que a ciência hodierna escapa ao mito newtoniano por haver concluído teoricamente pela impossibilidade de reduzir a natureza à simplicidade oculta de uma realidade governada por leis universais (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 41).

Mais de cem anos após o surgimento do termo *biologia* e sessenta anos após o surgimento da expressão *ecologia*, um novo termo é proposto, com uma definição integradora, tal qual fora objeto de ambas as ciências acima citadas. Com relação a esta emergente corrente de pensamento que permite o diálogo entre o fisicalismo (mecanismo da evolução) e aspectos organizativos da vida (desde moléculas até ecossistemas), Mayr (2008, p. 38) escreveu:

> De acordo com W. E. Ritter, que cunhou o termo organicismo em 1919, "os todos são tão relacionados com as suas partes que não só a existência do todo depende da ordenada cooperação e interdependência de suas partes, mas também o todo exerce uma medida de controle determinante sobre suas

> partes" (Ritter e Bailey, 1928). J.C. Smuts (1926) explicou sua própria visão holística dos organismos da seguinte forma: "Um todo, de acordo coma visão aqui apresentada, não é simples, mas composto, e constitui-se de partes. Os todos naturais, como os organismos, são [...] complexos ou compostos, consistindo em muitas partes em relação ativa e interação de um tipo ou outro, e as partes podem ser elas mesmas todos menores, como células em um organismo". Seus enunciados foram condensados mais tarde por outros biólogos na frase concisa: **"O todo é mais do que a soma de suas partes" (grifo meu)** (MAYR, 2008, p. 38-39).

A expressão *holismo* está presente em várias áreas da ciência. Entretanto, em relação ao uso do termo, Mayr (2008, p. 39) escreve: "[...] holismo não é um termo estritamente biológico, uma vez que muitos sistemas inanimados também são holísticos, como corretamente apontou Niels Bohr". Na biologia, o termo bastante usual acaba sendo o organicismo, pois ele pressupõe a existência de um programa genético (uma estrutura) que dá suporte à organização dos sistemas vivos.

> Os pioneiros do holismo (por exemplo, E. S. Russell e J.S. Haldane) argumentaram de forma eficaz contra a abordagem reducionista e descreveram de forma convincente quão bem a abordagem holística se encaixa nos fenômenos do comportamento e do desenvolvimento. Mas eles não conseguiram explicar a verdadeira natureza do "todo" ou integração das partes em um todo. Ritter, Smuts e outros proponentes do holismo eram igualmente vagos (e algo metafísicos) nas suas explicações. De fato, algumas das formulações de Smuts tinham um sabor bastante teleológico (MAYR, 2008, p. 40).

A necessidade em buscar uma explicação que extrapolasse a visão reducionista aplicada ao mundo vivo fez com que muitos pesquisadores divagassem em suas tentativas e, certamente, os aspectos culturais teológicos, por várias vezes, influenciaram essas ideias. Ainda assim, segundo Mayr (2008, p. 41), é possível encontrar uma afinidade entre os holistas, pois:

> Todos os holistas concordam que nenhum sistema pode ser explicado de forma completa por meio das propriedades de seus componentes isolados. A base do organicismo é o fato de que os seres vivos possuem uma organização. Eles não são apenas montes de características ou de moléculas, uma vez que sua função depende inteiramente de sua organização, de suas inter-relações, interações e interdependências (MAYR, 2008, p. 41).

Prigogine e Stengers (1997. p. 61) apontam sim, para o homem como produto de processos organizados e produto de uma história, assim como, qualquer espécie viva, e reforçam:

> O homem, seja ele o que for, é produto de processos físico-químicos extremamente complexos e também indissociavelmente, produto duma história, a do seu próprio desenvolvimento, mas igualmente a da sua espécie, de suas sociedades entre as outras sociedades naturais, animais e vegetais (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 61).

Mayr (2008, p. 58) afirma que mesmo com as divergências: "[...] a biologia, como a física e a química, é uma ciência". É nesta caminhada, partindo da capacidade e do anseio do *Homo sapiens* em compreender as suas origens e o funcionamento do mundo em que evolui,

passando pela história natural, dialogando entre o mecanicista (fisicalista) e o vitalista, entre o acaso e o finalismo, entre o reducionismo e o organicismo, chegando ao selecionismo de Darwin através da teoria da evolução, que emerge e se estabelece a ciência que hoje chamamos 'biologia'.

2.2 O diálogo entre bios (βιος) e oikos (οἶκος)

Não é tarefa fácil demarcar os "limites territoriais" entre a biologia e a ecologia. Uma pode facilmente ser entendida como tema, conteúdo ou disciplina da outra. Tão pouco, esta cisão seja relevante para o avanço do conhecimento em torno do funcionamento do mundo vivo. Talvez, seja mais acertado e estratégico buscar o que estas ciências possuem em comum e de que maneira se complementam. A história traz à tona elementos que nos permitem reconhecer objetivos comuns e deixa evidente como a partilha de várias descobertas em torno do mundo vivo ecoam dentro de ambas as ciências (Bio e Eco).

A história, em especial a "história natural", pode ser um eixo interessante para iniciarmos este diálogo. Menezes (1986) apresenta conceitos que atribuem a Aristóteles a origem e o desenvolvimento inicial dos estudos sobre história natural. Para muitas pessoas, nos séculos XVIII e XIX, os trabalhos em história natural representavam uma ocupação do tempo ocioso, motivo de orgulho e status, e ainda uma diversão que ressonava de maneira positiva perante a sociedade. Darwin fora um exemplo neste sentido, em meados do século XIX. Fernandez (2009, p. 59) lembra que nesta época: "Ciência não era uma profissão; era uma atividade cultural feita no tempo livre pelos bemAnascidos como Darwin [...]". Entretanto, este é somente um dos muitos olhares sobre o mundo da descrição da vida durante este período.

> Desde Aristóteles até Lineu e Buffon, a história natural foi em grande parte descritiva, mas não inteiramente. [...] A grande era da história natural foi o período que compreendeu o século XVIII e a primeira metade do XIX, e a ideologia dominante era a teologia natural (MAYR, 2008, p. 279).

Durante estes dois séculos (XVIII e XIX) a história natural preocupou-se em descrever os seres vivos e suas relações, sem atentar para outras questões, tais como: qual o motivo de tanta biodiversidade? Igualmente, Hutchinson se questionou cem anos após Darwin ter publicado o seu livro "Origem das espécies" (Fernandez, 2009); ou mesmo, porque os ambientes se mantêm relativamente estáveis (florestas, campos, desertos)? Estas questões, plenamente pertinentes nos dias de hoje, não compunham o cenário das explicações harmônicas e benignas da natureza no passado. Em relação a teologia natural, Mayr (2008) escreve:

> De acordo com esta visão de mundo, tudo na natureza está em harmonia, porque Deus não permitiria que fosse diferente. A luta pela sobrevivência era benigna, programada para manter o equilíbrio da natureza. [...] Em última análise, tudo podia ser atribuído à benevolência do Criador (MAYR, 2008, p. 279-280).

Esta benevolência foi sendo questionada com o avanço das discussões científicas. Desta forma, tornou-se necessário para a história natural e os primórdios da biologia, extrapolar a dimensão da observação e descrição do mundo vivo. Para seguir adiante, foi

preciso adotar estratégias de outras áreas do conhecimento, ampliando e diversificando as metodologias de estudo. Mayr (2008) evidencia isto dizendo:

> [...] com a derrocada da teologia natural em meados do século XIX e, de forma mais generalizada, com o cientificismo cada vez mais forte, uma história natural descritiva já não era mais adequada. A história natural precisava se tornar explanatória. Ela continuou a fazer o que fizera sempre – observar e descrever –, mas, ao aplicar outros métodos às observações (comparação, experimento, conjecturas, teste de teorias explicativas), acabou por se transformar na ecologia (MAYR, 2008, p. 280).

Essa transformação da história natural em ecologia tem outro fator contribuinte. Este fator está relacionado aos objetos de estudo da história natural, pois havia grande amplitude e enormes abismos aparentes entre os temas estudados. A expressão *história natural* passou a ser criticada e, segundo Menezes (1986, p. 67), o motivo foi "[...] abranger matérias "essencialmente diferentes", como a geologia e a mineralogia, em confronto, por exemplo, com a zoologia e a botânica; [...] que tratavam de seres vivos, os animais e as plantas".

Integrando áreas consideradas afins, e tendo como objeto de estudo as manifestações e causas das várias formas e fenômenos da vida, é que no ano de 1801 e 1802, possivelmente de maneira independente, surge o termo *biologia* (Menezes, 1986). Baseado nos trabalhos de Thomaz Huxley, em relação a origem do termo biologia, Menezes (1986) apresenta:

> Lamarck: em 1801, na França, foi ele o primeiro a empregar [...] o termo biologia, derivado de duas palavras gregas significando "discurso sobre a vida e os seres vivos"; Treviranus: na Alemanha e na mesma época, sentiu ele "a necessidade de um mesmo estudo que reunisse" todas as ciências que tratam da matéria organizada, publicando em 1802 o primeiro volume de uma obra, a que também denominou de Biologia [...] (MENEZES, 1986, p. 67).

A história registrada com relação a origem do termo *biologia* (hoje considerada como o estudo da vida) é mais antiga que o surgimento do termo *ecologia*. A palavra *ecologia* vem do grego *oikos,* que significa “casa”, nosso meio ambiente mais próximo (Ricklefs, 1996; Odum, 2009; Odum e Barrett, 2008).

> [...] o estudo da casa ambiental inclui todos os organismos dentro dela e todos os processos funcionais que tornam a casa habitável. Literalmente, então, ecologia é o estudo da "vida em casa", com ênfase na "totalidade ou padrão de relações entre organismos e seu ambiente"[...] (ODUM E BARRETT, 2008, p. 02).

Segundo Dajoz (1983, p. 14), "A palavra ecologia foi empregada pela primeira vez pelo biologista alemão E. Haeckel, em 1866, em sua obra *Generelle Morphologie der Organismen.* [...] Ecologia significa, pois, literalmente, a "Ciência do Habitat"". Mayr (2008) reforça esta data de origem do termo que se refere à casa da natureza e afirma que, três anos após, Haeckel propôs uma definição mais elaborada", a saber:

> Por ecologia, nós queremos dizer o corpo do conhecimento relativo à economia da natureza - a investigação de todas as relações do animal tanto com o seu ambiente orgânico quanto com o seu ambiente inorgânico. Incluindo acima de tudo suas relações amigáveis e não amigáveis com aqueles animais e plantas com os quais ele entra em contato direto ou indireto - em outras palavras, ecologia é o estudo de todas as complexas

> relações referidas por Darwin como as condições da luta pela existência (RICKLEFS, 1996, p. 01; MAYR, 2008, p. 278).

De acordo com Mayr (2008, p. 279), "Apesar deste batismo por Haeckel, a ecologia só veio a se tornar um campo verdadeiramente ativo de investigação por volta de 1920". Rickefs (1996, p. 01) diz que "O termo Ecologia tornou-se de uso geral somente no final do século XIX quando cientistas americanos e europeus passaram a se autodenominar Ecólogos". Nas poucas palavras de Edward O. Wilson, no prólogo do livro "Fundamentos de Ecologia" (Odum e Barrett, 2008, p. XI), segue uma brilhante síntese do que foi e do que é ecologia, a saber:

> Sempre houve o senso de inevitabilidade sobre a ecologia, mesmo no início do século XX, quando foi classificada como pouco mais que uma colcha de retalhos de história natural e escolas de pensamento. A ecologia foi e permanece como a disciplina que remete aos mais altos e complexos níveis de organização biológica. Foi e permanece como um estudo do holismo e da emergência, das propriedades da vida vistas de cima para baixo. [...] Entender a ecologia por completo seria entender *toda* a biologia, e ser biólogo completo é ser um ecólogo (EDWARD O. WILSON apud ODUM E BARRETT, 2008, p. XI).

Cabe relembrar que as motivações que conduziram ao surgimento de ambos os termos foram bastante semelhantes e ainda continuam evidentes nos conceitos mais atuais. Ecologia, assim como biologia, contempla plenamente o **estudo da vida** em casa, elas se mesclam e se completam na própria definição. Na frase, citada por MEC/SEB (2006), é possível identificar parte deste cenário: "

> A biologia é una. Quer quando estuda, em seus aspectos mais abrangentes, os ecossistemas, as populações, os indivíduos ou os seus órgãos, quer quando enfoca os mecanismos, em seus menores e mais complexos detalhes, em nível celular ou molecular, o biólogo está sempre voltado à compreensão de um único e mesmo fenômeno: a vida (MEC/SEB, 2006, p. 09).

Mesmo assim, existe um aspecto relevante que diferencia essas duas ciências em suas propostas de estudo. A ecologia é criada visando o estudo das relações entre componentes vivos e não vivos. Ela assume este desafio como centro, ao contrário, muitas vezes, da biologia que não tinha unicamente este enfoque. Ainda que a teoria da evolução tenha apontado para a necessidade de compreender melhor a interação com o ambiente, em muitos casos, a biologia ficava restrita a descrições morfológicas, anatômicas e taxonômicas.

Apresentando duas grandes influências no desenvolvimento inicial da ecologia, a primeira, o fisicalismo e a segunda a teoria da evolução, Mayr (2008, p. 280) afirma que "O alto prestígio da física, como ciência explicativa conduziu a esforços para reduzir os fenômenos ecológicos a fatores puramente físicos". O reducionismo cada vez mais funcional na hegemônica ciência da natureza, a física, que estava em constante ascensão, contribuiu para que a ecologia caminhasse na contramão de sua proposta original de síntese e integração. Segundo Odum e Barrett (2008, p. 08), "A ecologia busca a síntese, não a separação". Este período, onde o reducionismo tentava se impor como metodologia funcional à ecologia, pode estar sendo superado em função dos vários insucessos decorrentes.

A segunda maior influência sobre a ecologia ocorreu com a publicação da teoria da evolução, através do livro "*A origem das espécies*" - de Charles Darwin, onde segundo Mayr (2008, p. 280-281):

> Darwin refutou completamente a teologia natural e explicou os fenômenos da natureza por meio de conceitos como competição, exclusão de nicho, predação, fecundidade, adaptação, coevolução e assim por diante. Ele simultaneamente rejeitou a teleologia, reconhecendo a aleatoriedade no destino de populações e espécies (MAYR, 2008, p. 280-281).

Assim, por meio da descoberta de um mecanismo (a seleção natural), a ecologia se afasta teoricamente das explicações teológicas que preconizavam o controle divino sobre o mundo vivo, sobre as espécies, inclusive a humana. De acordo com Mayr (2008, p. 281), "A natureza, na visão de Darwin e dos ecólogos modernos, é algo inteiramente diferente do mundo controlado por Deus dos teólogos naturais". O surgimento de novos conceitos e a discussão do funcionamento da natureza a partir de conceitos não teológicos permitiram avanços significativos em relação à compreensão do funcionamento da natureza.

Sobre os avanços conceituais recentes na biologia e na ecologia, Mayr (2008, p. 09) nos diz que "Testemunhamos revoluções sem precedentes na genética, na biologia celular e na neurociência, bem como, avanços espetaculares na biologia evolutiva, na antropologia física e na ecologia". Para Dajoz (1983, p.13):

> A biologia sofreu na primeira metade do século XX uma série de importantes revoluções que a fizeram realizar progressos iguais, ou mesmo superiores, aos que tinham sido feitos desde o começo da humanidade. Estes progressos interessam em particular à biologia molecular e à ecologia, ciências jovens cujo surto remonta aproximadamente a 1940, para a primeira, e a 1930, para a segunda (DAJOZ, 1983, p. 13).

Estas "revoluções", foram fundamentais para os avanços conceituais e estruturais em torno da ecologia. Poucas foram às vezes que as ciências em torno da vida tiveram a oportunidade de construir fatos revolucionários em sua história.

Em relação ao desenvolvimento da ecologia, Odum (2009, p.01) diz que "Como toda a ciência humana, a ciência da ecologia teve um desenvolvimento gradativo e até espasmódico durante a história registrada". Odum e Barrett (2008) dialogam sobre esse desenvolvimento gradativo afirmando que, no início da ecologia, havia uma divisão entre ecologia vegetal e animal. A unificação em ecologia geral é recente. Segundo Odum e Barrett (2008, p. 03), "A ecologia, como um campo da ciência distinto e reconhecido, data de cerca de 1900, mas somente nas últimas décadas a palavra se tornou parte do vocabulário geral". Entretanto, para Mayr (2008, p. 281), "[...] mesmo hoje a ecologia de plantas ainda é, no geral, um campo bastante diferente da ecologia animal. E uma ecologia de fungos e procariontes praticamente não existe, ao menos não sob essa designação". Dajoz (1983, p. 18), falando sobre essas subdivisões da ecologia, enfatiza que "É preciso abandonar a divisão antiga entre ecologia animal e ecologia vegetal, que separava arbitrariamente organismos que guardam entre si estreitas inter-relações". Mas qual seria a tarefa desta nova ecologia? Atualmente, segundo Margalef (2005, p. 881), é importante reconhecer que:

> La Ecología no puede limitarse a una simple descripción o a tratar pequeños problemas técnicos triviales, excusándose siempre en que la complicación inabarcable de La Naturaleza requeriría estudios que nunca se acabarían para enfocar adecuadamente cualquier problema práctico importante, sino que ha de tener como meta exponer de manera simplificada y comprender, hasta donde sea posible, el funcionamiento de la Naturaleza (MARGALEF, 2005, p. 881).

Assim, discutindo os problemas reais das sociedades na relação com o meio, sob um olhar de síntese e não de separação na compreensão do funcionamento da natureza, o estudo ecológico ganha sentido e esta condição faz da ecologia um constante desafio para a ciência. Odum e Barret (2008, p. 15) dialogam entre o reducionismo da ciência e a proposta holística histórica da ecologia, utilizando-se de abordagens que superam uma visão disciplinar. Eles afirmam que "O início da evolução da ecologia e o seu desenvolvimento foram baseados em abordagens multidisciplinares, em especial durante as décadas de 1960 e 1970. Infelizmente, as abordagens multidisciplinares careciam de cooperação ou foco".

Escrevendo sobre a relevância de uma teoria ecológica que atenda a esta perspectiva da complexidade do funcionamento da natureza, Margalef (2005, p. 882) nos diz que:

> La piedra de toque de una teoría es su capacidad para abarcar, sin forzarlos, todos los fenómenos que son de su pertinencia y, desde el punto de vista empírico, su capacidad de generar predicciones correctas. […] Es claro que una teoría ecológica bastante amplia no puede predecir las características exactas de cierta población en cierto momento futuro; pero sí el sentido en que cambiarán las características del ecosistema entero y, por tanto, es posible hacer algunas afirmaciones respecto al probable destino de la población mencionada, y a su posible sustitución por otra especie. (MARGALEF, 2005, p. 882).

A ecologia "atual", no estudo da dinâmica dos ecossistemas, faz referência básica aos níveis de organização. Odum e Barrett (2008, p. 04) escrevem que "Talvez o melhor modo de delimitar a ecologia moderna seja considerar o conceito de níveis de organização". De maneira geral, os níveis de organização são apresentados como: indivíduo, população e comunidade. Mayr (2008, p. 281) diz que "A ecologia moderna e suas controvérsias podem ser subdivididas em três categorias: a ecologia do indivíduo, a ecologia da espécie (autoecologia e biologia de populações) e a ecologia das comunidades (sinecologia e ecologia de ecossistemas)".

> A ecologia preocupa-se de forma ampla, mas não total, com os níveis de sistema além daqueles do organismo. Em ecologia, o termo **população**, originalmente cunhado para denotar um grupo de pessoas, foi ampliado para incluir grupos de indivíduos de qualquer tipo de organismo. Do mesmo modo, **comunidade**, no sentido ecológico, inclui todas as populações que ocupam uma certa área. A comunidade e o ambiente não vivo funcionam juntos, como um sistema ecológico ou **ecossistema** (ODUM E BARRETT, 2008, p. 05, grifo do autor).

Então, a eco-logia estuda desde o organismo em suas populações, diferentes populações constituintes das comunidades, até comunidades integrando ecossistemas. Nas palavras de Margalef (2005, p. 882), "o verdadeiro nível de atenção da Ecologia é o ecossistema inteiro". Ricklefs (1996, p. 01) diz que “Ecologia é a ciência através da qual estudamos como os organismos (animais, plantas e microorganismos) interagem dentro do e no mundo natural”. Dajoz (1983, p. 14), ciente das numerosas definições propostas para a ecologia, escreve: "[...] ecologia é a ciência que estuda as condições de existência dos seres vivos e as interações, de qualquer natureza, existente entre esses seres vivos e seu meio".

Assim como outras ciências, a ecologia também está se transformando e se reestruturando conceitualmente. Para Rickefs (1996, p. 01), "Com as duplas crises de um desenvolvimento populacional muito rápido e uma aceleração da deterioração do meio ambiente terrestre, a ecologia assumiu uma importância extrema". Esta relevância se aplica tanto em relação à população em geral quanto ao mundo da academia onde, segundo Odum e

Barrett (2008, p. 04), "O aumento da atenção pública teve um efeito profundo sobre a ecologia acadêmica. Antes da década de 1970, a ecologia era vista, em grande parte, como uma subdisciplina da biologia". Esta transformação ocorre, inclusive, através da junção de novas perspectivas científicas discutidas e corroboradas em outras áreas do saber. Mesmo que, nestas junções, seja possível encontrar fortes contrastes e conflitos na maneira como as ciências compreendem a natureza e, portanto, os fenômenos da vida. De qualquer forma, as novidades, os avanços, as contradições e as críticas em relação a transformação da ecologia precisam passar por um indispensável espaço de diálogo na construção do conhecimento, o ensino. Para compreendermos melhor este diálogo (Bio-Eco-lógico), faz-se necessário entender a existência da ecologia, inclusive, dentro de uma perspectiva disciplinar. É, portanto, durante o Ensino Médio que a ecologia assume o formato de unidade ou conteúdo da disciplina de biologia.

2.3 A ecologia na biologia do Ensino Médio

Odum (apud Odum e Barrett, 2008, p. 04) escreve sobre a relação entre ecologia e biologia: "Embora a ecologia permaneça fortemente enraizada na biologia, ela emergiu desta como uma disciplina essencialmente nova e integrativa que liga os processos físicos e biológicos, formando uma ponte entre as ciências naturais e sociais. Para Mayr (2008, p. 278), "Dentre todas as disciplinas biológicas, a ecologia é a mais heterogênea e também a mais completa". Nas orientações curriculares, o MEC/SEB (2006, p. 23) apresenta parte do diálogo entre essas duas áreas do saber, dizendo: "Assim o objeto de estudo da biologia dialoga junto e por meio da ecologia com outras áreas da ciência, buscando neste diálogo a melhor forma de explicar os fenômenos naturais em torno da vida".

Como já mencionado anteriormente, estes dois termos *bio* e *eco* se entremeiam e por várias vezes se confundem em seus níveis e enfoques. Como seria possível o estudo da vida sem a compreensão da sua dinâmica, de sua organização? Tão pouco compreender a dinâmica sem a possibilidade de buscar respostas mais íntimas, peculiaridades das espécies, dos indivíduos ou mesmo de estruturas. Contudo, a história da educação brasileira formalizou a biologia como disciplina presente na matriz curricular do Ensino Médio, deixando a ecologia inserida no contexto parcial, integrante dos conteúdos da biologia. Neste momento formal de ensino, através da disciplina de biologia, o estudante pode buscar a apropriação de conceitos que contribuam na construção de noções ecológicas.

Utilizando-se das diferentes noções sobre diversidade, o MEC/SEB (2006) ressalta um aspecto de transformação na compreensão do funcionamento do mundo vivo, que discute uma nova dimensão de relevância para o ensino da biologia e da ecologia, a saber:

> É importante assinalar que a diversidade biológica não deve ser tratada apenas em relação ao número de espécies, mas sim em todos os seus níveis: diversidade dos ecossistemas, das populações, das espécies e dos genes. Com isso, o assunto deixa de ser apenas um tópico dentro de um capítulo de ecologia e passa a ser tema mais central, envolvendo aspectos ecológicos, taxonômicos e genéticos (MEC/SEB, 2006, p. 23).

É claro que a aprendizagem ecológica está muito além da sala de aula e tampouco os conceitos ecológicos se limitam a disciplina de biologia. Sequer deveriam, pois estão inclusos em temáticas transversais, projetos, programas e demais disciplinas. As discussões em torno de meio ambiente e/ou educação ambiental, que contemplam a ecologia de maneira bastante significativa, foram criadas recentemente e seguem uma perspectiva transversal a proposta disciplinar de ensino. A síntese que a ecologia propõe necessita da integração de diversas

áreas do conhecimento. Os PCN (2000, p. 09-10) escrevem que não somente os conteúdos ecológicos exigem a integração, pois “O aprendizado disciplinar em biologia, cujo cenário, a biosfera, é um todo articulado, é inseparável das demais ciências [...]”. E para isto, os PCN, (2000, p. 17) reforçam que "Para o estudo da dinâmica ambiental contribuem outros campos do conhecimento, além da Biologia, como Física, Química, Geografia, História e Filosofia [...]".

Os PCN (2000, p. 14), definem o objeto de estudo da biologia, da seguinte forma:

> [...] o fenômeno vida em toda sua diversidade de manifestações. Esse fenômeno se caracteriza por um conjunto de processos organizados e integrados, no nível de uma célula, de um indivíduo, ou ainda de organismos no seu meio. Um sistema vivo é sempre fruto da interação entre seus elementos constituintes e da interação entre esse mesmo sistema e demais componentes de seu meio. As diferentes formas de vida estão sujeitas a transformações, que ocorrem no tempo e no espaço, sendo, ao mesmo tempo, propiciadoras de transformações no ambiente (PCN, 2000, p. 14).

Apesar desta necessidade de integração, também é importante lembrar que cada ciência possui suas particularidades. Os PCN (2000, p. 14) mencionam que:

> Cada ciência particular possui um código intrínseco, uma lógica interna, métodos próprios de investigação, que se expressam nas teorias, nos modelos construídos para interpretar os fenômenos que se propõe a explicar. Apropriar-se desses códigos, dos conceitos e métodos relacionados a cada uma das ciências, compreender a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, significa ampliar as possibilidades de compreensão e participação efetiva nesse mundo (PCN, 2000, p. 14).

Ecologia e biologia, hora disciplina, hora conteúdo e, de repente, ciência. Ambas são consideradas ciência de maneira independente, porém, facilmente, uma é apresentada como disciplina ou conteúdo da outra. Estabelecer um marco para esta discussão exige compreender o contexto em que os termos são empregados. O conceito de ecologia é apresentado de forma semelhante em vários livros didáticos de Ensino Médio, todas as obras enfatizando o estudo das relações entre os seres vivos e, deles com o ambiente. Para Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 215), “A ciência que estuda como os seres vivos se relacionam entre si e com o meio ambiente (ou, simplesmente ambiente) em que vivem e quais as consequências dessas relações é a Ecologia (*oikos* = casa e, por extensão, ambiente; *logos* = estudo)". Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 200) escrevem que ecologia significa: "O estudo das inter-relações entre os seres vivos e seus ambientes físicos". Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 110), "Ecologia (do grego oikos=casa + logos = estudo) é a biociência que trata do ambiente ocupado pelos seres vivos, isto é, o estudo das relações entre os seres vivos e o espaço ocupado por eles". Laurence e Mendonça (2010, p. 37) descrevem como: “O estudo de todas as relações dos seres vivos entre si e com o ambiente”. Amabis e Martho (2010, p. 230) tratam da ecologia como: “[...] uma ciência abrangente, que utiliza conceitos da Biologia, da Física e da Química, entre outros, e permite, juntamente com as ciências econômicas e sociais, entender a complexidade das relações entre a humanidade, os outros seres vivos e o planeta". Diferentes ênfases são dadas ao conceito apresentado nos livros didáticos de biologia: seria a Eco-logia um campo de estudo? Uma ciência ou uma biociência?

Contudo, para a disciplina de biologia no Ensino Médio, a ecologia é considerada como uma Unidade do livro didático. Sem dúvida, é preciso dimensionar sobre o que é

relevante ensinar, visto a abrangência dos conteúdos dentro de cada área do conhecimento. De acordo com os PCN (2000, p. 15):

> A decisão sobre o quê e como ensinar em Biologia, no Ensino Médio, não se deve estabelecer como uma lista de tópicos em detrimento de outra, por manutenção tradicional, ou por inovação arbitrária, mas sim de forma a promover, no que compete à Biologia, os objetivos educacionais, estabelecidos pela CNE/98 para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias [...] (PCN, 2000, p. 15).

Através da publicação da Resolução CEB nº 3, de 26 de junho de 1998, o CEB/CNE objetiva o desenvolvimento de competências e habilidades para as Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Segue abaixo o quadro proposto:

II - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, objetivando a constituição de habilidades e competências que permitam ao educando:

1 Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.
2 Entender e aplicar métodos e procedimentos próprios das ciências naturais.
3 Identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para a produção, análise e interpretação de resultados de processos ou experimentos científicos e tecnológicos.
4 Compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais e utilizar instrumentos adequados para medidas, determinação de amostras e cálculo de probabilidades.
5 Identificar, analisar e aplicar conhecimentos sobre valores de variáveis, representados em gráficos, diagramas ou expressões algébricas, realizando previsão de tendências, extrapolações e interpolações e interpretações.
6 Analisar qualitativamente dados quantitativos representados gráfica ou algebricamente relacionados a contextos sócio-econômicos, científicos ou cotidianos.
7 Apropriar-se dos conhecimentos da física, da química e da biologia e aplicar esses conhecimentos para explicar o funcionamento do mundo natural, planejar, executar e avaliar ações de intervenção na realidade natural.
8 Identificar, representar e utilizar o conhecimento geométrico para o aperfeiçoamento da leitura, da compreensão e da ação sobre a realidade.
9 Entender a relação entre o desenvolvimento das ciências naturais e o desenvolvimento tecnológico e associar as diferentes tecnologias aos problemas que se propuseram e propõem solucionar.
10 Entender o impacto das tecnologias associadas às ciências naturais na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social.
11 Aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.
12 Compreender conceitos, procedimentos e estratégias matemáticas e aplicá-las a situações diversas no contexto das ciências, da tecnologia e das atividades cotidianas.

Fonte: RESOLUÇÃO CEB Nº 3, DE 26 DE JUNHO DE 1998.

Dentre as habilidades e competências objetivadas e propostas pelo Conselho Nacional de Educação (1998), em relação às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, cabe destacar alguns deles: o item "b"que menciona a necessidade constante em apoderar-se de novas metodologias, noções e conceitos que surgem durante o avanço do conhecimento; o item "d" que aponta para necessidade de dialogar num cenário "intermediário" que contemple outras hipóteses (diferentes tipos de determinísmo), dentre estas a do caos determinístico; o item "g" que deixa claro a necessidade de integração disciplinar; e, por fim, o item "m" que aponta para a necessidade de conceitos que representem atividades cotidianas. Cabe ressaltar que o CNE propõe para a biologia, enquanto Ciências da Natureza, habilidades e

competências que perpassam uma lógica de conteúdos disciplinares específicos. Os PCN (2000, p.15), registram:

> Dentre esses objetivos, há aspectos da Biologia que têm a ver com a construção de uma visão de mundo, outros práticos e instrumentais para a ação e, ainda aqueles, que permitem a formação de conceitos, a avaliação, a tomada de posição cidadã (PCN, 2000, p. 15).

Os aspectos que tencionam para uma visão de mundo adequada à realidade são os mais variados. Neste sentido, durante o Ensino Médio, a formação baseada na apropriação de conceitos ecológicos pertinentes pode contribuir para um comportamento ecológico desejado e necessário. A possibilidade de diálogo conduz o estudante ao questionamento. Esta interrogação, quando em ecologia, pode facilmente aproximar-se do que fazemos ou de como fazemos nossa vida cotidianamente. As questões mais difíceis que desafiam a ecologia são simples de serem elaboradas porque são questões vividas, como exemplo a superpopulação e a poluição ambiental. São questões práticas de uma realidade diária, mas que não são simples de serem compreendidas, exigem não somente da ecologia, mas sim, toda a ciência. Envolvem vários aspectos: social, político, econômico, ambiental, cultural, para que se possa discutir de maneira mais próxima da realidade.

Compreender a importância de partir do todo em direção às particularidades, equivale a dizer que na disciplina de biologia é sugerido discutir inicialmente sob a perspectiva ecossistêmica e, deste todo, partir rumo às peculiaridades dos organismos e suas estruturas. Esta estruturação didática que caminha do todo para as peculiaridades, está presente na metade das obras aprovadas pelo MEC, enquanto a outra metade apresenta uma estrutura que parte do micro para o macro (biologia celular para os ecossistemas).

> Ao longo do Ensino Médio, para garantir a compreensão do todo, é mais adequado partir-se do geral, no qual o fenômeno vida é uma totalidade. O ambiente, que é produto das interações entre fatores abióticos e seres vivos, pode ser apresentado num primeiro plano e é a partir dessas interações que se pode conhecer cada organismo em particular e reconhecê-lo no ambiente e não vice-versa (PCN, 2000, p. 15).

De maneira geral, em relação às intenções formativas mais relevantes na biologia, os PCN (2000, p. 20) ressaltam vários elementos que têm como base uma tríade de conceitos, procedimentos e atitudes. Não basta o domínio conceitual, é preciso avançar para o aspecto comportamental, converter o saber em atitude num processo que se retroalimenta constantemente.

> Importa que o estudante saiba: [...] compreender a vida, do ponto de vista biológico, como fenômeno que se manifesta de formas diversas, mas sempre como sistema organizado e integrado, que interage com o meio físico-químico através de um ciclo de matéria e de um fluxo de energia; [...] dar significado a conceitos científicos básicos em Biologia, como energia, matéria, transformação, espaço, tempo, sistema, equilíbrio dinâmico, hereditariedade e vida; formular questões, diagnosticar e propor soluções para problemas reais a partir de elementos da Biologia, colocando em prática conceitos, procedimentos e atitudes desenvolvidos no aprendizado escolar (PCN, 2000, p. 20).

De acordo com o MEC/SEB (2006, p. 19), "Os PCNEMconsideram que há um conjunto de conhecimentos que são necessários ao aluno para que ele compreenda a sua realidade e possa nela intervir com autonomia e competência". Grande parte destes

conhecimentos, necessários para a compreensão dos fenômenos da vida, estão apresentados e avaliados em uma ferramenta de ensino que já possui mais de oito décadas no Brasil, o Livro didático.

2.3.1 O livro didático de biologia e os conceitos ecológicos básicos no Ensino Médio

Para muitos estudantes brasileiros um importante espaço de discussão conceitual sobre questões ecológicas acontece com a mediação do professor de biologia, no uso de seus instrumentos didáticos. O livro didático é um instrumento bastante utilizado na Educação Básica da rede pública de ensino. Segundo o FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação):

> O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) é o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino brasileira e iniciou-se, com outra denominação, em 1929. Ao longo desses 80 anos, o programa foi aperfeiçoado e teve diferentes nomes e formas de execução. Atualmente, o PNLD é voltado à educação básica brasileira, tendo como única exceção os alunos da educação infantil (www.fnde.gov.br).

Mesmo ciente de que o livro didático não é a única e, em alguns casos, sequer a prioritária ferramenta de ensino disponível, é importante evidenciar que ele ainda segue como uma das referências básicas no processo de ensino. O Ministério da Educação assume a importância da existência de um processo que qualifique o livro didático enquanto ferramenta para o Ensino Médio, pois, mantém ativo o Programa Nacional do Livro Didático - PNLD avaliando os materiais didáticos e apresentando os resultados desta avaliação através da publicação de um guia. Segundo MEC/SEB (2011), no ano de 2010, foram avaliados diversos materiais didáticos e, posteriormente, as obras aprovadas foram recomendadas através da publicação do Guia de Livros Didáticos - PNLD 2012.

A avaliação pedagógica e conceitual, no âmbito do PNLD 2012, foi realizada com base em critérios de duas naturezas: critérios comuns para os diversos componentes curriculares e critérios específicos para cada componente curricular. Em relação aos critérios comuns, foram observados seis itens. O item IV explicita um critério permanente e relevante ao presente objeto de estudo (MEC/SEB, 2011, p. 13): "[...] correção e atualização de conceitos, informações e procedimentos presentes na obra respeitando tanto as conquistas científicas quanto os princípios de uma adequada transposição didática".

O guia tem como objetivo o fornecimento de subsídios para que os professores possam conhecer o processo e o resultado da avaliação das coleções inscritas e submetidas em cada edição do PNLD. De acordo com MEC/SEB (2011, p. 07), "O papel principal do Guia é apresentar as principais características das coleções aprovadas, por meio das resenhas que o compõem". Das dezesseis coleções apresentadas ao MEC, oito foram aprovadas para o ano de 2012.

Em seu bloco 4 que trata de conceitos, linguagens e procedimentos, o Guia PNLD 2012 (MEC/SEB, 2011) deixa explícito um critério referente à "correção e atualização de conceitos, informações e procedimentos" e sustenta a necessidade da realização de análises conceituais. Neste bloco, cabe destacar três itens. São eles: o item 4.3 que discute sobre "a

compreensão da vida como a manifestação de sistemas organizados e integrados, em constante interação com o ambiente físico-químico e cultural [...] (MEC/SEB, 2011, p. 13). O item traz para discussão uma visão sistêmica de organização e interelação dos sistemas vivos; O item 4.7 discute a apresentação do conhecimento biológico "[...] de modo a superar a compreensão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes (MEC/SEB, 2011, p. 14)". Neste item, considera-se a discussão da filosofia da ciência entre as perspectivas mecanicista/fisicalista e holista/organicista; e o item 4.8 que avalia se o material:

> Propicia a relação dos conceitos da Biologia com os de outras ciências, para entender processos como os referentes à origem e à evolução da vida e do universo, o fluxo da energia nos sistemas biológicos, a dinâmica para sustentabilidade dos ambientes naturais (MEC/SEB, 2011, p. 14).

Em relação aos conteúdos gerais, os PCN (2000, p. 35) afirmam que "Tradicionalmente o ensino da Biologia tem sido organizado em torno das várias ciências da vida – Citologia, Genética, Evolução, Ecologia, Zoologia, Botânica, Fisiologia [...]". Estas divisões gerais são comuns nas obras didáticas estudadas.

Os livros didáticos são, geralmente, divididos em coleções. Cada coleção representa um livro (volume) que, por sua vez, é estruturado em unidades e capítulos, nesta ordem decrescente. Alguns autores, como Lopes e Rosso (2010) preferem iniciar os conteúdos de ecologia no volume I, ou seja, no início do Ensino Médio. Esses autores discutem a importância destes fundamentos para as primeiras séries, em concordância com as sugestões dos parâmetros nacionais (PCN, 2000). Porém, outros autores preferem deixar a compreensão dos fenômenos ecológicos para o final, geralmente, no volume III. Desta forma, os conteúdos ecológicos serão desenvolvidos durante a 3ª série do Ensino Médio. Apesar de estar mudando o cenário, comumente, os conceitos de ecologia fazem parte das páginas finais dos livros de biologia.

A seguir, estão relacionados alguns conceitos considerados básicos em ecologia. Estes conceitos estão presentes, impreterivelmente, nos livros didáticos aprovados pelo MEC para o ensino de biologia no ano de 2012.

- **Biosfera**

De acordo com Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 110), "A biosfera é o revestimento vivo do nosso planeta, a camada onde a vida se desenvolve". Segundo Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 216), "O conjunto de florestas, campos, desertos e de outros grandes ecossistemas forma a biosfera: conjunto de regiões do planeta em condições de sustentar a vida de modo permanente". Para Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 203), "[...] a vida na Terra se desenvolve em uma camada de apenas 15 km de espessura. Essa fina camada, formada pelo conjunto dos seres vivos e dos meios em que vivem, é denominada biosfera". Laurence e Mendonça (2010, p. 36) escrevem que "Já sabemos que os seres vivos são encontrados na água, no ar e no solo. O conjunto de todos esses lugares onde são encontrados os seres vivos na Terra constitui a biosfera terrestre". Amabis e Martho (2010, p. 231) conceituam: "A Biosfera pode ser definida como o conjunto de regiões do ambiente terrestre onde há seres vivos".

- **Ecossistema**

Para Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 216), "A reunião e a interação da comunidade com o ambiente físico formam um sistema ecológico ou ecossistema". Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 203) escrevem que "[...] a unidade ambiental formada pelo biótopo e pela biocenose – que se condicionam mutuamente – constitui um ecossistema" e, reforçam:

> O estudo das relações dos organismos entre si e com o ambiente é o objetivo da ecologia. A análise das interações que se produzem entre todos os seres vivos e os ambientes que eles habitam é uma tarefa difícil, se pensada em termos globais. Por isso, uma das maneiras de compreender os fenômenos que ocorrem em escala planetária é decompor o estudo em unidades mais simples, denominadas ecossistemas (SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA (2010, p. 203).

Amabis e Martho (2010, p. 292) escrevem que “O termo ecossistema foi utilizado pela primeira vez, em 1935, pelo ecólogo Artur George Tansley (1871 - 1955) para descrever uma unidade em que os seres vivos (comunidade biológica) e fatores abióticos (físicos e químicos) interagem, formando um sistema estável". Segundo Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 111), "Os fatores bióticos (biocenose) e abióticos (biótopo) do ambiente são inseparáveis e estão em constante interação, constituindo o que se denomina sistema ecológico ou ecossistema". Laurence e Mendonça (2010, p. 36) escrevem que “Estudando os diversos lugares onde estão os seres vivos, podemos delimitar diversos conjuntos da biosfera: uma floresta, uma lagoa, um rio, um mar etc. Cada um desses conjuntos pode ser considerado um ecossistema”.

- **Comunidade biológica**

Para Amabis e Martho (2010, p. 232), “O conjunto de populações de diferentes espécies que vivem em uma mesma região, mantendo relações entre si, constitui uma comunidade biológica”. Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 203) afirmam que "o espaço físico do ecossistema é denominado biótopo. O biótopo apresenta determinadas características físico-químicas e aloja um conjunto de seres vivos, denominados, em conjunto, biocenose ou comunidade". Laurence e Mendonça (2010, p. 37) descrevem que “Em um ecossistema existem diversas populações de espécies distintas e o conjunto de todas elas constitui uma comunidade biológica”. Segundo Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 215), “Populações que habitam a mesma área mantêm entre si várias relações e formam um novo nível de organização, chamado de comunidade, biocenose, biota ou comunidade biótica”. De acordo com Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 110), "Os diferentes biomas são ocupados por comunidades ou biocenoses, que compreendem os conjuntos de seres vivos de diferentes espécies que interagem em um determinado ambiente denominado biótopo".

- **População**

Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 203) entendem que o conceito de população equivale a "[...] grupos de indivíduos da mesma espécie". Laurence e Mendonça (2010, p. 37) escrevem que “Em um ecossistema vivem diversas espécies de seres vivos. O conjunto de todos os indivíduos de uma mesma espécie em uma determinada área geográfica constitui uma população”. Para Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 215), “As populações são formadas quando vários indivíduos da mesma espécie passam a viver em uma mesma área e mantêm relações entre si”. De acordo com Amabis e Martho (2010, p. 232), “As diferentes espécies distribuem-se em grupos de indivíduos, chamados de populações biológicas”. Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 110) definem população como sendo: "indivíduos de mesma espécie e com prole fértil adaptados ao seu habitat".

- **Habitat**

Para Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 216), “O lugar em que uma espécie é encontrada chama-se habitat”. Amabis e Martho (2010, p. 233) descrevem habitat como “O ambiente em que vivem determinadas espécies ou comunidades biológicas, caracterizado por suas propriedades físicas e bióticas”. Segundo Laurence e Mendonça (2010, p. 37), “Os organismos de cada população ocupam determinado lugar no ecossistema falando-se em habitat”. Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 114) definem habitat da seguinte forma: "Cada

espécie ou população ocupa uma área à qual está bem adaptada, o seu habitat, que é a somatória de todos os pontos onde ela pode ser encontrada e engloba as condições bióticas e abióticas locais".

- **Nicho ecológico**

De acordo com Amabis e Martho (2010, p. 233):

> Cada espécie de ser vivo está adaptada a seu hábitat. Essa adaptação permite que as populações sejam capazes de se desenvolver e manter o tamanho populacional quando um conjunto de condições do local é satisfeito. Essas condições vão desde os tipos de alimento utilizados até as condições de reprodução, moradia, hábitos, inimigos naturais, estratégias de sobrevivência etc. Esse conjunto de condições necessárias constitui o nicho ecológico da espécie (AMABIS e MARTHO, 2010, p. 233).

Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 216) definem: “O conjunto de relações que a espécie mantém com as outras espécies e com o ambiente físico recebe o nome de nicho ecológico ou, simplesmente, nicho”. Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 205) escrevem que "[...] a atuação dos organismos com o seu meio físico e biológico recebe o nome de nicho ecológico". Para Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 114), "O nicho ecológico representa a função de cada espécie no seu habitat, ligada principalmente às necessidades alimentares e à posição que ela ocupa nas relações alimentares, ou seja, compreende o que, onde e quando ela come".

Através de um exemplo de interações interespecíficas, Laurence e Mendonça (2010) explicam o conceito de nicho ecológico:

> [...] as plantas realizam fotossíntese e servem de alimento para animais herbívoros, como o peixe-boi. Essas plantas necessitam de luz e nutrientes em quantidades adequadas para a realização de suas funções vitais, dependem da velocidade da correnteza do rio e de muitos outros fatores que interferem em sua sobrevivência. A descrição desses fatores constitui o nicho ecológico dessas plantas. Cada população apresenta um determinado nicho ecológico (LAURENCE e MENDONÇA, 2010, p. 37).

- **Ciclos biogeoquímicos**

Para Laurence e Mendonça (2010, p. 54), “[...] troca de materiais entre ambiente e seres vivos indica que a matéria, diferentemente do que acontece com a energia, pode ser reciclada, formando os ciclos biogeoquímicos”. Segundo Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 236), “O processo contínuo de retirada e devolução de elementos químicos à natureza constitui os ciclos biogeoquímicos”. De acordo com Amabis e Martho (2010, p. 240), “Uma vez que os átomos dos diversos elementos químicos que faziam parte de seres vivos voltam ao ambiente não vivo, ocorre o que se denomina ciclos biogeoquímicos (do grego *bios*, vida, e *geo*, Terra)”. Para Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 211), "O circuito percorrido pelos elementos dentro dos ecossistemas é chamado de ciclo biogeoquímico". Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 129) explicam que "Enquanto a energia tem um caminho de mão única nos ecossistemas, graças aos decompositores a matéria circula entre os seres vivos e o meio abiótico. Esses caminhos circulares dos elementos químicos são chamados ciclos da matéria ou ciclos biogeoquímicos".

- **Sucessão ecológica**

Amabis e Martho (2010, p. 290) afirmam que “Sucessão ecológica é o processo de colonização de um ambiente por seres vivos, em que a composição das comunidades vai se

alterando ao longo do tempo". Para Linhares e Gewandsznajder (2010, p. 293), "A substituição de uma comunidade por outra ao longo do tempo é denominada sucessão ecológica". Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 200) entendem que o "[...] processo de contínua alteração dos ecossistemas se dá o nome de sucessão ecológica". Laurence e Mendonça (2010) conceituam dizendo:

> [...] sucessão de comunidades em um dado local, até o estabelecimento de uma comunidade clímax. Esse processo é gradual e ocorre porque, a partir da colonização do ambiente pelos primeiros seres vivos, o ambiente vai sofrendo modificações locais provocadas pelos próprios organismos, como alterações na temperatura, no solo e nas condições de umidade (LAURENCE e MENDONÇA, 2010, p. 65).

Pezzi; Gowdak; Mattos (2010, p. 147) escrevem: "As comunidades realizam contínuos reajustes às condições ambientais como alterações de temperatura e umidade, por exemplo, num processo denominado sucessão ecológica".

Os conceitos básicos presentes nos livros didáticos, mencionados há pouco, permitem uma visão geral do que trata a ecologia. Contudo, novos conceitos estão surgindo na ciência e oportunizando a ampliação e, muitas vezes, a redescoberta do funcionamento do mundo vivo. Neste sentido, a ecologia passa por um processo de transformação, apoderando-se de ferramentas, noções e conceitos de outras áreas do conhecimento. Assim, através da emergência de conceitos sobre sistemas complexos (complexidade), um novo diálogo se torna oportuno e pode contribuir para uma retomada do desafio sistêmico próprio da ecologia.

2.4 Os Sistemas Complexos e a Ecologia: Noções e Conceitos

Reconhecemos, falamos, estudamos e escrevemos sobre coisas complicadas e, por conseguinte, complexas. Segundo o dicionário Michaelis (2008, p. 205), a palavra *complexo* significa: "1 Que abrange ou encerra muitos elementos ou partes. 2 Que pode ser considerado sob vários pontos de vista. 3 Complicado, confuso [...]" e o termo *complexidade* expressa: "Qualidade do que é complexo". Contudo, isso não basta para a compreensão das raízes científicas, históricas e até mesmo divergentes, em relação ao termo "complexidade". Muitos já estão falando e, talvez, poucos saibam afundo o que significa um sistema complexo para além de sua mera complicação aparente (confusão). Com relação a este aspecto, Dawkins (2000) acena dizendo:

> Nos últimos tempos, a correspondência que recebo tem registrado um grande aumento na carga normal de "teoria do caos", "teoria da complexidade", "criticalidade não-linear" e expressões semelhantes. Não estou dizendo que esses correspondentes não tenham a mais leve e enevoada idéia do que estão falando. Mas direi que é difícil descobrir se sabem ou não do que estão falando. Todos os tipos de cultos da Nova Era nadam em falsa linguagem científica, um jargão regurgitado e meio compreendido: campos de energia, vibração, teoria do caos, teoria da catástrofe, consciência quântica (DAWKINS, 2000, p. 244).

É preciso evidenciar as noções, conceitos e teorias em torno da proposta de complexidade, dentro do cenário científico histórico, tornando claro quais elementos oportunizam a discussão desta proposta e quais outros elementos limitam a generalização e a transposição no uso destes termos. Dawkins (2000, p. 245) reforça que "A incerteza quântica e a teoria do caos têm causado efeitos deploráveis sobre a cultura popular, muito a

contragosto dos aficionados genuínos". Não somente na biologia e na ecologia é que a ciência reage de maneira combativa às "novidades". A teoria da evolução, proposta por Darwin, ainda é um exemplo evidente destas reações de enfrentamento. As tentativas de refutação, as críticas, os testes, as convicções e as evidências, fazem parte do funcionamento da ciência e da sua própria construção.

Buscando nada mais que um marco para a ciência da complexidade, Prigogine e Stengers (1997), a partir da reflexão sobre estudos da propagação de calor, manifestam o seguinte:

> No que concerne à ciência da complexidade, não hesitamos em a fazer "começar", nesse sentido, em 1811. Nesse ano [...] o barão Jean-Joseph Fourier, administrador civil do departamento do Isère, obtém o prêmio da Acadêmia pelo seu estudo teórico da propagação do calor nos sólidos. Laplace, Lagrange e seus discípulos, por mais que reunissem suas forças para criticar a nova teoria, tiveram que ceder. O sonho laplaciano, no momento da sua maior gloria, sofreu um primeiro fracasso: uma teoria física passa a existir, matematicamente tão rigorosa como as leis mecânicas do movimento, e absolutamente estranha ao mundo newtoniano; a física matemática e a ciência newtoniana deixaram de ser sinônimas (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 84).

Nesse período, os estudos sobre calor abalaram boa parte da hegemonia dialógica entre física e matemática, afetando a convicção da ciência em descobrir uma verdade global da natureza com base na mecânica. Para a biologia está bastante claro que, foi sob uma perspectiva de ciência reducionista e mecanicista que grandes êxitos foram obtidos. Infelizmente, a ecologia (que surge na contracorrente) não obteve os mesmos resultados. A confiança em que a visão reducionista é suficiente para compreender os fenômenos mais complexos da natureza, a exemplo do funcionamento cerebral e do funcionamento dos ecossistemas, está bastante enraizada no seu resultado satisfatório até o presente momento. Estes resultados foram construídos sobre determinados horizontes porque estavam em sintonia com a lógica da ciência "modelo", a física em seu reducionismo. Sob a condição de reduzir os sistemas mais complexos em parte menores e, estudá-las a fundo é que as ciências da natureza buscaram avançar.

> Embora a filosofia da ciência sempre tenha sido holística na busca da compreensão dos fenômenos em tempos recentes, a prática da ciência se tornou altamente reducionista na busca da compreensão dos fenômenos, por meio de estudo detalhado de componentes cada vez menores (ODUM E BARRETT, 2008, p. 08).

Os componentes menores foram se tornando cada vez mais diminutos, mas, o resultado da interação destes componentes, poucas vezes, coincide com o estudo das suas partes. A química traz um exemplo interessante quando batiza o átomo, em seguida chega-se ao quark e, logo, está feita a confusão de partículas. O problema da unidade indivisível segue adiante. Muitas vezes, quando se tornava impossível compreender a "expressão" das unidades menores em um sistema maior, entendia-se que o problema estava na falta de conhecimento dos detalhes de cada parte e não na falta de método adequado para compreender o sistema. Foi então que, segundo Souza e Buckeridge (2004):

> [...] por volta da década de 1960, graças ao advento de computadores mais eficientes e técnicas matemáticas mais refinadas, que Edward Lorenz percebeu que havia algo errado quando tentava fazer com que seu

> computador fizesse uma previsão do tempo. Ele percebeu que, ao dar entrada aos números iniciais para que as equações calculassem as probabilidades de ocorrência de eventos climáticos, números bem à direita da vírgula faziam uma diferença enorme. Lorenz compreendeu que pequenas diferenças eram fundamentais e daí surgiu o famoso signo do “efeito borboleta”[...](SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 407).

O panorama científico para tais descobertas em meados do século XX estava mais voltado para considerá-las meras exceções do que para considerá-las novas perspectivas de se fazer ciência. As primeiras críticas biológicas ao reducionismo extremo, que tiveram eco dentro da ciência, aconteceram na década de 1970. Ainda que, para Souza e Buckeridge (2004, p. 407), "Na realidade, os pilares fundamentais para a constatação de que as relações entre as leis naturais poderiam ser bem diferentes do que se pensava haviam sido plantados bem antes".

Souza e Buckeridge (2004, p. 408) entendem genericamente que "[...] sistemas complexos são aqueles compostos de muitos elementos e/ou subsistemas diferentes interagindo espacialmente e temporalmente de forma não linear, gerando padrões emergentes que são observáveis apenas em escalas maiores". Odum e Barrett (2008, p. 372) utilizam-se da expressão "Teoria da Complexidade" para dialogar sobre o deslocamento no uso da energia, do crescimento à manutenção e reforçam que "Shannon (1950), o "pai da teoria da informação", observou que a desordem crescente é uma propriedade de todos os sistemas complexos".

> Na imensa maioria dos casos, nossas descrições de estruturas e mecanismos ainda são confortavelmente explicadas do ponto de vista estritamente linear e ainda que tais arcabouços intelectuais possam ser transpostos, no futuro, para visões mais amplas e modernas, as ferramentas intelectuais necessárias para implementar tal visão de fenômenos na área de ciências vegetais já estão disponíveis (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 408).

A ciência mecanicista, linear e previsível, parece não possibilitar boa parte da compreensão da complexidade dos fenômenos naturais, por isso, está se transformando. Esta complexidade vem abrindo caminho na ciência através de conceitos como: propriedades emergentes, termodinâmica do não equilíbrio, estruturas dissipativas, auto-organização, não linearidade, caos determinístico, atratores e outros. Esses conceitos permitem a ampliação e o resgate do diálogo da síntese que a ecologia necessita, ou seja, a análise não fragmentada das complexas relações e interações entre os fatores ambientais e a vida integrante destes ambientes. Wolf e Holvoet (2005, p. 03) propõem uma discussão mais aprofundada sobre alguns desses conceitos em torno da complexidade e suas etimologias. Os autores dialogam sobre a existência de quatro linhas de pesquisa: a teoria dos sistemas adaptativos complexos, famosa no Instituto de Santa Fé, referindo-se aos padrões em nível macro resultantes da interação dos agentes; a teoria da não linearidade dos sistemas dinâmicos e a teoria do caos, que promulga o conceito central de atratores; a escola sinergética que iniciou, entre outros, o estudo da emergência em sistemas físicos; e, a termodinâmica do não equilíbrio, introduzida por Prigogine, a partir das estruturas dissipativas. Com base nestes enfoques conceituais, Souza e Buckeridge (2004) escrevem:

> Acreditamos que tal visão permita uma apreciação mais aprofundada e mais próxima da realidade dos vegetais, de forma a possibilitar a compreensão e mesmo o estabelecimento de correlações imperceptíveis, quando usamos estritamente ferramentas do universo linear (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 408).

Considerando a integração das quatro linhas de pesquisa propostas por Wolf e Holvoet (2005) e a importância destes trabalhos para o estudo da dinâmica e evolução dos ecossistemas, são apresentados alguns conceitos em torno da complexidade:

2.4.1 Propriedades emergentes

Mayr (2008) apresentou o fenômeno da "emergência" (chamado atualmente) em uma palestra na década de 1950. Para ele, este fenômeno era considerado uma característica peculiar do mundo vivo, porém, ficou surpreso com o que ouviu:

> Naquela época o conceito de emergência era considerado algo quase metafísico. Portanto, quando o físico Niels Bohr, que estava na platéia, se levantou para falar durante o período de discussão, eu estava totalmente preparado para uma refutação devastadora. No entanto, para minha grande surpresa, ele não fez nenhuma objeção ao meu conceito de emergência, mas somente à minha afirmação de que tal conceito estabelecia uma fronteira entre as ciências físicas e as biológicas. Citando o caso da água, cuja "aquosidade" não poderia ser prevista a partir das características de seus dois componentes, o hidrogênio e o oxigênio, Bohr declarou que a emergência era algo frequente no mundo inanimado (MAYR, 2008, p. 13).

Na condição onde duas substâncias com características específicas se juntam e formam uma terceira substância, com características totalmente distintas, percebemos o surgimento de uma nova propriedade. Hoje esta inovação no sistema é considerada uma "propriedade emergente". Este fenômeno da emergência também é reconhecido por outras nomenclaturas. Embora havendo divergência em seus enfoques, há um aspecto comum, uma afinidade. Segundo Odum e Barrett (2008):

> O processo de muitas partes trabalhando juntas para atingir a ordem foi chamado de sinergética por Haken (1977). Ulanowicz (1980, 1997) usou o termo ascendência para a tendência de sistemas auto-organizados dissipativos desenvolverem a complexidade da biomassa e do fluxo em rede ao longo do tempo, como é observado no processo de sucessão ecológica. Tanto Holland (1998) como S. Johnson (2001) se referiram ao processo de emergência (ODUM E BARRETT, 2008, p. 356).

O processo de emergência é responsável pelo surgimento de novas estruturas ou propriedades que não se fazem presentes em um nível menos complexo. A sucessão ecológica deixa este conceito bastante evidente à medida que ocorre o surgimento de novas fisionomias no sistema. Odum e Barrett (2008) reforçam que:

> Uma consequência importante da organização hierárquica é que, à medida que os componentes, ou subconjuntos, se combinam para produzir um todo funcional maior, emergem novas propriedades que não estavam presentes no nível inferior. Por conseguinte, uma **propriedade emergente** de um nível ou unidade ecológica não pode ser prevista com base no estudo dos componentes desse nível ou unidade. Outra forma de expressar o mesmo conceito é a **propriedade não redutível** – ou seja, uma propriedade do todo

> não é redutível da soma das propriedades das partes (ODUM E BARRETT, 2008, p. 07, grifo do autor).

A noção de propriedade emergente não se explica através da redução do todo em partes, ou seja, em sintonia com o reducionismo científico. O reducionismo no sentido de restringir a explicação de fenômenos biológicos aos componentes moleculares deixa transparecer, claramente, os limites dessa visão. A obtenção de novos dados em estudos sobre genética tem evidenciado uma problemática bastante lúcida, com relação à superação e resignificação de conceitos, em função de novas propriedades descobertas. As diversas variações de "comportamentos" dos genes têm comprometido os esforços reducionistas em definir o gene como uma unidade estrutural e funcional. Odum e Barrett (2008, p. 07) reforçam que "[...] embora descobertas em qualquer nível auxiliem no estudo do próximo nível, nunca explicam completamente os fenômenos que ocorrem no próximo nível, o qual deve ser estudado por si só para completar o panorama". Entretanto, está claro que os estudos das partes dos sistemas são fundamentais na construção do conhecimento e na compreensão dos fenômenos da natureza. As diferentes abordagens se complementam. Cabe ao pesquisador adequar qual estratégia pode contribuir para tratar de cada problema biológico-ecológico em seu nível de complexidade.

Ainda podemos reconhecer as diferenças entre as propriedades emergentes de um sistema e as propriedades coletivas, pois, Odum e Barrett (2008), utilizando a taxa de natalidade de uma população, como exemplo de propriedade coletiva, escrevem:

> Salt (1979) sugeriu uma distinção entre propriedades emergentes, como previamente definido, e **propriedades coletivas**, que são o somatório dos comportamentos dos componentes. Ambos são propriedades do todo, mas as propriedades coletivas não envolvem características novas ou únicas resultantes do funcionamento da unidade como um todo (ODUM E BARRETT, 2008, p. 07, grifo do autor).

Nesta perspectiva de diálogo entre propriedades coletivas e propriedade emergentes, Massoni (2008, p. 04) afirma que "Poincaré, no final do século XIX, mostrou que existem sistemas chamados integráveis, mas que a maioria dos sistemas dinâmicos é não integrável". Os fenômenos ecológicos incluem inúmeras propriedades que emergem da interação dos organismos e do ambiente, propiciando a formação de sistemas extremamente complexos. Para Souza e Buckeridge (2004, p. 409), “sistemas biológicos não são apenas estruturalmente complexos, mas também funcionalmente complexos”. Mayr (2008, p. 12-13), partindo das moléculas até populações e espécies, reforça que "Em cada sistema mais elevado emergem características que não poderiam ser previstas somente a partir do conhecimento dos seus componentes".

2.4.2 Termodinâmica do não equilíbrio

Estabelecendo o marco inicial para a termodinâmica em 1824 com o trabalho de Sadi Carnot sobre a força motriz do fogo, Prigogine e Stengers (1997, p. 83) afirmam que "A questão da qual nasceu a termodinâmica não concerne à *natureza* do calor, ou da sua ação sobre os corpos, mas à *utilização* dessa ação". O início dos estudos sobre a termodinâmica remonta à discussão sobre conservação da energia. Em 1847, Joule deu um passo decisivo definindo um equivalente geral das transformações físico-químicas, possibilitando a medição de uma grandeza que se conserva e que mais tarde fora identificada como energia (Prigogine e Stengers, 1997).

> A conservação de uma grandeza física, a energia, através das transformações que os sistemas físicos, químicos e biológicos podem sofrer, vai desde então ser colocada na base do que podemos chamar de a ciência do complexo, e vai constituir o fio condutor que permitirá explorar de maneira coerente a multiplicidade dos processos naturais (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 87-88).

Ricklefs (1996, p. 21) estreita a relação do mundo vivo com a energia dizendo que "Num certo sentido, o uso da energia de um organismo é o seu segredo de vida. [...] A habilidade de agir contra as forças físicas externas distingue o vivo do não-vivo". Desta forma, pode-se dizer que, em relação ao mundo abiótico, a vida só é possível porque se mantém fora do equilíbrio termodinâmico (Prigogine e Stengers, 1997). Para Odum e Barrett (2008):

> A energia é definida como a capacidade de executar trabalho. O comportamento da energia é descrito pelas seguintes leis: a primeira lei da termodinâmica, ou lei da conservação de energia, estabelece que a energia pode ser transformada de uma forma para outra, mas não pode ser criada nem destruída. [...] A segunda lei da termodinâmica, ou lei da entropia, pode ser exposta de várias maneiras, incluindo a seguinte: nenhum processo envolvendo transformação de energia irá ocorrer espontaneamente, a menos que haja a degradação da energia de uma forma concentrada para uma forma dispersa (ODUM E BARRETT, 2008, p. 78).

Relembrando conceitos em torno da 1ª e 2ª leis da termodinâmica, Odum (2009, p. 55) escreve que "Os conceitos fundamentais da física [...] são as mais importantes entre as "leis" naturais que se aplicam a tudo [...]. Qualquer sistema, artificial ou natural, que não esteja de acordo está condenado ao fracasso". Margalef (2005, p. 894) retrata a importância dos estudos na termodinâmica quando diz que "Os conceitos fundamentais da termodinâmica interessam diretamente porque definem algumas restrições na construção dos ecossistemas". Não somente as restrições, mas também a possibilidade da existência dos ecossistemas e da complexa diversidade viva está associada aos processos da termodinâmica. Prigogine e Stengers (1997) escrevem que:

> A termodinâmica dos processos irreversíveis descobriu que os fluxos que atravessam certos sistemas físico-químicos e os afastam do equilíbrio podem nutrir fenômeno de auto-organização espontânea, rupturas de simetria, evoluções no sentido de uma complexidade e diversidade crescentes (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 207).

Essas descobertas em torno dos processos irreversíveis como mantenedores da auto-organização sustentam a complexidade dos sistemas vivos. O reconhecimento de conceitos fundamentais aplicados ao mundo natural é de suma importância, pois, a falsa ideia de que os sistemas vivos funcionavam em desacordo com as leis da física (termodinâmica) já foi considerada motivo de muita inquietação. Nos espaços de discussão acadêmica, para Odum (2009), foi Ilya Prigogine, com seu trabalho na termodinâmica fora do equilíbrio, que:

> [...] resolveu esta contradição aparente, mostrando que a auto-organização e a criação de estruturas novas pode ocorrer, e ocorre, em sistemas longe do ponto de equilíbrio e que tenham "estruturas dissipativas" bem

> desenvolvidas, que expulsam a desordem[...] (ODUM, 2009, p. 57; ODUM E BARRETT, 2008, p. 80).

Os sistemas vivos são responsáveis pela transformação de diferentes formas de manifestação energética que alcançam à superfície do planeta, ou seja, utilizam-se da energia, principalmente, a radiação visível e o infravermelho. Cabe também aos ecologistas o estudo de como está energia se relaciona (interage e possibilita) com os sistemas vivos, inclusive, num sistema mais amplo e aberto, como em qualquer ecossistema.

> No ecossistema, a "ordem" de uma estrutura complexa de biomassa é mantida pela respiração total da comunidade, que "expulsa" continuamente a desordem. Desta forma, os ecossistemas e os organismos são sistemas termodinâmicos abertos, fora do ponto de equilíbrio, que trocam continuamente energia e matéria com o ambiente para diminuir a entropia interna, à medida que aumenta a entropia externa (obedecendo assim às leis termodinâmicas) (ODUM, 2009, p. 55).

Dentre os princípios gerais da ecologia, Rickefs (1996, p. 09) escreve que "Sistemas ecológicos funcionam de acordo com as leis da termodinâmica". A pesquisa tradicional na termodinâmica, de acordo com Margalef (2005, p. 895), aceita que em sistemas abertos, como os ecossistemas, "a dissipação de energia [...] pode criar ou manter certa organização sobre o espaço". Para Odum e Barrett (2008, p. 78), "Os organismos, ecossistemas e toda a ecosfera possuem a seguinte característica termodinâmica essencial: podem criar e manter um estado elevado de ordem interna ou uma condição de baixa entropia". Margalef (2005) complementa dizendo que "En realidad, el mundo no nos muestra otra cosa que estas condiciones aparentemente excepcionales". Assim, o que para alguns parece ser a exceção, para outros pode ser considerada a regra geral, ou seja, a dissipação da energia é responsável pela organização do espaço no tempo, de maneira irreversível (Prigogine e Stengers, 1997).

Para Rickefs (1996, p. 09), "As leis da termodinâmica, que se aplicam à energia na natureza, governam as transformações físicas e químicas nos sistemas biológicos [...]". Entretanto, os questionamentos sobre os processos de entrada e fluxo de energia nos sistemas vivos passaram por um longo período de inércia. Pouco fora discutido pelos ecólogos com base nos princípios da termodinâmica, fazendo com que a relevância destes conceitos ficasse sucumbida, restrita a poucos pensadores. Tão somente há poucos anos, os princípios da termodinâmica aplicados a ecologia, retornam à pauta científica. Segundo Ricklefs (2003), o início das discussões sobre populações e comunidades, como transformadores de energia aconteceu com Lotka.

> Alfred J. Lotka, um químico por treinamento, foi o primeiro a considerar as populações e comunidades como sistemas transformadores de energia. [...] acreditava que o tamanho de um sistema e as taxas de transformações de energia e matéria dentro dele obedeciam a certos princípios termodinâmicos que governam todas as transformações de energia (RICKLEFS, 2003, p.118).

Compreender a dependência que a vida no planeta Terra tem do fluxo incessante de energia, proveniente do sistema solar, é de extrema importância, assim como reconhecer a própria vida como produto de processos irreversíveis através da termodinâmica do não equilíbrio. Afinal, segundo Prigogine e Stengers (1997):

> O ser vivo não está por toda a parte igualmente vivo. Dizer que funciona longe do equilíbrio é, no mínimo, insuficiente. O nosso problema não é, pois,

> reduzir o ser vivo a uma descrição única, mas aprender a descrever a "economia política" dos processos naturais, aprender como a energia, a matéria e as informações são armazenadas, transformadas e distribuídas (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 143-144).

Os autores propõem um desafio que extrapola as fronteiras da biologia e da ecologia. A descrição da economia política da natureza, proposta por Prigogine e Stengers, se integra à alçada da ciência em geral. Contudo, para a ecologia cabe um resgate e uma ampliação no uso de conceitos provenientes da física. Margalef (2005) mencionando a relevância das leis físicas, inclusive, a segunda lei da termodinâmica necessária para uma melhor compreensão dos sistemas vivos, escreve:

> [...] es una pena que algunos de los intentos de construir una biología teórica se hayan basado más bien en leyes del otro grupo y es igualmente lamentable la persistencia a querer ver en la vida cierta intención maligna a escamotear o no cumplir ciertas leyes impuestas por la física. Es en este nivel que encuentran su lugar natural algunas preguntas relativas a por qué ciertas cosas son como son y no de otro modo (MARGALEF, 2005, p. 883).

Esse diálogo com a física, através da termodinâmica, é válido para a compreensão dos ecossistemas, das comunidades, das populações, dos organismos, da vida. Para Prigogine e Stengers (1997, p. 144) "[...] os processos da natureza complexa e ativa, nossa própria vida, só são possíveis por serem mantidos longe do equilíbrio pelos fluxos incessantes que os nutrem".

2.4.3 Estruturas dissipativas

A ideia de um mundo ordenado pela estabilidade, através do equilíbrio termodinâmico, não se encaixa com a proposta das estruturas dissipativas. Para Margalef (2005, p. 895), é possível estabelecer alguns acordos sobre esta estruturas, pois, é através da "[...] existencia de inestabilidades que rompen la simetría y dan origen a estructuras disipativas, que se pueden considerar como sistemas abiertos que se mantienen por intercambio de materia y energía con volúmenes limítrofes".

A noção da necessidade de estruturas capazes de diminuir a desordem, possibilitando a organização da vida e dos ecossistemas, tem como pioneiro o físico Prigogine. Em entrevista com Ilya Prigogine falando sobre o livro "A Nova Aliança", Pessis-Pasternak (1993, p. 35) escreve:

> Um dos fundadores dessa nova visão do mundo é Ilya Prigogine – nascido em Moscou em 1917 -, premiado em 1977 com o Nobel Química por suas contribuições à termodinâmica do não-equilíbrio, e particularmente por sua teoria das "estruturas dissipativas" – criação da ordem pela desordem. Esse espírito pré-socrático inventou o conceito de "ordem por flutuações": paradigma saudado por Michel Serres como "a novidade", que prova que o caos entrópico, através de ínfimas flutuações/bifurcações, é fonte de evolução, de surgimento de novas organizações complexas (PESSIS-PASTERNAK, 1993, p. 35-36).

Prigogine nos situa em relação aos caminhos percorridos dentro da física, passando pelos estudos da dinâmica, termodinâmica do equilíbrio e, então dialogando sobre a termodinâmica do não equilíbrio através da noção sobre estruturas dissipativas. Estas estruturas, segundo Massoni (2008, p. 03), "[...] são próprias de processos irreversíveis e

revelam que ocorre a criação de ordem longe do equilíbrio termodinâmico". Na termodinâmica do equilíbrio, que, segundo Prigogine e Stengers (1997, p. 103) constitui: "[...] a primeira resposta dada pela física ao problema da complexidade da natureza", é possível reconhecer vários limites explicativos em relação aos sistemas vivos. Diversos exemplos de fenômenos cotidianos evidenciam esses limites explicativos, Prigogine e Stengers (1997) apontam alguns destes limites:

> [...] não é somente a natureza viva que é radicalmente estranha aos modelos da termodinâmica de equilíbrio. A hidrodinâmica, a ciência dos fluxos e das turbulências, a meteorologia e a ciência da organização instável das massas de ar em função dos fluxos de matéria e de calor descrevem a natureza inanimada como a sede de fluxos incessantes que a constituem como ativa e organizada (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 102).

As formas e estruturas que a natureza encontrou para estabelecer a ordem através da desordem e canalizar a energia pelo sistema são de fundamental importância para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas. De acordo com Margalef (2005, p. 896), “No hace falta insistir en la noción de sistema disipativo: pero sí en el desarrollo de estructuras persistentes que canalizan la disipación de energía, y que se pueden considerar como la esencia del mecanismo”.

Estas estruturas responsáveis pela dissipação de energia no sistema vivo, normalmente, se apresentam como mecanismos bioquímicos. Segundo Margalef (2005, p. 896), “En todos los niveles de organización dotados de vida, o compuestos de elementos vivos, se identifican estructuras perdurables aunque es más común que tengan la forma de *mecanismos bioquímicos* que actúan con rigidez funcional […]”. Não somente através da unidade é que as estruturas dissipativas são percebidas. Dialogando sobre as estruturas dissipativas nos sistemas vivos, Odum e Barrett (2008, p. 80) afirmam que "A respiração da biomassa altamente ordenada é a "estrutura dissipativa" em um ecossistema". De acordo com Margalef (2005, p. 896), “[...] organismos y ecosistemas son manifestaciones materiales del puente o ruta que va desde la captura de fotones hasta el sumidero final de energía […]”.

É possível representar um modelo de ecossistema bastante simplificado que nos mostra o fluxo rápido da energia no sistema. Margalef (2005) escreve que:

> Un modelo físico muy simplificado de ecosistema puede consistir en simples moléculas fluorescentes, en las que determinados átomos se excitan por radiación incidente y luego ceden la energía que, finalmente, abandona la molécula en forma de radiación de onda más larga que la radiación excitante. En cada molécula, el sumidero local de energía está muy próximo al lugar donde se captan los fotones. […] (MARGALEF, 2005, p. 897).

Em um sistema mais biodiversificado e complexo, este fluxo de dissipação energética ganha uma nova dimensão, pois, as estruturas que o integram podem ser bastante distintas e dinâmicas. Margalef (2005, p. 897) exemplifica esta diversidade, dizendo que “[…] un bosque con su amplio sistema de transporte, constituido no solo por raíces, troncos y ramas, sino también por los animales”. Esta nova dimensão, ou seja, a diversidade do ecossistema, não altera o sentido do fluxo energético, todavia, faz com que o ritmo da dissipação energética seja diferenciado em cada sistema. Odum e Barrett (2008, p. 356) percebem que "[...] o desenvolvimento do ecossistema é mais do que apenas a sucessão de espécies e interações evolutivas, como competição e mutualismo: há uma base energética".

Tanto as plantas, através da fotossíntese, quanto os ecossistemas manifestam inúmeras formas de organização. Ambos os sistemas (planta ou ecossistema) necessitam estabilizar os

fluxos de energia no ambiente para se manterem. Mesmo que este fluxo seja o grande propulsor, também é o grande desafio da vida. Neste sentido, Margalef (2005, p. 895) escreve que "A diferença entre um corpo vivo e um morto deve ser entendida como resultado da ruptura e desestabilização de um sistema maior, que desconecta ao conjunto material de um sistema dissipativo amplo". Desta forma, o autor traz uma reflexão sobre algumas das questões mais básicas da vida como, por exemplo, o que é um ser vivo? Um complexo sistema dissipativo organizado?! Prigogine e Stengers (1997) concluem de forma mais geral a respeito das estruturas dissipativas na biologia, dizendo:

> [...] as perspectivas abertas pela descoberta das estruturas dissipativas permitem admitir uma concepção da ordem biológica que faça jús à especificidade do fenômeno vivo, superando o conflito muito antigo entre reducionistas e anti-reducionistas (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 125).

Esse conflito histórico entre a abordagem reducionista e não reducionista, pode ser entendido de maneira complementar. Uma visão holista não pretende acabar com a abordagem reducionista. O que se espera é uma complementação entre as diferentes abordagens. Cada situação ecológica pode conter diferentes formas de aproximação de acordo com o nível de complexidade que exige. Estabelecendo uma ligação entre a ecologia e as estruturas dissipativas, Margalef (2005, p. 897) sintetiza este cenário dizendo que "[...] o propósito é voltar a examinar princípios muitos sensíveis da Ecologia, introduzindo pontos de vista mais universais".

2.4.4 Auto-organização

Do ponto de vista dos fluxos energéticos, a capacidade de organização dos sistemas vivos parecia não estar em sintonia com os conhecimentos das leis físicas (entropia). Esta situação perdurou e perturbou na ciência por um período considerável. Entretanto, através do desenvolvimento de um novo acervo teórico-conceitual, este cenário parece ter sido resolvido.

Odum e Barrett (2008, p. 356) definem a "auto-organização" como "[...] o processo pelo qual os sistemas complexos, que consistem em muitas partes, tendem a se organizar para atingir, na ausência de interferências externas, algum tipo de estado estável de pulsação". Este processo de organização dos ecossistemas, enquanto sistema complexo, torna-se possível por vários motivos e, dentre eles, há uma condição essencial: o fluxo constante de energia. Para Odum e Barrett (2008, p. 356), "Os ecossistemas auto-organizados podem ser mantidos somente por um constante fluxo de energia por meio deles; portanto, não estão em equilíbrio termodinâmico". É neste sentido que Prigogine e Stengers (1997) dialogam sobre o papel construtivo da irreversibilidade na natureza e, portanto, na constituição dos ecossistemas:

> Descobrimos que a irreversibilidade desempenha um papel construtivo na natureza, já que permite processos de organização espontânea. [...] Encontramo-nos num mundo irredutivelmente aleatório, num mundo em que a reversibilidade e o determinismo figuram como casos particulares, em que a irreversibilidade e a indeterminação microscópicas são regra (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 08).

Discorrendo sobre a relevância dos processos de auto-organização para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas, Margalef (2005, p. 894) escreve que "[...] o mais interessante no estudo da sucessão não é precisamente destacar certas regularidades no tempo,

senão descobrir mecanismos que operam constantemente na auto-organização dos ecossistemas".

As estruturas da vida respondem ao meio em que estão condicionadas de maneira organizada. Para Gell-Mann (apud Souza e Buckeridge, 2004, p. 408-409), “Este tipo de sistema, com capacidade de responder de forma organizada aos estímulos externos, denomina-se Sistema Adaptativo Complexo (SAC)”. Para Nussenzveig (1999, p. 17), "Um sistema complexo adaptativo parece representar uma situação intermediária entre a ordem e o caos".

> De maneira mais geral, podemos conceber o desenvolvimento de sistemas organizados, ou o fenômeno da auto-organização, com um processo que induz variações na complexidade de um sistema, frequentemente aumentos de complexidade, simultaneamente estrutural e funcional, resultante de uma sucessão de desorganizações geradas por distúrbios internos ou externos ao sistema (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 410).

Dialogando sobre a existência de processos de retroalimentação (tipo “botton up”, de baixo para cima e processos do tipo “botton down”, de cima para baixo) que atuam sobre a organização dos sistemas vivos, Souza e Buckeridge (2004) afirmam que:

> As características relacionadas à distribuição ou frequência de espécies e até mesmo a dinâmica de uma sucessão florestal, dependem dos estados fisiológicos de cada indivíduo em cada espécie frente às eventuais pressões de seleção natural. Assim, dependendo da capacidade dos organismos em responder às perturbações ambientais, a estrutura da comunidade em uma determinada região poderá variar ao longo do tempo (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 413).

Nesta perspectiva é importante não desprezar as possibilidades de variações em um processo de sucessão ecológica. As respostas dinâmicas dos indivíduos, frente os fatores que influenciam seu desenvolvimento, alteram, constantemente, as condições iniciais do sistema. Por exemplo, uma clareira, aberta pela queda de uma árvore de grande porte, nem sempre oportunizará o crescimento das mesmas espécies pioneiras que neste local já cresceram um dia. A comunidade florestal que se desenvolve pode diferir, e muito, de acordo com a capacidade de resposta de cada indivíduo. Souza e Buckeridge (2004, p. 413) citam que “A dinâmica da sucessão ecológica também pode ser abordada como um fenômeno de organização emergente". A dinâmica dos sistemas vivos frente às propriedades que emergem e a sua capacidade de auto-organização são as mais variadas possíveis e, de baixas probabilidades, porque dependem de mecanismos bastante complexos de respostas não lineares.

2.4.5 Não linearidade

O reconhecimento de que na natureza existem dimensões fracionadas é essencial para a compreensão da não linearidade. Perceber que esta possibilidade de entendimento de mundo não é uma eventual exceção a regra, é o primeiro passo na busca de mecanismos de representá-la. Souza e Buckeridge (2004, p. 408) acreditam que “a existência de dimensões fractais e fenômenos não lineares [...] permita uma apreciação mais aprofundada e mais próxima da realidade dos vegetais [...]”. Esta visão não se restringe às plantas podendo facilmente ser ampliada para a complexidade do ecossistema. A modelagem matemática pode

ser um caminho para o entendimento dos sistemas complexos e, pode contribuir na predição de fenômenos ecológicos em curto prazo (May, 1976; Fernandez, 2009). Porém, recordando a frase de Margalef (2005, p. 884), "[...] no es oro todo lo que reluce". Modelos e metamodelos, oferecem riscos do quando aplicados a ecologia. Contudo, de acordo com Souza e Buckeridge (2004, p. 408), “Uma característica importante dos sistemas não-lineares é que equações extremamente simples podem gerar padrões extremamente complexos”.

Buscando conceituar os sistemas não lineares, Souza e Buckeridge (2004, p. 408) escrevem que estes sistemas “[...] são aqueles em que a influência de um estado anterior do sistema dinâmico sobre o posterior não é diretamente proporcional, mas envolvem laços de retroalimentação que podem influenciar o sistema globalmente”. Esta relação não proporcional faz com que os modelos lineares não possam ser aplicados a observação e a previsão de fenômenos ecológicos simples, como a dinâmica populacional de determinadas espécies.

Fernandez (2009) apresenta um exemplo fascinante da dinâmica populacional de lebres e linces estudada por Charles Elton no Canadá, na década de 1930. O estudo reconhece flutuações populacionais cíclicas em períodos não comuns a maior parte dos mamíferos. Estes estudos conduziram Elton a hipótese da, hoje conhecida, relação "presa-predador". Entretanto, ao tentar explicar as oscilações populacionais de vários anos, essa hipótese logo começou a apresentar seus limites teóricos. Muitos modelos foram propostos para explicar, não somente esses, mas, os vários fenômenos em torno da ecologia de populações. Fernandez (2009, p. 122) escreve que "Mais de vinte hipóteses foram propostas para explicar os ciclos, sem que nenhuma delas estivesse próxima de atingir um consenso. Lá pelos anos 80, a ecologia de populações se encontrava num impasse".

Os modelos matemáticos avançaram e, através dos estudos de May (1976) e, consequentemente, do uso de uma equação de diferença, os ecólogos perceberam que as oscilações populacionais podem ocorrer em função de aspectos não qualitativos e sim, puramente quantitativos (Fernandez, 2009).

Fernandez (2009, p. 126) apresenta dois aspectos fundamentais do modelo matemático proposto por May, dizendo que "[...] neste modelo há um atraso de resposta. Pode parecer sutil mas faz toda diferença [...] e trata-se de um modelo não linear".

> May começou a estudar o comportamento dinâmico do modelo [...]. O que ele fez foi alterar gradativamente o grau de não linearidade, aumentando a taxa de crescimento populacional α. Para seu espanto, ele observou que todo o comportamento do modelo mudava dramaticamente. Aumentando o grau de não linearidade, o resultado era não só quantitativamente, mas também qualitativamente. Essa simples manipulação afetava não só o tamanho populacional de equilíbrio, mas a própria possibilidade de alcançar qualquer equilíbrio (FERNANDEZ, 2009, p. 127).

A grande contribuição de ferramentas não lineares está justamente na aproximação da interpretação da realidade complexa dos fenômenos naturais. Para Prigogine e Stengers (1997, p. 116), "[...] o mecanismo fundamental pelo qual a biologia molecular explica a transmissão e exploração da informação genética constitui ele próprio um mecanismo "não-linear"". Em outro exemplo, Souza e Buckeridge (2004) escrevem:

> Uma estrutura anatômica, ao ser estudada, ainda possui as mesmas formas previamente descritas, desenhadas ou fotografadas pelos botânicos, mas o que muda quando se usam estas novas ferramentas é a interpretação de, por exemplo, com tal estrutura se desenvolveu ou de como ela foi moldada

> durante a evolução, ou ainda, como tal estrutura afeta as relações daquele individuo com o se ambiente (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 408).

Nesta perspectiva, métodos e ferramentas são elaborados para compreender que estratégias são necessárias para garantir que os seres vivos estejam evoluindo, durante bilhões de anos, e se inter-relacionando na constituição complexa dos ecossistemas. Shaballa et al (apud Souza e Buckeridge, 2004 , p. 411) "[...] consideram difícil acreditar que, para plantas crescendo em um ambiente com flutuações naturais, respostas caóticas representem um comportamento anormal ou prejudicial [...]".

Utilizando outro exemplo, o da construção inicial dos ninhos de térmitas, Prigogine e Stengers (1997) mostram como as cinéticas químicas não lineares podem conduzir a estruturas dissipativas, provenientes da ampliação das flutuações ao nível microscópico, dizendo:

> [...] a primeira etapa dessa atividade, a construção de pilares, pode ser feita pela multidão dos comportamentos desordenados dos térmitas, que se supõe transportarem e abandonarem de maneira aleatória bolinas de terra e que, procedendo assim, impregnam essas bolinhas de umas substância hormonal; sabe-se, por outro lado, que essa substância tem a propriedade de atrair os térmitas. Neste caso, a flutuação inicial é simplesmente a acumulação ligeiramente mais intensa de bolinhas de terra num ponto do espaço onde os térmitas se deslocam. A ampliação desse acontecimento, simultaneamente aleatória e previsível, é produzida pela maior concentração, os atrai; na medida em que os térmitas são mais numerosos numa área, aumenta a probabilidade de que ali depositem suas bolinhas. O cálculo permite prever a formação de "pilares", separados por uma distância ligada àquela na qual o hormônio se difunde a partir das bolinhas (PRIGOGINE E STENGERS, 1997, p. 130).

A busca por explicações das funções e do desenvolvimento de estruturas biológicas e, como elas respondem perante as pressões evolutivas, é constante e parece que não vai encerrar tão cedo. Mayr (2008, p. 173) afirma que "O aspecto mais impressionante do mundo vivo é a sua diversidade". **N**este contexto de entendimento de um mundo vivo diversificado em suas estruturas, seus sistemas e suas interações, é que a não linearidade pode ocupar espaço como componente decisivo.

Uma proposta de ciência linear não concebe plenamente o funcionamento dos ecossistemas e, tampouco, que a não linearidade o faça. Para Souza e Buckeridge (2004, p. 409) os "[...] sistemas biológicos não são apenas estruturalmente complexos, mas também funcionalmente complexos". Aqui fica evidente a noção de que o grande número de sistemas integrantes de um ecossistema, não nos permite reduzir a ecologia sob uma ótica puramente linear. Nesta integração entre modelos lineares e não lineares, simples e complexos, um grande leque de possibilidades se abre à ciência e à ecologia. Dilão (1995, p. 09) diz que "A associação de processos caóticos a dinâmicas não-lineares deterministas abre um novo capítulo na ciência moderna, possibilitando a utilização de modelos matemáticos no controle e previsão da evolução temporal destes sistemas". Para Prigogine (apud Pessis-Pasternak, 1993, p. 38), "Não se trata mais de fenômenos calculáveis por meio de leis gerais. Próximo ao equilíbrio, as leis da natureza são universais; longe de equilíbrio, elas são específicas". Segundo Dilão (1995, p. 05), "Enquanto os métodos quantitativos estão [...] associados a problemas lineares, a teoria dos sistemas dinâmicos desenvolve técnicas qualitativas [...] com o objetivo de determinar e classificar os seus tipos genéricos". O desafio na construção de modelos matemáticos não lineares para os estudos ecológicos, está na condição de incluir sistemas se relacionando e integrando inúmeros outros sistemas.

Reconhecendo a urgência de novas ferramentas para o avanço da ciência, May (1976) propôs modelos matemáticos não lineares, numa perspectiva que reconheça a complexidade dos sistemas. Estes modelos foram reforçados e ampliados por outros pesquisadores, evidenciando uma ordem despercebida por longos anos. Esta nova ordem 'caótica', passou a se chamar “caos determinístico”. O reconhecimento dos sistemas biológicos sob novos horizontes dinâmicos e complexos pode contribuir de maneira significativa para o estudo dos processos ecológicos e, de maneira estratégica, para o direcionamento das ações necessárias para a conservação da biodiversidade. Odum e Barret (2008) dizem que:

> Ao contrário da impressão de muitos céticos quanto a modelar a complexidade da natureza, em geral, informações sobre um número relativamente pequeno de variáveis formam uma base suficiente para modelos eficazes, porque os fatores-chave ou propriedades emergentes – ou outras integrativas –, quase sempre dominam ou controlam uma grande porcentagem da ação [...] (ODUM E BARRETT, 2008, p. 11).

May (1976, p. 15) entende que "Not only in research, but also in the everyday world of politics and economics, we would all be better off if more people realised that simple nonlinear systems do not necessarily possess simple dynamical properties". Souza e Buckeridge (2004, p. 408) registram que "Uma característica importante dos sistemas não lineares é que equações extremamente simples podem gerar padrões extremamente complexos". Este é o novo diálogo com a natureza, entre o possível e o incerto, através do caos determinístico.

2.4.6 Caos determinístico

Fernandez (2009), apontando para um cenário científico divergente do que se espera do senso comum, escreve:

> O bom-senso diz que fenômenos simples devem ter explicações simples, enquanto fenômenos complexos devem ter explicações complexas. O caos determinístico veio mostrar que essas afirmações nem sempre são verdadeiras [...]. Fenômenos muito simples podem ter causas muito complexas, e [...] padrões extremamente complexos podem ser causados por processos extremamente simples. Nossa compreensão das relações de causa e efeito nunca mais será a mesma (FERNANDEZ, 2009, p. 134).

Nussenzveig (1999, p. 16) diz que “Progressos importantes na compreensão de sistemas não lineares foram obtidos nos últimos anos. Um dos principais foi à percepção de que *existe caos na ordem e existe ordem no caos*”. Para Souza e Buckeridge (2004, p. 408), as “Dinâmicas caóticas caracterizam os sistemas cujas trajetórias inicialmente próximas divergem exponencialmente com o passar do tempo em função de uma alta sensibilidade às condições iniciais, estes são ditos sistemas dinâmicos caóticos”. As constantes alterações das condições iniciais, próprias dos sistemas dinâmicos, são extremamente importantes para o entendimento dos ecossistemas. Fernandez (2009) diz que:

> [...] uma característica particular dos modelos caóticos: o fato de que mesmo uma minúscula diferença nas condições iniciais gera uma imensa diferença no resultado final [...]. Este fenômeno profundamente contraintuitivo é

> conhecido tecnicamente por dependência magnificada das condições iniciais, e popularmente por “efeito borboleta” (FERNANDEZ, 2009, p. 134-135).

Este fenômeno, chamado de “efeito borboleta”, ganhou espaço no cenário popular e, muitas vezes, acabou sendo comentado como exagerado ou de menor cientificidade. Realmente, esta proposta pode contrastar uma lógica científica em uso há muito tempo. Fernandez (2009, p. 135), descrevendo os impactos filosóficos das novas descobertas científicas do caos determinístico reforça que “Padrões gerados por um modelo caótico determinístico são previsíveis, na prática, apenas a prazo muito curto”.

Estas possibilidades de previsão limitada não oferecem conforto à ciência mecanicista que, costumeiramente, prevê resultados lineares em longo prazo ou, atribui a impossibilidade da previsão à aleatoriedade dos fatos, ou seja, algo é determinístico ou é acaso. Os PCN (1998) reforçam essa visão dualista, dizendo que é objetivo do ensino que o estudante tenha a capacidade da "compreensão do caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais". Fernandez (2009) apresenta parte desta possibilidade de diálogo entre acaso e determinismo:

> Os modelos caóticos são inteiramente determinísticos, e, portanto teoricamente teriam absoluta capacidade de previsão. No entanto, devido ao efeito borboleta, na pratica não tem poder de previsão a não ser num prazo muito curto, uma vez que é impossível estimar os parâmetros com precisão *absoluta.* [...] A força do impacto desta constatação se faz evidente quando nos lembramos que em toda a história do pensamento ocidental, passando por Aristóteles, Descartes e tanto outros, sempre foram reconhecidos dois tipos de eventos: os ao acaso e os determinísticos. Nos eventos ao acaso, nenhuma previsibilidade é possível, independentemente do prazo [...]. Nos determinísticos, se é conhecido o modelo, completa previsibilidade é sempre possível, também independentemente do prazo (FERNANDEZ, 2009, p. 135-136).

A previsibilidade nos sistemas caóticos pode ser melhorada à medida que são conhecidos todos os parâmetros que influenciam o sistema. É claro que quando falamos de ecologia, ecossistemas ou mesmo de um indivíduo, o total conhecimento dos fatores que afetam o sistema é, praticamente, impossível de ser mapeado. Neste sentido, torna-se necessário a obtenção do maior número de variáveis para uma aproximação da realidade dos sistemas. Dentro deste contexto, será possível ampliar o potencial de predição. Esta capacidade de predição, pode auxiliar o desenvolvimento de instrumentos que contribuam para o planejamento e construção de políticas ambientais.

> O estudo de vários sistemas caóticos simples mostrou que a instabilidade e a irreversibilidade são partes integrantes da descrição em nível fundamental. A *instabilidade* e a *não-integrabilidade* rompem a equivalência entre a descrição individual (em termos de trajetórias ou funções de onda) e a descrição estatística (MASSONI, 2008, p. 04).

Para Fernandez (2009, p. 139), “[...] com o caos determinístico, um insuspeitado e maravilhoso mundo novo se abre diante da ecologia de populações”. As discussões sobre ambiente e sociedade exigem conceitos que retratem sua realidade complexa. Souza e Buckeridge (2004, p. 417) reforçam que, através dos novos conceitos da teoria da complexidade, “[...] os ecólogos vegetais tem atualmente novas ferramentas [...] para avaliar as inter-relações entre as plantas e seu ambiente biótico e abiótico”.

Mesmo com as ferramentas disponíveis é preciso desafiar-se na divulgação e reconstrução do conhecimento com base nas necessidades emergentes. Pode ser que, em poucos anos, segundo Souza e Buckeridge (2004, p. 417), “será menos através do isolamento em compartimentos e mais de uma forma integrada que as abordagens multidisciplinares da Botânica possibilitarão uma nova visão, [...] mais precisamente Biologia dos Sistemas Vegetais”. Podemos estender esta reflexão para todos os sistemas vivos, pois, à medida que ampliamos os conhecimentos sobre a ecologia, podemos rediscutir as formas de interação na natureza.

Para Massoni (2008, p. 03), "Fenômenos caóticos ou irreversíveis não se reduzem a um aumento de "desordem", como se pensa comumente, mas, ao contrário, têm um importante papel construtivo". É neste cenário que incluímos e rediscutimos a vida, os seres vivos e os sistemas vivos, através de uma ecologia aplicada. Margalef (2005, p. 882) insiste que às vezes se "[...] direciona muito esforço inútil em análises de aspectos excessivamente parciais de um ecossistema, que estão sob o controle de outros mecanismos que são ignorados completamente".

2.4.7 Atratores

O conceito de atrator é apresentado e discutido diante do tipo de sistema em questão, aleatório ou não. Quando falamos de caos determinístico temos várias possibilidades de atratores, porém, quando estamos falando de aleatoriedade (caos), o atrator assume a totalidade das regiões do espaço de estados. Para Souza e Buckeridge (2004, p. 409), “Sistemas caóticos são caracterizados por atratores, que são regiões restritas do espaço de estados para onde as trajetórias do sistema convergem”.

> No caso de um sistema com dinâmica puramente aleatória, o atrator do sistema preenche o espaço de estados inteiramente, isto é, não há nenhum tipo de organização temporal, a dinâmica do sistema é totalmente imprevisível a curto ou longo prazo, enquanto que em um sistema caótico sua dinâmica fica restrita a uma região do espaço de estados (o atrator) (SOUZA E BUCKERIDGE, 2004, p. 409).

O insucesso no tratamento de doenças complexas sob uma ótica reducionista tem conduzido os pesquisadores a novas abordagens. Na biologia, o estudo de atrator está sendo relacionado com vários conceitos. Dentre esses conceitos, está o da homeostase, o equilíbrio dinâmico dos sistemas. Em estudos citológicos, as diferenças entre as células estão sendo interpretadas como atratores no espaço de expressões gênicas. Esta teoria está se confirmando com estudos genéticos e imunológicos, passando a ser aplicada nos tratamento de doenças como a AIDS (Aliev; Hidirov; Hidirova, 2006). Uma proposta de diálogo através de uma abordagem complexa (teoria dos sistemas complexos) nos diz que os pequenos detalhes, que podemos perder através de uma análise reducionista podem levar a muitos caminhos diferentes. Frequentemente, estes caminhos podem divergir muito do que ocorre nas pesquisas fragmentadas em laboratório.

Para a ecologia, o processo de sucessão ecológica é, sem dúvida, palco constante de diversas possibilidades de estados. Pequenos eventos podem ser responsáveis por novos rumos na constituição das comunidades biológicas. Na sucessão ecológica, o conjunto de atratores se diversifica e se retroalimenta, com o passar tempo, limitando a previsibilidade das condições futuras do sistema. Quanto melhor o mapeamento do conjunto de atratores de um

sistema caótico (um processo de sucessão), maiores serão as chance de uma previsibilidade, ainda que em curto prazo.

2.5 Os Conceitos sobre Sistemas Complexos e a Realidade da Fragmentação dos Ecossistemas

Entender a situação de nosso território, há alguns séculos atrás, pode ser relevante para compreensão dos motivos que nos conduzem a discussão dos problemas ambientais na atualidade. Uma escala de tempo superior ao período de uma vida humana parece ser fundamental para a percepção de mudanças significativas no ambiente. Parte destas mudanças ambientais, certamente, passam despercebidas quando observados curtos períodos. É assim, que a história se faz valer.

O bioma Floresta Atlântica é um exemplo, nesse processo de transformação em longo prazo. A Mata Atlântica está sendo devastada há séculos e os resultados deste processo são ambientes florestais plenamente alterados e fragmentados. O pouco que restou desta formação está restrito aos locais de topografia muito acidentada, onde a prática agropecuária é dificultada (Leitão Filho,1987).

A Floresta Atlântica é claramente a formação florestal mais antiga do Brasil, estabelecida a cerca de pelo menos 70.000.000 de anos (Leitão Filho, 1987). Atualmente, a maior parte da população brasileira está residindo no que restou desta formação. A percepção de quão frágeis são os biomas, frente às tendências de consumo da sociedade atual, nos remete a estudos mais sérios e aprofundados sobre a vida na Terra.

De uma maneira geral, o que os indivíduos da nossa espécie percebem ao observar a vida no planeta Terra? Dawkins (2009, p. 582), ofusca a realidade da exploração florestal e destaca a exuberância das plantas dizendo que: “[...] elas são as criaturas mais notáveis do nosso planeta, os primeiros seres vivos em que qualquer marciano em visita repararia”. Seguramente, esta não foi a visão que fez a floresta praticamente desaparecer e, tampouco, é a visão predominante atual quando enxergamos uma árvore ou uma floresta. Para muitas pessoas, a única imagem que se forma ao olhar para uma floresta pode limitar-se a um determinado volume de madeira, ou ainda, a possibilidade da ampliação do uso agrícola das terras.

Não somente as plantas, mas a grande diversidade de formas vivas impressiona a ciência. Segundo Odum (2009, p. 271), “[...] a diversidade biológica de animais, plantas e microrganismos é de importância fundamental para a sobrevivência humana”. Ao reconhecer que a diversidade é o aspecto mais importante do mundo vivo, Mayr (2008, p.173) afirma que “Não existem dois indivíduos iguais em populações que se reproduzem sexuadamente, nem duas populações, espécies ou táxons mais elevados que sejam iguais. Para onde quer que olhemos na natureza, encontramos singularidade”.

Esta diversidade de espécies vivas atinge números surpreendentes. Lewinsohn e Prado (2005, p. 35) estimam que “[...] o país abrigue 1,8 milhões de espécies. Das grandes regiões do mundo, a Neotropical é a menos estudada e, provavelmente, esses números são sub-estimativas”. O planeta possui algo entre 1.697.600 e 1.798.500 espécies já conhecidas e, destas, cerca de 170 e 210 mil no Brasil (Lewinsohn e Prado, 2005).

Esta diversidade de espécies está presente nas diversas formações e ecossistemas, os quais, continuam sendo intensamente pressionados pela ação antrópica. O enorme aumento populacional no Brasil está diretamente relacionado com a transformação da maior parte dos ecossistemas naturais em estatísticas. Um fato importante tem preocupado os ecologistas, pois a redução na diversidade de espécies e na diversidade genética, que resulta das ações antrópicas, pode estar prejudicando a adaptabilidade futura, tanto nos ecossistemas naturais como nos agroecossistemas (Odum, 2009).

Semelhante a realidade dos demais biomas existentes no território brasileiro, a compreensão do bioma Floresta Atlântica está praticamente restrita ao reconhecimento dos fragmentos florestais remanescentes. Compreender a problemática ambiental gerada pela intensidade crescente da interação antrópica nos ecossistemas é importante numa perspectiva ecológica que sustente a espécie humana na biosfera.

Identificando a necessidade de uma visão ampla no uso dos conhecimentos em torno da ecologia, Mayr (2008, p. 301) propõe que "[...] deve-se também aplicar o pensamento ecológico não só em prol da conservação, mas também com respeito a todas as nossas interações com o ambiente, incluindo todas as questões econômicas em manejo florestal, agricultura, pesca e assim por diante". Está evidente o fato de que precisamos pensar para além dos parques e reservas da biodiversidade, se verdadeiramente precisamos e queremos conservar os ecossistemas e a diversidade biológica. Os registros históricos nos mostram isto. Negar os milhões de seres humanos que residem neste país, ou mesmo os quase sete bilhões no mundo, aliada à capacidade atual de transformação do ambiente, chega soar hipocrisia. Entretanto, muitos pensadores tendem a extrapolar suas reflexões buscando ratificar a "destruição" feita pelo homem, imaginando um planeta de processos harmoniosos sem a presença do homem, inclusive, falseando muitos aspectos da premissa de uma estabilidade ambiental. Tampouco, podemos e sequer devemos negligenciar que, ao longo dos tempos, intensificamos e excedemos o uso dos recursos naturais (Fernandez, 2009).

> Desde o neolítico, a erosão, o ressecamento das parcelas, a dificuldade em desmatar uma vegetação cada vez menos arborizada e cada vez mais arbustiva/herbácea, e a redução dos rendimentos parecem estar na origem do abandono das regiões desflorestadas e na migração de povos inteiros à procura de terras ainda arborizadas para a prática do sistema de derrubada-queimada (MAZOYER E ROUDART, 2010, p. 265).

Mas afinal, quando foi que a espécie *Homo sapiens*, deixou da simples caça, pesca e coleta para se tornar agricultora e transformar os ecossistemas de maneira tão intensa? Foi apenas no neolítico, há menos de 10000 anos que começamos a cultivar plantas e a criar animais e, desde então, a agricultura se tornou o principal fator de transformação da ecosfera (Mazoyer e Roudart, 2010).

O processo de domesticação dos seres vivos, que implica na seleção de genótipos de interesse, é bastante recente sob um olhar biológico. Esse processo foi, talvez, o principal responsável pelo grande número de indivíduos da espécie humana que o planeta hoje comporta. A dependência que temos dos cultivos e criações domésticas é evidente. Contudo, somente há poucos anos passamos a discutir como e quanto isso afeta a biosfera e, consequentemente, a espécie humana.

> Se o homem deixasse incultos todos os ecossistemas cultivados do planeta, este voltaria muito depressa a um estado de natureza próximo daquele em que ele se encontrava há 10000 anos. As plantas cultivadas e os animais domésticos seriam submersas por uma vegetação e por uma fauna selvagens infinitamente mais poderosas do que hoje [...], a depredação simples (caça, pesca e a colheita) não permitiria certamente alimentar mais de um meio bilião de homens (MAZOYER E ROUDART, 2001, p. 11).

Neste último século, nos apropriamos de conhecimentos suficientes que nos permitem discutir de que maneira podemos, precisamos e devemos interagir nos ecossistemas, explorando-o de modo a garantir que outras gerações possam se perpetuar. A Constituição Federal do Brasil, no seu artigo 225, expressa que "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado [...]".

Esta garantia permite o estabelecimento de um diálogo sobre a maneira que percebemos a natureza. A existência de uma natureza primitiva, uma natureza inicial ou intocada, contrasta com uma natureza em constante transformação, alterada em sintonia com os movimentos das populações de *Homo sapiens* pelo planeta (Diegues, 2001; Fernandez, 2009).

> Ultimamente virou moda achar que as sociedades de caçadores-coletores e as de agricultores primitivos vivem mais “em equilíbrio” com a natureza do que nós. Isso é provavelmente um engano. Esses povos podem muito bem ter possuído maiores conhecimento sobre a natureza simplesmente porque viviam e sobreviviam nela. Porém, assim como nós, parecem ter usado seus conhecimentos para explorar, às vezes em excesso, seu ambiente no maior grau que suas habilidades lhes permitiam (DAWKINS, 2009, p. 47)

Com certeza, não seremos a primeira sociedade a entrar em colapso por não compreender suficientemente a natureza. Vários povos e grandes civilizações já experimentaram o fracasso, como nos descreve Jared Diamond (2009) em sua obra “Colapso”. Fernandez (2009, p. 24) reforça o aspecto histórico da ação antrópica dizendo que “Uma percepção dominante hoje em dia é que a devastação ecológica produzida pelo homem em tempos históricos agiu sobre uma natureza praticamente primitiva, pouco alterada, que havíamos herdado dos nossos ancestrais [...]”. Essa ideia de ambiente equilibrado, intocado, pode não ser verdadeira, entretanto, é importante lembrar que, após a revolução industrial, ampliamos de maneira considerável nossas formas e nossa intensidade de transformação do ambiente. Para Fernandez (2009, p. 24), "recentemente passamos por um processo de intensas transformações ecológicas com o advento da civilização industrial, desfigurando profundamente o mundo vivo no último século".

A Floresta Atlântica que precede a colonização europeia, aquela que continha inúmeros povos indígenas, não é mais a mesma. Apreender com base no que é existencial parece ser um caminho inevitável, pois aquela suposta “floresta perfeita” que acompanha o "mito moderno da natureza intocada" (Diegues, 2001), não faz parte do cenário da maioria da população e, portanto, está distante demais da realidade da educação e da vida dos estudantes brasileiros. Pode soar estranho para a maior parte da população, expressões do tipo: preservar, conservar ou mesmo recuperar a Floresta Atlântica? Quantos tiveram a oportunidade de adentrar as florestas e vivenciar sua exuberância? Como poderia ser possível preservar ou conservar um cenário que não foi nem vivido? Como evidenciado nos parágrafos acima, estamos falando de um bioma quase extinto, representado por fragmentos florestais, dados estatísticos e por uma história. Nesta história da "Mata Atlântica" (Dean, 1996), estão os desafios atuais e futuros e, nos fragmentos, a possibilidade de melhor compreender a ecologia e o que representa a antropização deste território. Desta forma, o que entendemos e como entendemos os fragmentos florestais e a sucessão ecológica pode ser determinante para a existência, a recuperação, ou mesmo, o desaparecimento do pouco que resta da diversidade da Mata Atlântica.

A Floresta Atlântica existe, atualmente, em milhões de pequenos fragmentos florestais bastante antropizados e, portanto, em intenso processo de sucessão ecológica. Isto difere do que acontecia num passado, não muito distante, onde as clareiras eram pequenas manchas abertas na densa floresta.

> Relevando os efeitos antrópicos, para aquelas florestas contínuas, encontradas pelos colonizadores, a sucessão se dava principalmente através da cicatrização de pequenas clareiras, causadas pela morte e caída de árvores

> e pela cicatrização de áreas abertas por catástrofes naturais, como enchentes e desabamentos (MAGALHÃES, 2005, p. 06).

Os fragmentos estão espalhados e, muitas vezes, isolados por vários quilômetros. Neste contexto, é interessante perceber como os "detalhes" podem contribuir para a constituição da comunidade florestal e da diversidade do ecossistema. Qual é o valor de um único espécime em meio a um fragmento?

Temos vários exemplos de regiões onde a Floresta Atlântica não tem mais as mesmas opções de constituição florestal. Regiões onde a floresta não se aproxima de sua fisionomia "original" porque não existem mais condições ecológicas para isso. A ausência de diásporos, as enormes distâncias de pastagem e os cultivos agrícolas seculares, não permitem o "retorno" de populações e comunidades típicas deste bioma. Está claro que a dinâmica dos ecossistemas passa por uma intensificação nos processos de sucessão ecológica, visto que, o que antes eram clareiras, hoje é a paisagem dominante, em relação aos pontos florestais remanescentes. Para Magalhães (2005):

> O conhecimento da dinâmica destes ecossistemas passa por um tema cativante e que vem sendo formulado de forma mais sistemática a partir do início do século XX – a sucessão ecológica. De acordo com estes estudos, se verificou que o ecossistema tende sempre a evoluir, a mudar a sua composição, e que esta evolução apresenta fases características. A sucessão se constitui numa série de mudanças temporais e direcionais, envolvendo a composição de espécies e o estado do ecossistema (MAGALHÃES, 2005, p. 03).

A identificação dos fatores que constituem e interagem no ecossistema, permite uma atitude adequada em relação ao ambiente vivido. Está evidente que a sucessão ecológica estabelece algumas tendências aplicadas a qualquer ecossistema. Magalhães (2005) escreve que:

> As pesquisas mostraram que neste processo existem mudanças com tendências comuns, que incluem o aumento da diversidade de espécies, o aumento da biomassa total, o “fechamento” gradativo dos ciclos (incluindo o de nutrientes) e a diminuição da produtividade. A partir de uma área não ocupada por organismos o que se vê é o aumento gradativo de ocupação de todos os espaços e a evolução dos fatores citados (MAGALHÃES, 2005, p. 03).

Estas características gerais independentes do bioma são de extrema relevância, pois nos mostram como no cenário atual de fragmentação florestal, ao passo que aumentamos a produtividade do ambiente, reduzimos a biodiversidade e diminuímos a biomassa total. Outros aspectos neste contexto de sucessão e fragmentação são igualmente importantes na perspectiva de transformação dos ecossistemas. McCann (2000) descreve como fatores de extinção e invasão de espécies podem contribuir para grandes transformações nos ecossistemas:

> We now realize that the world’s flora and fauna are disappearing at rates greater than the mass extinction events whose collapses punctuate the fossil record. It is also true that species invasions have been elevated to unprecedented rates accompanying the increased globalization of our world. These high rates of extinction and invasion put ecosystems under enormous stress, making it critical that we understand how the loss, or addition, of a

> species influences the stability and function of the ecosystems we rely on. We are, in a very real sense, deconstructing the Earth under the implicit assumption that ecosystems have evolved the ability to withstand such assault without collapse (MCCANN, 2000, p. 228).

McCann (2000, p. 233), em relação à degradação do ecossistema, diz que "Just how much [...] is sufficient to precipitate a collapse is difficult to assess, but current experiments and theory agree that drastic community changes can accompany the removal or addition of even a single species". Para Magalhães (2005, p. 04), "[...] cada organismo realiza funções peculiares que também alteram o ambiente". Dinâmicas simples podem gerar padrões complexos (Fernandez, 2009).

A interação entre fatores bióticos e abióticos gera padrões de formações e comportamentos imprevisíveis quanto mais longe se busca predizer, em função dos inúmeros e complexos mecanismos não lineares de retroalimentação. Magalhães (2005) em relação ao ecossistema e sua complexidade, escreve que:

> Seus componentes bióticos e abióticos interagem entre si e estabelecem funções que atuam nos dois sentidos: tanto resultam em efeitos para o ambiente quanto para os componentes individuais. Neste sentido, como observado em outras áreas de estudo da complexidade, estes apresentam mecanismos não lineares de retro-alimentação, ou seja, determinado processo ecológico pode resultar em "informações" que trazem conseqüências para o sistema, que pode por sua vez "responder" com outro efeito e este refletir inclusive no organismo que iniciou todo o processo (MAGALHÃES, 2005, p. 02).

Portanto, a dinâmica dos fragmentos florestais está sujeita a constituir comunidades bióticas bastante diversas, visto as inúmeras possibilidades de componentes individuais e suas interações (fragmentos e comunidades). A sucessão ecológica estabelece algumas tendências para estes fragmentos, mas não é determinística e, tampouco passível de predição em longo prazo. Esta dinâmica na sucessão, onde os rumos da composição da comunidade divergem ao longo do tempo em função das condições iniciais do ambiente (caótica), onde as respostas são tipicamente não lineares, aliada a emergência constante de novas propriedades no sistema, faz parte do desafio da ciência do complexo aplicada ao estudo dos ecossistemas. Considerando que o cenário do bioma Mata Atlântica está num contínuo processo de sucessão dos pequenos fragmentos e não mais cicatrizes em meio à hegemonia da floresta, cabe enfatizar que o ambiente vivido é elemento de estudo pertinente, tanto ao ensino de ecologia quanto ao ensino desta ciência através de noções e conceitos sobre sistemas complexos. Solbrig (1993) resume este cenário dizendo que hoje se vê que a natureza não é simples e nem está em equilíbrio; ela é complexa, imprevisível e os distúrbios e irregularidades não são vistos mais como aberrações, mas como parte do sistema. Assim, as florestas e os fragmentos que delas restaram se constituem em sistemas complexos, que têm a capacidade de se estruturar de formas diversas, à medida que as condições ambientais são modificadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo tem uma abordagem qualitativa, que se estrutura considerando três elementos de análise: a) os livros didáticos de biologia aprovados pelo MEC em 2011; b) os manuais do professor presentes em cada obra didática de biologia; c) uma pesquisa junto aos professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul, que tiveram durante sua formação acadêmica a disciplina de ecologia e/ou desenvolveram disciplinas ou atividades em torno do tema. O período de realização deste trabalho foi entre setembro de 2010 e dezembro de 2012.

3.1 Livro Didático

O Programa Nacional do Livro Didático, em seus mais de 80 anos, mostra o quão relevante é esta ferramenta de ensino para a Educação Básica. Os livros didáticos passam por uma avaliação que tem como produto a elaboração de um Guia. O Guia do PLND 2012 tem como objetivo o fornecimento de subsídios para que o professor e demais interessados, possam conhecer o processo e o resultado da avaliação das coleções inscritas e avaliadas em cada edição do PNLD (MEC/SEB, 2011).

As coleções de livros didáticos analisados são utilizadas na disciplina de biologia durante os três anos do Ensino Médio. Estes livros são obras avaliadas e aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático - PNLD. O trabalho da avaliação pedagógica é realizado por um grupo de professores e professoras da área das Ciências Naturais, vinculados a universidades e a escolas de educação básica do país.

Assim, os livros analisados e aprovados são sugeridos aos docentes e às Instituições de ensino pelo MEC e, por isso, foram considerados relevantes para o presente estudo. A apresentação do material didático aprovado no ano de 2011 foi realizada através do Guia PNLD 2012. O principal papel deste material é, portanto:

> [...] apresentar as principais características das coleções aprovadas, por meio das resenhas que o compõem. No entanto, ao expor os critérios de avaliação que orientam o Programa Nacional do Livro Didático no Brasil, bem como as ideias sobre o ensino de Biologia e formação de professores que permeiam todo processo, procurou-se tornar mais claros e transparentes os parâmetros que regem este Programa e que nortearam a avaliação das obras de Biologia. Buscou-se, por um lado, evidenciar a preocupação com a escola pública brasileira e os sujeitos que a constituem e, por outro, explicitar aspectos importantes que devem estar presentes na formação dos adolescentes e na compreensão de modos de ensinar e aprender Biologia no ensino médio (MEC/SEB, 2011, p. 07).

As obras didáticas aprovadas em 2011 são estruturadas em volumes, unidades e capítulos/tópicos, nesta respectiva ordem decrescente. Portanto, os volumes analisados foram os que contemplam unidades ou capítulos de ecologia. Segue abaixo a relação:

A	LOPES, S.; ROSSO, S. **Bio:** volume 1. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 112 p.
B	SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JUNIOR, N. **Biologia 1:** as características da vida: biologia celular, vírus: entre moléculas e células: a origem da vida: histologia animal. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 384 p.
C	PEZZI, A.; GOWDAK, D. O.; MATTOS, N. S. **Biologia:** genética, evolução, ecologia. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010. 208 p.
D	LAURENCE, V. e MENDONÇA, V. **Biologia:** ecologia, origem da vida e biologia celular, embriologia e histologia: volume 1: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Nova Geração, 2010. 304 p.
E	AMABIS J. M. e MARTHO R. **Biologia**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. 376 p.
F	LINHARES S. e GEWANDSZNADER F. **Biologia hoje.** 1. ed. São Paulo: Ática, 2010. 368 p.
G	BIZZO, N. **Novas bases da Biologia:** seres vivos e comunidades. 1. ed. São Paulo: Ática, 2010. 480 p.
H	SANTOS, F. S. DOS; AGUILAR, J. B.V.; OLIVEIRA, M. M. A. **Biologia:** ensino médio, 3º ano. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2010. 320 p.

Os exemplares impressos das obras didáticas foram obtidos através da Gerência Regional (Gered) de Educação de Ibirama - SC. Destas obras, foram analisados os livros de uso dos professores. Estes, diferem dos livros utilizados pelos discentes por apresentarem, em anexo, um material complementar chamado "Suplemento para o Professor" ou "Manual do Professor". Dentro da totalidade da composição do livro didático de biologia, o presente trabalho avaliou somente as parte integrantes direcionadas para o ensino de ecologia. No Anexo A, é apresentada a estrutura geral referente à unidade de ecologia de cada obra didática.

3.2 Material Complementar - "Manual do professor"

O material complementar presente nos livros didáticos utilizados pelo docente (Manual do professor), tem como objetivo o auxílio ao uso do livro fornecendo sugestões, respostas de questões e textos complementares. Geralmente, estão organizados apresentando a estrutura da obra, os objetivo das unidades, as competências e habilidades a serem desenvolvidas, as estratégias pedagógicas e os comentários de cada capítulo. Dos oitos manuais existentes, seis manuais foram analisados. Somente as obras E e G (AMABIS J. M. e MARTHO R. **Biologia**; BIZZO, N. **Novas bases da Biologia:** seres vivos e comunidades) não apresentaram elementos pertinentes de análise. A análise deste material foi realizada com o auxílio de um quadro individual para coleta de dados. Esses dados obtidos, por reforçarem os temas observados nos livros didáticos, foram apresentados de maneira integrada com a discussão dos livros.

3.3 Docentes do IFC - Campus Rio do Sul

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense (IFC) - Campus Rio do Sul, possui um quadro de setenta e um docentes efetivos e dezesseis professores contratados temporariamente, totalizando oitenta e sete professores. As áreas de formação dos professores são bastante diversificadas tendo em vista os cursos oferecidos pela instituição e a demanda disciplinar do Ensino Médio. Segue abaixo, o gráfico que apresenta a distribuição dos docentes efetivos que atuam, exclusivamente, no Ensino Técnico (cerca de 50% dos docentes), em função da sua área de formação profissional.

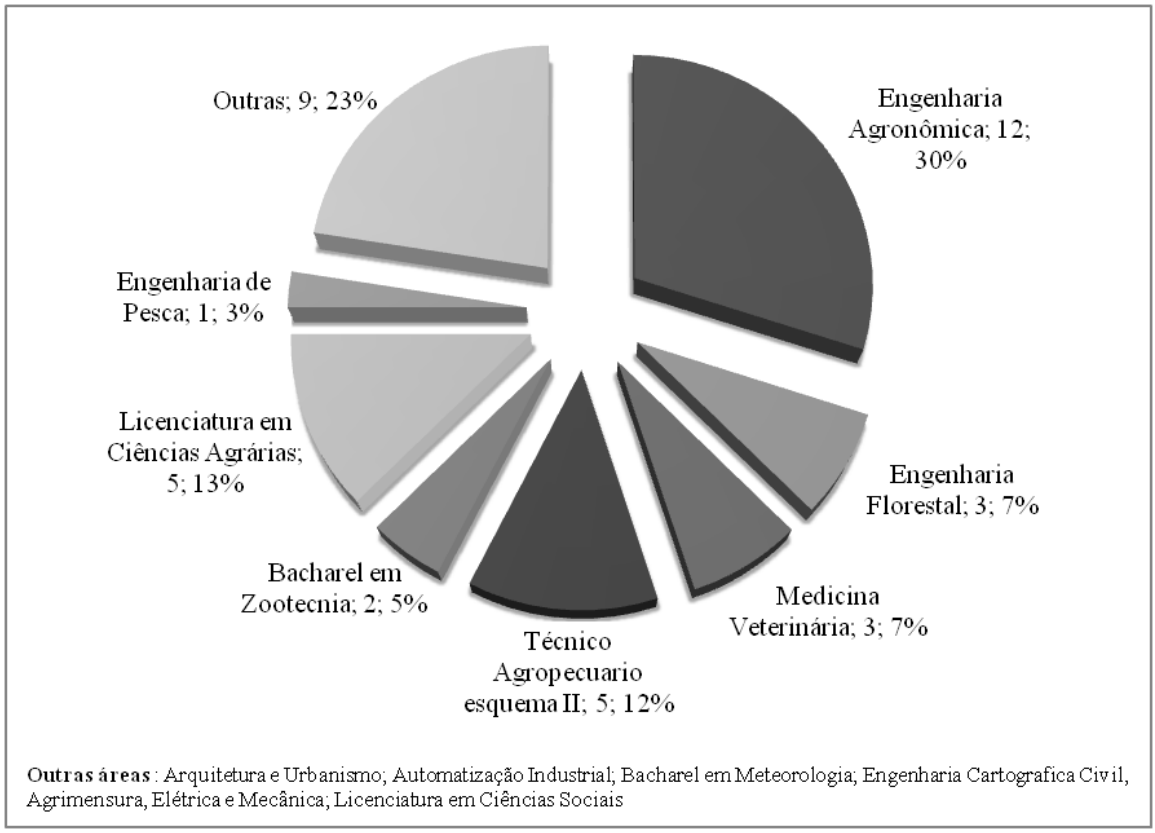

Figura 1: Área de formação profissional dos docentes que atuam, exclusivamente, no Ensino Técnico do IFC - Campus Rio do Sul (valor unitário e percentual)

Este gráfico evidencia um perfil docente no IFC - Campus Rio do Sul relacionado às ciências agrárias. Esta predominância agropecuária ocorre devido ao contexto histórico e a recente transição de Escola Agrotécnica (Eafrs) para Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFC.

Foram considerados, para a pesquisa, todos os professores do IFC - Campus Rio do Sul que tiveram, em sua formação acadêmica, a disciplina de ecologia ou disciplinas afins. Esta identificação foi feita através de contato com a Coordenação Geral de Recursos Humanos do campus que disponibilizou uma listagem de professores ativos e do respectivo nível e área de formação. Após análise das áreas de formação dos docentes, foi realizado contato direto e individual com os docentes.

Em seguida, a amostragem foi definida pela disponibilidade dos professores em participar da pesquisa. Portanto, foram incluídas no estudo as seguintes áreas de formação e o respectivo número de professores envolvidos: Engenharia Agronômica (6), Engenharia Florestal (2), Licenciatura em Ciências Agrárias (3), Medicina Veterinária (1) e Técnico em

Agropecuária - Esquema II - Agropecuária (1). Os treze profissionais envolvidos no estudo atuam de maneira direta no Ensino Técnico dos cursos de: Floresta, Agropecuária e Agroecologia, de modo que estes professores não desenvolvem disciplinas pertencentes ao Ensino Médio. As matrizes curriculares dos cursos acima mencionados (Anexo C), apresentam várias disciplinas que estabelecem relação direta com conceitos ecológicos, dentre elas: Ecologia geral, Práticas florestais, Proteção florestal, Ambiente e desenvolvimento, Dinâmica de regulação dos agroecossistemas, Sistemas agrosilvipastoris e Agroecossistemas.

3.3.1 O IFC - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul

O Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul, antiga Escola Agrotécnica Federal de Rio do Sul, tem sua origem intimamente ligada a problemas econômicos e sociais percebidos a partir da década de 70 na região do Alto Vale do Itajaí. Em 30 de junho de 1993, pela Lei Federal no 8.670, foi criada a Escola Agrotécnica Federal de Rio do Sul e as atividades letivas de 2º Grau (Ensino Médio e Técnico em Agropecuária) iniciaram no dia 05 de junho de 1995. No ano de 2008, através da Lei 11.892, instituiu-se a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica. Com a criação do IFC, a instituição ampliou o seu foco inicial (cursos na área agrícola) para novas tecnologias e passou a atuar em outros níveis de ensino. O IFC - Campus Rio do Sul oferece, atualmente, cursos em nível técnico e de graduação. Os cursos superiores oferecidos são: Bacharel em Ciência da Computação, Licenciatura em Matemática, Engenharia Agronômica, Tecnologia em Horticultura e Licenciatura em Física. Os cursos técnicos ofertados são: Técnico em Agropecuária, Técnico em Agroecologia, Técnico em Agrimensura, Técnico Florestal, Técnico em Eletroeletrônica e Técnico em Informática. Estes cursos técnicos são desenvolvidos de três formas distintas: de maneira integrada ao Ensino Médio com duração de três anos, de forma subsequente ao Ensino Médio, com duração entre um e um ano e meio e de maneira concomitante, com duração de dois anos (http://www.ifc-riodosul.edu.br).

O estudo de conceitos ecológicos tem forte ligação ao processo de formação técnica em nível médio e subsequente, principalmente com os cursos de florestas, agroecologia e agropecuária. São cursos profissionalizantes que exigem noções sobre planejamento e gestão dos recursos naturais. O IFC tem grande potencial de estudo sobre o ambiente natural e a ecologia porque parte de uma realidade local que teve, há poucas décadas, sua economia alavancada pela exploração desenfreada de espécies florestais (destacando-se a extração da substância safrol, retirada da espécie sassafrás - *Ocotea odorifera*). Num cenário de intensa antropização da floresta ombrófila densa, o diálogo constante com diferentes sistemas agrários e com os planos de expansão da urbanização torna-se imprescindível.

3.4 Instrumentos de Coleta de Dados

O presente estudo necessitou a elaboração de quadros comparativos (Anexo B; Figura 2) para coleta e análise de dados dos livros didáticos e dos manuais do professor e, também, a elaboração de um questionário para coleta de dados sobre a formação docente (Anexo D).

3.4.1 Quadro individual destinado à coleta de dados dos livros didáticos e manuais do professor (Anexo B)

Este quadro destinou-se à coleta de dados para análise individual das obras didáticas e dos manuais do professor. Foi elaborado tendo como componentes, onze questões que buscavam identificar a existência de conceitos diretamente citados e a existência de noções sobre os conceitos propostos em torno dos sistemas complexos.

A estrutura deste quadro está disposta em colunas. A primeira, contendo questões para análise do conteúdo de ecologia; a segunda, descrevendo as citações encontradas no conteúdo de ecologia das obras estudadas; em seguida, uma coluna descrevendo em qual eixo temático a citação está presente; ao lado, a contextualização da citação; e, por fim, as observações e as páginas referentes às citações encontradas nos conteúdos. Em seguida, os dados coletados foram analisados e dispostos em arquivos individuais. Posteriormente, os termos referentes aos sistemas complexos, diretamente mencionados nos livros, foram agrupados em uma tabela (Figura 2). As citações que apresentavam os conceitos ou noções sobre sistemas complexos foram discutidas em textos individuais e, em seguida, dispostas em um texto que integrou as análises individuais. Esta análise geral possibilitou a identificação de quatro tópicos comuns nas obras didáticas. Estes tópicos (*Hipótese de Gaia; Lebres e linces: o exemplo canadense de predação; A sucessão ecológica e as propriedades emergentes; A complexidade dos ecossistemas: estabilidade x diversidade*) apresentam noções bastante evidentes em relação aos conceitos analisados e, por isso, foram melhores descritos no presente estudo.

3.4.2 Tabela de identificação da presença ou ausência dos termos nos livros didáticos (Figura 2)

A tabela de coleta de dados visa identificar a presença ou ausência dos termos sobre sistemas complexos nos livros didáticos. Considerou-se, para análise, somente as unidades ou capítulos de ecologia presentes nos volumes de cada obra didática. Esta tabela foi estruturada em colunas, contendo: o título da obra didática e em seguida dispondo os termos analisados - a saber: complexidade, sistemas complexos, auto-organização, estruturas dissipativas, termodinâmica, termodinâmica do não equilíbrio, caos determinístico, propriedades emergentes, não linearidade, atratores e teoria do caos.

3.4.3 Questionário

Diversos são os instrumentos disponíveis para a coleta de dados de grupos sociais. O questionário é um dos mais comuns. O questionário consiste de uma lista de indagações ou conjunto de questões escritas, que devem ser respondidas pelo informante, também por escrito (Rauen, 2002; Gil, 2002).

Os questionários podem ser classificados pelo tipo de questões que contêm. De acordo com Gil (1991), as questões podem ser classificadas como abertas, onde os entrevistados podem expressar sua opinião e, de múltiplas escolhas, sendo estas consideradas fechadas, por apresentarem uma série de respostas possíveis. O questionário, aplicado aos docentes contém questões fechadas e questões abertas, que incluem opiniões sobre o processo de ensino ecológico.

Os questionários podem também ser classificados por sua forma de aplicação, podendo ser de contato direto e questionário por correio. Os questionários de contato direto são aplicados pelo próprio pesquisador (Richardson, 1999). Quanto à forma de aplicação, o questionário foi de contato direto com os docentes. Após a identificação da área de formação dos docentes e a manifestação da disponibilidade deste em participar do estudo, a ferramenta de coleta de dados foi apresentada.

O questionário possui como principais elementos constituintes, os seguintes aspectos e questões: área e nível de formação docente; conceitos e disciplinas vistos durante o ensino formal do docente; existência de outras fontes de obtenção de informações sobre os conceitos propostos; conhecimento de autores que dialogam sobre o tema; conhecimento de livros didáticos que apresentam os temas; possibilidade de estudar a ecologia com base nos fundamentos dos sistemas complexos; se as leis da termodinâmica foram estudadas e em que disciplina(s); quais disciplinas do ensino médio que poderiam estar envolvidas no aprendizado ecológico; se os conceitos sobre sistemas complexos são considerados básicos para o estudo ecológico; e, por último, quais conceitos tem maior relevância para o estudo da ecologia e se a ecologia é importante na formação do ensino médio. Com base nestes aspectos interrogativos é que a análise foi elaborada.

Este instrumento teve, em seu item 3, a apresentação de dezessete conceitos, dos quais, sete são considerados básicos na ecologia. Estes conceitos foram incluídos para diminuir projeções tendenciosas, mas acabaram oportunizando algumas considerações importantes. Portanto, para este trabalho, entende-se: ecossistema, sucessão ecológica, ciclo biogeoquímico, nicho, habitat, dinâmica de populações e clímax como conceitos ecológicos básicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho iniciam com a discussão sobre a presença direta dos termos sobre sistemas complexos nos livros didáticos, partindo para análises individuais dos livros didáticos e dos manuais do professor. Em seguida, são discutidas de maneira integrada, as noções existentes nos livros didáticos de biologia e nos manuais do professor, tendo em vista que os elementos encontrados, tanto nos livros quanto nos manuais são bastante semelhantes. Neste item (5.2) são discutidos quatro temas bastante comuns nas obras didáticas. Esses tópicos podem, juntamente com textos e comentários presentes nos manuais do professor, servir de fio condutor para a inserção dos termos em torno da complexidade nas discussões ecológicas. Alias, cabe destacar, de antemão, a baixa frequência com que os termos propostos sobre complexidade, foram mencionados nas obras didáticas. Por fim, o último tópico apresenta os resultados e discussão da análise do questionário aplicado aos docentes do IFC - Campus Rio do Sul. Neste item, o estudo aponta para existência de noções e conceitos na formação acadêmica dos professores.

4.1 Análise da Existência dos Termos sobre Sistemas Complexos nos Conteúdos de Ecologia dos Livros Didáticos de Biologia (MEC/SEB, 2011)

	LIVROS DIDÁTICOS	Complexidade	Sistemas complexos	Auto-organização	Estruturas dissipativas	Termodinâmica	Term. não equilíbrio	Caos determinístico	Propriedades emergentes	Não linearidade	Atratores	Teoria do Caos
	LOPES, S.; ROSSO, S.	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JUNIOR, N.	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	PEZZI, A.; GOWDAK, D. O.; MATTOS, N. S.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	LAURENCE, V. e	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

	MENDONÇA											
	AMABIS J. M. e MARTHO R.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	LINHARES S. e GEWANDSZNADER F.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	BIZZO, N.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	SANTOS, F. S. DOS; AGUILAR, J. B.V.; OLIVEIRA, M. M. A. DE.	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Figura 2: Tabela de análise da existência de termos referentes as noções e conceitos sobre sistemas complexos nos conteúdos de ecologia das obras didáticas analisadas (exceto nos manuais do professor)

A maioria dos termos listados não é mencionado diretamente nas obras didáticas. Entretanto, é importante ressaltar que as expressões "complexidade", "complexos" e "complexas" são utilizadas com bastante frequência. Esses termos (complexos, complexidade ou complexas) aparecem sessenta e duas vezes no total dos conteúdos ecológicos das obras analisadas. A categorização destes dados resultou na elaboração de oito categorias, onde os termos indicam *Estrutura*, *Ecossistema*, *Relações*, *Teia alimentar*, *Complicado* (algo confuso), *Organismo*, *Processo e Interações*. Estas categorias se distribuem nos seguintes valores percentuais:

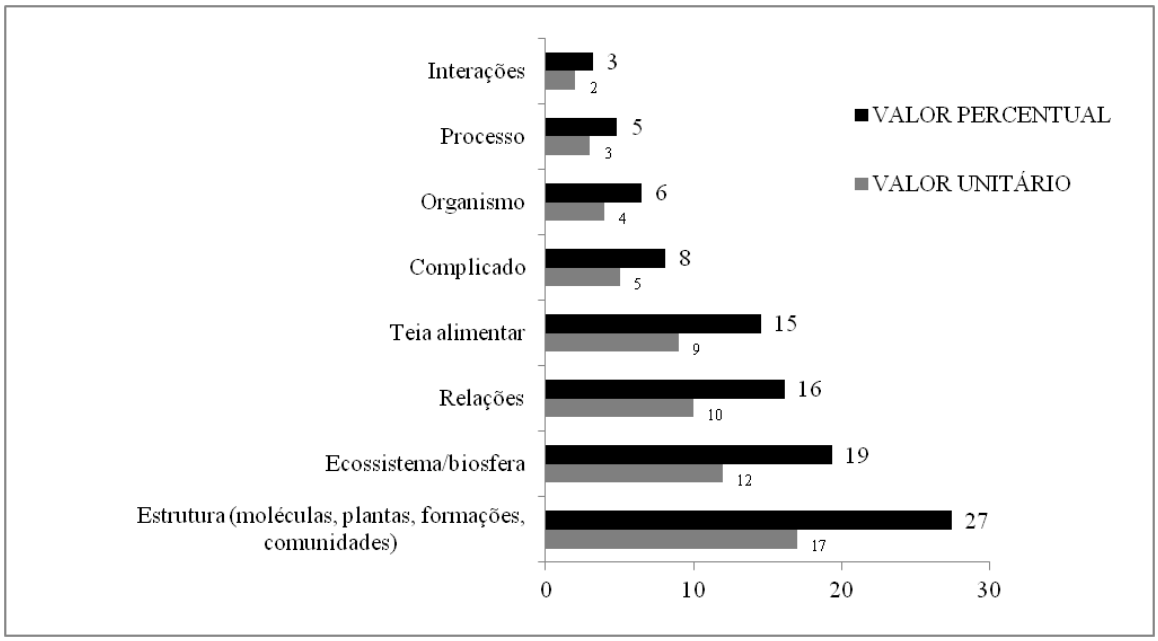

Figura 3: Categorização dos sessenta e dois termos (complexo(s), complexa(s) e

complexidade) encontrados nas obras didáticas, conforme sua representatividade (valor unitário e percentual)

A categoria *Estrutura*, indicando estruturas de moléculas, plantas, formações e comunidades, foi a que teve destaque com relação ao uso dos termos (complexo(s), complexa(s) e complexidade), seguida da categoria *Ecossistema/biosfera*.

4.2 Análises Individuais das Noções e Conceitos Existentes nos Livros Didáticos de Biologia (Obras didáticas)

4.2.1 Livro A

Nos conteúdos de ecologia referentes a esta obra, os autores não utilizam o termo "sistemas complexos" diretamente. Entretanto, mencionam no tema "Os níveis tróficos", a existência de ecossistemas mais complexos que outros, relacionando a variação de número de níveis tróficos como um fator dependente da complexidade dos ecossistemas. Expressões como "complexidade" e "complexa" estão presente ao longo dos textos. Esta última se refere à discussão sobre as características gerais dos seres vivos, enfatizando a complexa estrutura e função das moléculas orgânicas. A expressão "complexa" é utilizada na "Introdução a ecologia", com o objetivo de manifestar as inúmeras interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos no estabelecimento e na sobrevivência das espécies. Na discussão sobre "A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica", os autores utilizam o termo para caracterizar as mudanças na estrutura da comunidade ao longo da sucessão em direção à formação de teias alimentares mais complexas. Também, no tópico sobre "Ecologia de populações", o termo é utilizado para explicar a influência de variações na disponibilidade de alimento para as presas na relação presa-predador (lebres e linces) registrada no Canadá entre os anos de 1845 e 1935. Entretanto, neste tópico, os autores não avançam para discussões sobre outros conceitos potenciais, tais como, o atraso na resposta em sistemas caóticos, como nos lembra Fernandez (2009).

Em relação direta ao conceito de "propriedades emergentes", os autores não se manifestam. Porém mencionam no tópico "A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica" que novas condições surgem no ambiente em sucessão, expressando: *"Essas alterações podem estabelecer novas condições eventualmente favoráveis a instalação de outras espécies e desfavoráveis às espécies já existentes na comunidade"* (p. 115).

Referente à questão sobre as noções e conceitos de estruturas dissipativas, os autores apresentam alguns elementos no tópico "Modelo do fluxo energético", escrevendo que *"[...] ecossistemas são sistemas abertos, realizando intercâmbio com outros ecossistemas"* (p. 95). Mesmo não dialogando diretamente sobre estruturas necessárias para que este sistema se mantenha enquanto sistema aberto, longe do equilíbrio termodinâmico pelo intercâmbio de matéria e energia é importante lembrar que esta noção de fluxo é extremamente relevante para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas (Odum, 2009).

No tópico referente à "Dinâmica das comunidades: sucessão ecológica", Lopes e Rosso apresentam a noção de que os sistemas vivos tendem à auto-organização: *"[...] mudanças nas comunidades que, ao longo do tempo, acabam por levar ao estabelecimento de uma comunidade estável, autorregulada"* (p. 115). Seguem discutindo que este processo de mudança, autorregulação e estabilidade é muito comum na natureza, porém, ocorrem perturbações que impedem a comunidade de atingir estabilidade permanente.

Relacionando as características de autorregulação dos sistemas vivos a uma perspectiva mais ampla, os autores apresentam, no tópico geral de ecologia, a hipótese de "Gaia" e discorrem sobre seu impacto no meio científico. Eles apontam que existem discordâncias fundamentais sobre esta condição da Terra vista como um organismo vivo. Entretanto, afirmam que esta imagem, mesmo que metafórica, pode contribuir para discussões ecológicas básicas e relevantes. *"Segundo esta hipótese, que teve grande apoio e colaboração da cientista Lynn Margulis, a Terra deve ser compreendida como um imenso organismo vivo, capaz de obter energia para seu funcionamento e capaz de se autorregular, como fazem os seres vivos"* (p. 32).

Na questão referente ao uso de noções sobre as leis da termodinâmica, aplicada aos estudos de ecologia, é possível observar que os autores apresentam a universalidade das leis da termodinâmica (1ª e 2ª lei), garantindo o fluxo unidirecional de energia no sistema. Escrevem que *"A pirâmide de energia nunca é invertida, pois mostra uma consequência natural das leis da termodinâmica, que são universais"* (p. 94). Desta forma, reforçam que o funcionamento dos ecossistemas está em sintonia com os estudos e as leis da termodinâmica (Margalef, 2005; Mayr, 2008; Odum e Barret, 2008).

4.2.2 Livro B

No tópico "A fitogeografia do Brasil", os autores dialogam sobre um "ecossistema complexo" no estágio clímax de sucessão ecológica e, referindo-se à grande diversidade de nichos e espécies existentes na Floresta Atlântica, escrevem: *"Trata-se de um ecossistema complexo, no estágio clímax da sucessão ecológica. Dado o grande número de habitats e nichos ecológicos distintos que a floresta oferece, não é de se admirar que se trate de um dos locais com maior biodiversidade do planeta" (p. 140).*

A expressão "ecossistema complexo" aparece em outra ocasião no tópico "Comunidade em mudança: a sucessão ecológica", referindo-se à estabilidade do sistema e à capacidade de resposta a agressões moderadas. Os autores escrevem: *"Dessa maneira, ecossistemas complexos e altamente integrados, como uma floresta tropical no estágio clímax, têm uma estabilidade considerável e são capazes de responder prontamente a agressões, desde que não muito drásticas nem contínuas ou de longa duração"* (p. 95). Evidenciam, assim, a estrutura e a dinâmica das inter-relações nos ecossistemas.

As expressões "complexo", "complexas" e "complexidade" aparecem várias vezes no texto, mesmo que manifestem significados diferentes. No tópico "Ecologia e ecossistemas", os autores descrevem as características da ecologia e expõem as complexas inter-relações da vida. Assim se expressam: "*Enfim, Ecologia é o estudo das complexas interelações chamadas por Darwin de condições da luta pela vida*" (p. 54). O termo "complexas" também aparece no tópico "Comunidade em mudança: a sucessão ecológica". Neste item, a expressão surge através de um exemplo de sucessão ecológica em uma lagoa onde plantas mais complexas passam a surgir ao longo do processo de sucessão. Em seguida, aparece no texto uma tabela que indica algumas modificações dos ecossistemas ao longo da sucessão e a seguinte frase: *"Ficam mais elaboradas, passando de cadeias lineares a teias complexas; aumenta o número de nichos"* (p. 95). O texto indica as complexas inter-relações quando mudamos o enfoque linear e passamos de cadeia a teias alimentares. Neste sentido, os autores poderiam otimizar a discussão em relação a fluxos não lineares, o que não ocorre. Esta perspectiva de teias complexas está reforçada no tópico sobre biomas, onde está relatado que *"A teia de relações entre os organismos é complexa**,** com muitos nichos ecológicos"* (p. 129).

Em relação ao processo de sucessão ecológica, os autores observam que há um aumento da complexidade ao longo da sucessão, à medida que nos aproximamos do clímax:

"Nota-se, por exemplo, que a diversidade das espécies e a complexidade das cadeias alimentares tendem a aumentar quando se avança em direção a comunidade clímax" (p. 95).

No tópico "Comunidade em mudança", os autores assumem uma discussão bastante polêmica em relação à estabilidade dos ecossistemas: *"Acredita-se que a grande estabilidade das comunidades clímax deve-se principalmente à sua diversidade de espécies. Quanto mais complexo o ecossistema, mais complexas serão as relações dentro dele, já que há maior número de nichos ecológicos disponíveis"* (95).

No eixo temático sobre os tipos de interação (Interações positivas e negativas) os autores mencionam que as sociedades de insetos são complexas e seguem descrendo a estrutura e o funcionamento dos formigueiros.

Dialogando sobre matéria e energia, no tópico "O que é matéria? O que é energia?", o termo "complexo" aparece na frase: *"Já o conceito de energia é bem mais complexo"* (p. 68). Neste sentido indica seu significado mais óbvio, ou seja, algo complicado.

Quando os autores apresentam a fitogeografia do Brasil, e dentro deste tópico trabalham sobre paisagens existentes no bioma Mata Atlântica, escrevem que *"O bioma Mata Atlântica consiste de uma formação vegetal bastante complexa [...]"* (p. 145). A frase aponta para a grande diversidade de formações existentes dentro de um bioma que possui suas características próprias.

Nesta obra, o conteúdo de ecologia também nos traz o exemplo canadense de predação entre lebres e linces. Está presente no tópico "Interações positivas e negativas" e, mesmo que não dialogue sobre as possibilidades de uma dinâmica caótica (Fernandez, 2009) e nem aprofunde a discussão, mostra a existência de dúvidas com relação às oscilações populacionais. Noutro tópico, "A poluição e os poluentes", escrevem que *"A perda de uma única espécie pode acarretar profundas modificações em toda a dinâmica ambiental"* (p. 177), evidenciando a complexidade das inter-relações existentes no ecossistema e as possíveis alterações resultantes da perda de uma pequena parte deste sistema. O texto aponta, de maneira indireta, para uma perspectiva da dependência magnificada das condições iniciais nos ecossistemas (Souza e Buckeridge, 2004; Fernandez, 2009).

A expressão "irreversível" não apresenta uma função construtiva da irreversibilidade na natureza explicitamente, porém, aparece em dois momentos e cabe salientar. Primeiro, no tópico "Biomas", os autores mostram uma imagem que pode representar a incapacidade de florestas pluviais tropicais se recuperarem quando atingidas intensamente pelo fogo. O segundo momento ocorre no tópico "A fitogeografia do Brasil", onde o termo "irreversível" está ligado ao processo de desertificação dos campos sulinos decorrente da atividade agropecuária intensiva ao longo de várias décadas. Em ambos os momentos, os autores não apresentam uma visão sistêmica aliada ao termo diretamente, o que pode nos conduzir a noções de impossibilidade de recuperação das formações ou ecossistemas. Mesmo que possa parecer complicado, é importante lembrar que as comunidades jamais foram e serão iguais. Apesar de possuírem determinadas características de formação, elas não são estáticas e, ao longo das eras e períodos, grandes transformações fizeram parte da história dos biomas.

Em relação às propriedades emergentes nos ecossistemas, mesmo que sem mencionar conceitos diretamente, os autores apresentam a seguinte frase: *"Sabe-se, hoje, que a maior parte do solo da Floresta Amazônica é pobre em nutrientes. A maior parte dessas substâncias minerais está incorporada não ao solo, mas aos organismos da floresta. Quando os órgãos das plantas morrem e caem ao solo, são decompostos e, muito rapidamente, seus componentes são reabsorvidos pelas raízes mais próximas"* (p. 141). O exemplo da ciclagem de nutrientes nos solos pobres da Floresta Amazônica, mostra a relevância de uma propriedade que emerge da sucessão ecológica e garante a continuidade do sistema.

No tópico "A dinâmica das populações", os autores reforçam a existência de mecanismos autorreguladores que diminuem a densidade das populações. A saber:

"Competição - quanto maior a densidade de uma população, maior é a competição entre os indivíduos pelos recursos necessários à sua sobrevivência, como alimento, água, luz e território. Em situações como essa, que evidentemente não são boas para os membros da população, é comum a ocorrência de mecanismos autorreguladores que tendem a diminuir a densidade" (p. 89).

O texto exposto não dialoga a auto-organização a partir do fluxo de energia, porém, a competição é apresentada como um fator importante na dinâmica das populações e pode ser compreendida como um mecanismo constituinte da auto-organização dos ecossistemas. Em relação ao fluxo de energia, os autores mencionam, no tópico "Os ciclos da matéria", que "*A Terra está aberta a um constante fluxo de energia proveniente do Sol e perde parte dessa energia para o espaço, sob a forma de calor"* (p. 74). Desta forma, os autores reforçam que é somente num sentido unidirecional que a energia flui, contudo, não fazem referência às leis da termodinâmica abertamente.

4.2.3 Livro C

Dentre os conteúdos ecológicos apresentados pelos autores, estão as expressões "complexo", "complexas" e "complexidade" que aparecem algumas retratando situações bastante diversas. No tópico "Níveis de organização" é apresentada a hipótese de "Gaia", seu início e os reforços posteriores através dos trabalhos de Margulis na década de 1980. O texto segue: *"Entre 1969 e 1970 o químico inglês James E. Lovelock formulou a hipótese Gaia, propondo que nosso planeta seria um complexo organismo vivo, no qual a biosfera e seus componentes físicos interagem em perfeita homeostase ou equilíbrio"* (p. 111).

A expressão "complexa" é utilizada pelos autores no tópico que discute as cadeias e teias alimentares e que visa demonstrar o fluxo não linear da transferência de alimento. Escrevem que *"Na realidade, a transferência de alimento, num ecossistema, é bem mais complexa sendo feita em várias direções"* (p. 120). Esta expressão aparece também na discussão sobre o ciclo do fósforo, onde afirmam que *"Tão complexa quanto a química da vida, as condições para o bom crescimento das plantas geralmente se resumem a três números [...]"* (p. 133). A frase discute a importância dos macroelementos: nitrogênio, fósforo e potássio e seu papel fundamental para o desenvolvimento das plantas. Em relação aos biomas, os autores escrevem que *"A complexa biosfera costuma ser dividida em biociclos: o terrestre, o das águas continentais e o marinho"* (p. 161). Eles apontam para a existência de divisões com características próprias que podem auxiliar na compreensão dos sistemas maiores. A palavra "complexo" é utilizada no texto sobre os biomas brasileiros para nomear o "Complexo do Pantanal, indicando uma mistura de sistemas e formações que integram este bioma.

No item "Curva de crescimento da população", é apresentada a seguinte afirmação: *"As estatísticas populacionais são, de fato, impressionantes. Números brutos, contudo, escondem uma infinidade de complexidades"* (p. 141). O texto, trata sobre a dinâmica do crescimento da população humana e as reduções da taxa média de crescimento. Neste mesmo item, os autores apresentam o estudo canadense de predação (dinâmica populacional de lebres e linces - 1845-1935) e, afirmam que *"Variações regulares e previsíveis em torno da densidade média são consideradas oscilações, e as variações irregulares, geralmente não previsíveis, são as flutuações"* (p. 139). Neste exemplo, não há discussão sobre a possibilidade de dinâmicas caóticas serem responsáveis pelas flutuações populacionais e tampouco, é cogitada a hipótese de atraso de resposta na taxa de crescimento das lebres (diferença latitudinal das populações) (Fernandez, 2009). Mesmo não buscando explicações para as flutuações, o texto faz um comentário que diferencia esta das oscilações

populacionais, trazendo novos elementos através do diálogo entre o previsível e o que não é previsível.

Em relação às propriedades emergentes nos sistemas vivos, no tópico geral sobre sucessão ecológica, os autores observam que *"A principal causa da sucessão ecológica são as alterações ambientais, resultantes ou não da atividade dos seres vivos"* (p. 148). Desta forma, eles suscitam que ocorrem mudanças relevantes no sistema, inclusive mudanças provenientes da biota. Contudo, estas mudanças não são caracterizadas diretamente como propriedades emergentes.

Dialogando sobre o fluxo de energia nos ecossistemas, os autores concordam que *"[...] nem toda energia liberada nos processos respiratórios é utilizada nas atividades vitais, porque uma parte é dissipada sob forma de calor"* (p. 121). Desta forma, demonstram que existe perda de energia durante as transformações, todavia, sem mencionar quais estruturas mantêm este fluxo e garantem que os sistemas vivos permaneçam longe do equilíbrio termodinâmico. Na discussão sobre pirâmides alimentares, afirmam que *"[...] o fluxo da energia é unidirecional, uma vez que boa parte da energia é degradada em calor e jamais é reaproveitada"* (p. 123). Em outras palavras, a energia que entra no sistema é transformada em calor, caracterizando um processo unidirecional e irreversível.

4.2.4 Livro D

A expressão "complexo" aparece duas vezes no tópico "Características gerais dos seres vivos". Na primeira frase, ela indica um complexo sistema de síntese em relação aos inúmeros mecanismos envolvidos no metabolismo. No segundo momento, os autores escrevem em relação ao processo evolutivo e sua complexidade, quando afirmam que *"A evolução é uma importante característica dos seres vivos, sendo um processo bastante complexo, por meio do qual se formam novas espécies"* (p. 18).

Já no tópico "A química das células", em relação aos ácidos ribonucleicos, afirma-se que *"Eles estão presentes em todos os seres vivos e são substâncias complexas, formadas pela repetição de um grupo de moléculas menores, os nucleotídeos"* (p. 23).

No item "Níveis de organização dos seres vivos", os autores escrevem que *"Podemos abordar a vida em níveis mais complexos de organização"* (p. 34), apontando para a complexidade do estudo dos níveis de organização dos seres vivos pertinentes a ecologia, ou seja, as populações, comunidades e ecossistemas.

No conteúdo sobre "Sucessão ecológica", os autores apresentam a ideia da formação da Floresta Amazônica através da sucessão, num processo dinâmico que resulta na complexa comunidade que ocorre neste bioma. Segue a frase: *"Ela se formou aos poucos, após o derrame de lava, com organismos que foram colonizando a lava endurecida e criando condições para que outros organismos ali se instalassem, até chegar à complexa e exuberante comunidade de seres vivos que ali ocorrem"* (p. 65). Neste texto, mostram as mudanças que ocorrem no sistema através das novas propriedades que surgem.

A expressão "complexas" também está presente no eixo "Desafios para o futuro", onde os autores relatam que *"Podemos pensar que as soluções para as questões ambientais são complexas e dependem exclusivamente de leis e ações de governos"* (p. 69). Desta forma, o texto discute o fato de que muitas das soluções para problemas ambientais não se limitam às ações legais realizadas pelos governos, mas, podem integrar um conjunto simples de ações e comportamentos de responsabilidade dos cidadãos.

O item que discute sobre ecologia de populações, disponibiliza o exemplo canadense de inter-relação. Esta pesquisa foi realizada com dados obtidos ao longo de nove décadas e, segundo o texto, ela apresenta a possibilidade de outros fatores, além da relação direta entre

presa e predador influenciarem na dinâmica destas populações, mesmo que a relação presa-predador seja, ainda considerada, o principal fator que regula o tamanho da população. Os autores afirmam que *"Este é um exemplo interessante do dinamismo e da complexidade dos ecossistemas"* (p. 97). De fato este exemplo é bastante frequente nos livros de ecologia e igualmente discutido no mundo acadêmico, porém, o texto apresenta poucos elementos que permitam aos alunos, e mesmo aos docentes, avançarem com relação ao citado "dinamismo e complexidade dos ecossistemas". Dentre estes elementos, está a frase: *"[...] estudos recentes evidenciaram que populações isoladas dessa espécie de lebre apresentam o mesmo padrão de variação na densidade populacional ao longo dos anos, não sendo, portanto, regulada apenas pelo tamanho da população de linces"* (p. 97), o que esclarece a existência de outros mecanismos, além da relação direta de predação, envolvidos na dinâmica destas populações.

Noutro tópico, chamado "Relações interespecíficas ou simbioses", os autores apresentam a complexa estrutura da flor da castanheira*."No entanto, existe um fator que dificulta a retirada do pólen: a complexa estrutura da flor da castanheira, que apresenta um "capuz" formado pela união de pétalas"* (p. 119). Neste texto sobre a castanha-do-pará, são retratados os intrincados processos de coevolução entre insetos e plantas, deixando explícita a magnitude de possibilidades de interação interespecífica existentes nos ecossistemas.

4.2.5 Livro E

Dentre os fundamentos de ecologia propostos, está a informação de que *"A ecologia utiliza conceitos de diversos ramos do conhecimento, buscando entender a complexidade das relações entre a humanidade, os outros seres vivos e o planeta"* (p. 228). Esta frase aponta para a constante necessidade de integração do conhecimento para discutir a complexidade das inter-relações dos sistemas. No tópico "Os conceitos básicos em ecologia", os autores reforçam esta complexidade dizendo que *"A Ecologia é uma ciência abrangente, que utiliza conceitos da Biologia, da Física e da Química, entre outros, e permite, juntamente com as ciências econômicas e sociais, entender a complexidade das relações entre a humanidade, os outros seres vivos e o planeta"* (p. 230).

Quanto às relações alimentares, ou seja, cadeias e teias alimentares, os conteúdos apresentados apontam para o fato de que *"Nos ecossistemas, as relações alimentares entre os organismos de uma comunidade são muito complexas, com um mesmo organismo participando de diversas cadeias alimentares, até mesmo em níveis tróficos diferentes"* (p. 236).

No tópico "Ciclos biogeoquímicos", os autores mencionam o termo "complexo", falando do ciclo do oxigênio que é utilizado e liberado pelos seres vivos em diversas substâncias.

No eixo temático "Sucessão ecológica", as expressões em torno da complexidade aparecem em três momentos. No primeiro, *"A complexidade depende do tempo que se passou desde o início da colonização, das condições climáticas locais e das espécies colonizadoras"* (p. 291) e, no segundo momento, dizendo que *"Durante a sucessão, geralmente o ecossistema vai se tornando progressivamente mais complexo e com maior diversidade de espécies"* (p. 293). Ambas as frases indicam que os ecossistemas ficam mais complexos à medida que ocorre a sucessão. A terceira frase conta com a presença do termo "complexidade": *"O aumento de complexidade na teia de relações da comunidade em sucessão favorece que ela se torne progressivamente mais estável, apesar das variações ambientais impostas pelo meio; em outras palavras, aumenta sua homeostase"* (p. 293). Neste caso, os autores buscam a relação entre o aumento da complexidade na teia de relações e a estabilidade do ecossistema.

Também é apresentada, no eixo "Domínios morfoclimáticos e principais biomas brasileiros", a expressão: "Complexo do Pantanal", indicando a diversidade de formações e interações neste bioma.

No tópico "Fatores que regulam o tamanho das populações biológicas", é apresentado o exemplo canadense de dinâmica populacional entre lebres e linces no período de 1845 até 1935. Este exemplo é bastante comum nos livros didáticos e, neste caso, os autores apresentam uma interpretação bastante linear, ou seja, a relação direta entre presa-predador. Entretanto, reforçam que, apesar da comodidade desta resposta, outras hipóteses podem ser propostas. Mesmo recordando que existem outras hipóteses sobre o exemplo, não surgem avanços na discussão sobre a possibilidade de dinâmicas caóticas. Os autores escrevem que *"Traçando no mesmo gráfico as curvas de densidade das populações de lebres e de linces, verifica-se que a população de linces sempre alcançava seu desenvolvimento máximo 1 ou 2 anos após a população de lebres ter atingido seu máximo. A interpretação mais plausível é que o tamanho das populações de lebres e linces depende da relação de predação existente entre essas duas espécies"* (p, 264).

Com relação às propriedades emergentes nos ecossistemas, no item que trata da sucessão ecológica, está inclusa a frase: *"A cada estágio do processo de sucessão, a comunidade altera a estrutura do ambiente e as condições climáticas locais, criando novos nichos e, portanto, novas possibilidades de colonização por outras espécies. Com isso, as espécies mais antigas vão sendo gradualmente substituídas pelas novas que se estabelecem no local"* (p. 293). Eles dialogam diretamente sobre a influência da comunidade no estabelecimento de novas condições e possibilidades no ecossistema. Entretanto, não ampliam ou caracterizam a discussão para a emergência de propriedades que surgem na presença da auto-organização da vida.

Os autores não mencionam a expressão "não linearidade", porém, através da frase: *"Uma cadeia alimentar é a série linear de organismos pelos quais flui a energia originalmente captada por seres autotróficos"* (p. 235), reconhecem que existem processos lineares e que a dinâmica dos seres vivos nos ecossistemas não acontece desta maneira.

4.2.6 Livro F

Com relação ao tema "Crescimento das populações", os autores referem-se à existência de organismos mais complexos que outros. Eles escrevem que *"Curvas semelhantes foram obtidas em laboratórios com culturas de outros protozoários, fungos, bactérias e até de organismos mais complexos, como a drosófila"* (p. 255).

No tópico que discute os processos de sucessão, chamado "Etapas da sucessão", os autores apresentam um assunto bastante polêmico para a ecologia. A discussão entre diversidade e estabilidade, onde a grande dúvida está na questão de que a estabilidade do ecossistema estaria ligada ao aumento da biodiversidade e complexidade das inter-relações. Isto é expresso na frase:*"Ainda se discute se a estabilidade da comunidade clímax - isto é, a capacidade de uma comunidade retornar ao estado anterior quando modificada por algum fator ambiental - cresce com o aumento da diversidade de espécies e da complexidade das teias"* (p. 294).

Os autores seguem afirmando que *"Alguns estudos indicam que comunidades complexas são mais resistentes à invasão de outras espécies e a alterações provocadas por fatores ambientais"* (p. 294). Essa discussão é bastante fervorosa dentro da ecologia e a cada dia surgem novos elementos que podem contribuir para a melhor compreensão dessa questão.

Em relação às propriedades emergentes, no eixo temático "Etapas da sucessão", os autores explicam que a comunidade pioneira possibilita novas condições para colonização do

ambiente por outras espécies, pois *"Aos poucos, a comunidade pioneira modifica as condições iniciais da região"* (p. 293). Entretanto, não mencionam diretamente o fenômeno da emergência como uma propriedade fundamental da sucessão ecológica, ou mesmo, dos ecossistemas.

No eixo referente ao crescimento das populações, os autores discutem sobre a dinâmica de populações de lebres e de linces no Canadá (1845 a 1935), afirmando que *"O predador não é o único fator que influi nas oscilações periódicas dessas populações. No caso das populações de lebres e linces do Canadá, a queda no número de lebres (presa) deve-se ao aumento do número de linces e à diminuição na quantidade e na qualidade das plantas que lhes servem de alimento, fazendo com que muitos indivíduos morram"* (p. 256). Neste texto, reforçam que a dinâmica da população não é exclusivamente dependente de uma relação presa-predador, pois existem outros fatores (como a disponibilidade de alimento) que afetam diretamente estas oscilações. Mesmo assim, a possibilidade de discussão a respeito do atraso na resposta do sistema, ou de uma dinâmica caótica, não integra abertamente as noções básicas discutidas.

No tópico "Habitat e nicho ecológico", os autores apresentam de forma sintética a hipótese de Gaia. Assim escrevem: *"Segundo essa hipótese, a Terra teria a capacidade de se autorregular por meio de mecanismos de feed-back (retroalimentação)"* (p. 216). Em seguida, lembram que esta hipótese enfrenta severas críticas, pois muitos cientistas acham inadequado afirmar que a Terra é um organismo vivo. A condição de vivo e não vivo é polêmica. Além disso, esses críticos acham duvidoso o fato de que a ação dos seres vivos seja tão efetiva para a manutenção da homeostasia do planeta. Os autores concluem que *"Apesar das críticas, a comparação com um organismo serve para nos alertar da profunda inter-relação entre os seres vivos e o ambiente"* (p. 216).

O tópico "Crescimento das populações" apresenta um aspecto importante, embora não exclusivo, quanto à autorregulação das populações. Os autores escrevem que *"[...] o tamanho das populações pode ser regulado pelos chamados fatores dependentes de densidade, como o predatismo, o parasitismo e a competição, cujos efeitos aumentam quando a densidade é maior"* (p. 256).

4.2.7 Livro G

No tópico que apresenta os conceitos básicos sobre ecologia, chamado de "Ecossistemas: conceitos básicos", o autor escreve que, didaticamente, é importante pensar sobre as cadeias alimentares, mas reforça que a realidade do ecossistema inclui a complexidade das teias. Para tanto, escreve que *"Ao observarmos um ecossistema é comum encontrarmos relações alimentares mais complexas, com uma espécie se alimentando de diversas outras. As cadeias alimentares são apenas esquemas, ou construções simplificadas; as representações mais próximas da realidade são as teias alimentares"* (p. 25).

Em seguida, o autor utiliza uma figura da teia alimentar que representa uma zona costeira, mostrando a diferença entre as cadeias e as complexas relações que formam a teia. No tópico seguinte, "Energia e matéria nos ecossistemas", o autor menciona o termo "complexo enzimático", referindo-se a respiração anaeróbica de bactérias que realizam a fixação de nitrogênio, como é o caso de algumas sulfobactérias.

Dialogando sobre as interações ecológicas, Bizzo escreve que as abelhas e os cupins vivem em sociedades complexas. Noutro tópico que fala sobre a poluição, o autor cita um exemplo de ciclo de vida complexo, um dinoflagelado que se transforma de inofensivo em emissor de toxinas muito potentes.

A frase *"A reconstituição da camada de ozônio cria uma situação complexa, pois ela tende a aumentar o efeito estufa, dado que a radiação ultravioleta é convertida em calor pelo ozônio estratosférico"* (p. 93), está presente no eixo temático "Efeitos globais: mudanças climáticas". Sugere uma dinâmica interessante onde o processo conhecido como efeito estufa, provavelmente, é intensificado à medida que a camada de ozônio vai se reconstituindo.

Em relação às propriedades emergentes, no tópico "Populações nos ecossistemas", Bizzo apresenta uma frase onde indica que os seres vivos criam novas condições para a vida ao longo do processo de sucessão. Ele escreve: *"Elas criam condições para instalações de outras espécies, chamadas secundárias ou intermediárias"* (p. 47), assim afirmando que espécies alteram o ambiente de maneira significativa.

Dentre os conteúdos presentes no tópico "Efeitos globais: mudanças climáticas", o autor comenta que as pesquisas de Lovelock permitiram detectar a presença de CFC e ampliaram muitas outras pesquisas ambientais, embora sua hipótese tenha recebido inúmeras críticas. Ele escreve que *"As pesquisas de Lovelock sobre os mecanismos de equilíbrio da atmosfera e dos oceanos o levaram a propor uma hipótese batizada de "hipótese Gaia", segundo a qual, os mecanismos de compensação ambiental do planeta devem ser vistos como os de um organismo"* (p. 93).

O autor finaliza esta discussão sobre Gaia dizendo que, mesmo com todas as críticas, esta hipótese tem estimulado debates e pesquisas, contribuindo para a consciência das limitações ambientais da Terra.

No tópico sobre "Energia e matéria nos ecossistemas", o autor discute sobre o fluxo de energia nas cadeias alimentares, buscando uma relação com as leis físicas que se traduzem no decréscimo de energia à medida que ela transita pelos diferentes níveis tróficos. Bizzo escreve que *"A energia não pode ser criada nem tampouco destruída. Assim, ela pode transitar pelos níveis tróficos e se converter em diferentes formas de energia. No entanto, de acordo com as leis da Física, espera-se que haja um decréscimo considerável de energia disponível aos diferentes níveis tróficos"* (p. 27).

4.2.8 Livro H

Entremeada ao conteúdo de ecologia no tópico "Os fatores determinantes dos ecossistemas", cabe destacar a seguinte frase proposta pelos autores: *"Qualquer organismo vivo é um sistema complexo altamente dependente da temperatura"* (p. 245). Assim, fica evidente o reconhecimento da vida como um processo que depende da relação estabelecida com os fatores abióticos, em especial a temperatura. Neste contexto, não é ampliada a discussão para aspectos referentes a termodinâmica do não equilíbrio.

No tópico sobre relações intraespecíficas, os autores dialogam sobre a forma de organização das sociedades, dizendo que *"Algumas espécies de insetos apresentam as sociedades mais complexas, chamadas de eusociais"* (p. 222). Os cupins são exemplos destas sociedades, pois: *"Nas sociedades de cupins, a casta das operárias é composta por indivíduos estéreis e é dividida entre as operárias propriamente ditas, responsáveis por coletar alimento e cavar os longos e complexos túneis dos ninhos construídos no interior do solo ou da madeira [...]"* (p. 222).

Ainda referente as relações intraespecíficas, os autores escrevem que a competição intraespecífica pode apresentar conformações bastante complexas e utilizam como exemplo a anêmona. O tópico seguinte discute as relações interespecíficas, onde é utilizado um exemplo que apresenta a existência de relações complexas entre vírus, bactérias, pulgões e vespas: *"Relações complexas: As vespas Aphidius ervi colocam seus ovos no corpo de pulgões Acyrthosiphon pisum, que servem de alimento para as suas larvas. Se, porém, o pulgão*

hospedar a bactéria Hamiltonella defensa em seu organismo, as larvas da vespa não se desenvolvem bem e morrem. Mas há uma condição: apenas as bactérias que estiverem infectadas por determinado vírus conseguem proteger o pulgão. O material genético desse vírus determina a produção de uma proteína que é tóxica para as larvas da vespa. Dessa forma, o vírus que infecta a bactéria protege o pulgão de servir de alimento para a vespa. Isso mostra quão complexas e entremeadas podem ser as relações ecológicas entre os organismos" (p. 228).

No tópico "Dinâmica de populações" em relação aos fatores reguladores do tamanho das populações (temperatura, umidade, luz e inundações), encontra-se a frase: *"Na natureza, no entanto, esses fatores atuam de maneira interdependente e complexa, dificultando a caracterização precisa de cada um deles e de seu impacto particular na regulação das populações"* (p. 239). Neste item os autores apontam para a dificuldade de predizer a complexidade de interação dos fatores, inclusive de dimensionar sua atuação específica, ao passo que estes fatores se retroalimentam e, assim, constituem a dinâmica das populações e dos ecossistemas.

A discussão pertinente ao tópico "Sucessão ecológica" cita os termos analisados (complexo, complexas e complexidade) em quatro momentos. No primeiro momento, através da frase: *"Em seguida, instalam-se as plantas aquáticas e algumas plantas mais complexas, principalmente nas bordas da lagoa"* (p. 247). Os autores apontam para as diferenças estruturais das plantas, ou seja, a existência de plantas mais e menos complexas. No segundo momento, a discussão sobre complexidade avança para a diversidade biológica, a quantidade de nichos e inter-relações e a estabilidade do ecossistema. Assim escrevem: *"Acredita-se que a grande estabilidade das comunidades clímax seja devida à diversidade de espécies. Quanto mais complexo o ecossistema, mais complexas são as relações, existindo maior numero de nichos ecológicos disponíveis"* (p. 248). Neste momento, cabe ressaltar a existência de intensos debates sobre a relação, direta ou não, entre diversidade e estabilidade nos ecossistemas. Quanto aos aspectos da estabilidade, os autores reforçam que *"O estabelecimento de relações complexas entre os componentes vivos permite à comunidade ajustar-se às variações impostas pelo meio, sendo menores as probabilidades de que a mudança em uma das condições possa afetar negativamente o ecossistema como um todo"* (p. 248).

Neste sentido, discutem que a complexidade nos ecossistemas permitem que as mudanças na dinâmica sejam rapidamente estabelecidas quanto mais próximos ao clímax estejam os ecossistemas, ou seja, a estabilidade é mantida em função da diversidade de inter-relações. A saber: *"Assim, os ecossistemas mais complexos e altamente integrados, como os das florestas tropicais, apresentam uma estabilidade considerável, e no estágio de clímax são capazes de recuperar-se das agressões, desde que elas não sejam muito intensas"* (p. 248).

O eixo que trata das ações antrópicas no ambiente, chamado: "Impacto humano sobre a atmosfera", apresenta uma discussão em relação ao aumento do efeito estufa e o possível aumento da temperatura em aproximadamente 3º C até 2100, e alerta para outros graves impactos desta mudança no clima. O texto diz que *"[...] podem ocorrer eventos climáticos extremos, como ondas de calor, furacões e secas, que provocariam um complexo conjunto de reações, afetando numerosos sistemas naturais"* (p. 281).

Outra frase de menor relevância ao contexto de análise também está presente, contudo, ela indica através do termo "complexo", a dificuldade que seria a realização de uma contagem total dos indivíduos de uma população qualquer, ou seja, uma "contagem complexa".

Em relação ao estudo da ecologia de populações, no tópico intitulado "Dinâmica de populações", os autores utilizam o exemplo canadense de lebres e linces, indicando uma relação direta nas oscilações acopladas presa-predador. Não apresentam, neste item, as várias hipóteses que surgiram decorrentes desta pesquisa iniciada na década de 1930 e, tampouco

apresentam seus limites e reformulações ao longo de décadas de estudo. Vários são os potenciais teóricos deste exemplo para uma discussão de não linearidade e caos determinístico dentro da ecologia de populações.

Na temática "Ameaças à biodiversidade", os autores discutem a perda do patrimônio genético e evolutivo e os riscos à estabilidade dos ecossistemas naturais, em função da perda de espécies. A frase: *"A extinção de uma espécie é um evento irreversível"* (p. 291), busca elucidar como a perda de uma única espécie pode alterar de modo significativo as relações que as espécies estabelecem umas com as outras, alterando assim, o funcionamento dos ecossistemas.

No eixo de estudo chamado "Relações tróficas nos ecossistemas", os autores dialogam sobre a imprevisibilidade dos ecossistemas em função da sua diversidade de espécies, onde cada espécie e, até mesmo, cada indivíduo, possui suas particularidades e de seus potenciais. Segundo os autores: *"Wilson ensina que os ecossistemas podem ser imprevisíveis, em razão das peculiaridades de cada espécie que ali interage"* (p. 208). Neste contexto cabe mencionar que, em geral, nos ecossistemas é possível reconhecer um conjunto de características que pode conduzir a estruturas e funções, ou seja, é possível identificar regiões do espaço para onde a trajetória do sistema converge, possibilitando, assim, a discussão sobre dinâmicas caóticas e atratores. Porém, é igualmente necessário recordar que a previsibilidade do sistema reduz à medida que o tempo de análise avança.

4.3 Análise Individual dos Materiais de Apoio ao Docente, Presentes nos Livros Didáticos do Professor ("Manual do professor")

Os materiais de apoio ao docente fazem parte exclusivamente do livro didático do professor, não estando inclusos nos livros fornecidos aos estudantes. Possuem como principais objetivos, o fornecimento de esclarecimentos sobre as coleções, sugestões pedagógicas e informações complementares (textos, vídeos, imagens e sites), além de incluir as respostas das questões propostas ao longo dos capítulos do livro didático. Foram analisados seis materiais de apoio ao professor, presentes nas obras didáticas aprovadas pelo MEC (2011), exceto livros E e G. Algumas, intituladas "Manual do professor", outras, "Suplemento para o professor" e, ainda, "Orientações para o professor". Segue a análise individual dos materiais e posterior síntese:

4.3.1 Livro A - (Manual do professor)

Em um texto complementar (fenômeno El Ninõ), que explica uma atividade a ser desenvolvidas pelos alunos, os autores dialogam sobre a relevância de fatores que, inicialmente, parecem fragmentados, mas que, quando integrados, podem possibilitar a compreensão da complexidade dos fenômenos ecológicos, resgatando uma perspectiva de interação sistêmica.

4.3.2 Livro B - (Manual do professor)

Os autores apresentam algumas considerações sobre os capítulos e dialogam sobre a importância em apresentar exemplos de cadeias alimentares típicas possibilitando ao discente uma visão mais ampla da complexidade da dinâmica das teias alimentares.

Em textos complementares, os autores apresentam a ecologia como uma ciência bastante complexa em função do grande número de variáveis envolvidas no funcionamento dos ecossistemas. Seguem apresentando o exemplo "Biosfera 2", que deixa lúcida a complexidade dos processos envolvidos na manutenção da vida nos diferentes ecossistemas.

No texto sobre o projeto "Biosfera 2": *"A história do projeto constitui um bom exemplo da complexidade dos ecossistemas e da dificuldade de entender - e prever - todos os fatores que neles atuam"* (p. 47), evidenciam a dificuldade de previsão na dinâmica dos ecossistemas, em função do grande número de variáveis envolvidas.

Em outro texto complementar apresentam a hipótese de "Gaia". Através desta hipótese, afirmam que o planeta é considerado como um super organismo com capacidade de autorregulação, embora não esteja realizando este "controle" de forma consciente. Segundo o texto, esta ideia é de grande apelo e a maioria dos ecólogos reluta em aceitá-la.

Nas considerações sobre o capítulo 5, "Conceitos fundamentais em ecologia", os autores apresentam a dinâmica das populações em direção ao clímax. Neste estágio de sucessão, os autores dialogam sobre o surgimento de inúmeros nichos, que permitem uma maior estabilidade do ecossistema e que diminuem a probabilidade de mudanças drásticas e irreversíveis. Eles escrevem: *"Neste momento descreve-se também o estágio de clímax, ressaltando que sua estabilidade depende, justamente, da presença de um grande número de nichos ecológicos; este fato faz com que haja menores probabilidades de uma mudança afetar o ecossistema todo - como às vezes ocorre de forma irreversível"* (p. 57).

4.3.3 Livro C - (Orientações para o professor)

Os autores apresentam uma sugestão de leitura de uma revista de divulgação científica onde o termo "ecossistema complexo" está presente, justificando as dezenas de seres vivos que podem habitar uma única árvore. Afirmam que *"Uma única árvore pode abrigar um ecossistema complexo - das dezenas de seres vivos que habitam a água acumulada nas bromélias aos tucanos que fazem do caule seu ninho de amor"* (p. 44).

O material apresenta sugestões de textos para aprofundamento do professor. Dentre os textos está o intitulado "Biodiversidade sem fronteiras", que busca elucidar processos de simulação em computador indicando quais espécies podem se formar sem isolamento geográfico. O trabalho apresentado está sendo realizado através de uma parceria entre um especialista em teoria do caos da Unicamp e o Instituto de Sistemas Complexos da Nova Inglaterra - NECSI.

Os autores apresentam um texto complementar sobre a dispersão de sementes nos trópicos, avaliando a complexidade das interações interespecíficas envolvidas neste processo. O estudo baseia-se nas relações entre sociedades de formigas e plantas.

4.3.4 Livro D - (Manual do professor)

Nas orientações complementares ao professor, os autores apresentam os objetivos gerais da unidade 1 "Introdução à Biologia e princípios de ecologia", dialogando sobre a relevância de integração entre os diversos conceitos abordados nas demais unidades. Eles descrevem que *"Estabelecer essa relação é essencial para compreender a complexidade da vida e a importância da preservação do meio ambiente, dois dos principais objetivos cognitivos do ensino de Biologia no Ensino Médio"* (p. 18).

No material referente às contribuições ao professor, os autores comentam o capitulo 5 - "Relações entre os seres vivos", dizendo que *"O aluno deve compreender que as relações*

entre os seres vivos respondem pelo equilíbrio e pela complexidade de um ecossistema" (p. 42).

No material de apoio ao docente, os autores apresentam textos de enriquecimento. Dentre estes, o texto: "Por que preservar a biodiversidade?" que salienta a necessidade de preservação de todos os ecossistemas brasileiros, visto que abrigam uma grande biodiversidade ainda pouco conhecida pela Ciência. Com relação à perda desta diversidade, afirmam que *"Como o ecossistema apresenta interações complexas, a perda de uma espécie pode tornar a comunidade instável e gerar desequilíbrios maiores, em um efeito "bola de neve""* (p. 43).

4.3.5 Livro E - (Suplemento para o professor)

Não apresenta elementos para análise.

4.3.6 Livro F - (Manual do professor)

No Manual do Professor, os autores realizam sugestões de abordagem e comentários, em que discorrem sobre a sucessão ecológica. Neste item, afirmam que *"Alguns estudos indicam que as comunidades complexas são mais resistentes à invasão de outras espécies e à alteração dos fatores ambientais"* (p. 40).

Em relação à discussão sobre diversidade e estabilidade do sistema, os autores seguem afirmando que *"[...] embora alguns autores assumam que o aumento da diversidade de espécies e da complexidade das teias alimentares aumente a estabilidade da comunidade clímax, ainda não há consenso a esse respeito"* (p. 40).

4.3.7 Livro G - (Manual do professor)

Não apresenta elementos para análise.

4.3.8 Livro H - (Manual do professor)

Os autores apresentam a teoria de "Gaia" como provocativa para o diálogo entre o conhecimento prévio dos alunos sobre os conceitos centrais e as noções mais importantes em relação à ecologia básica. Eles reforçam que, através de textos complementares, é possível perceber o nível de conhecimento que os alunos possuem, além de introduzir outros temas significativos.

Em seguida levantam os aspectos fundamentais desta teoria através de dois textos. O primeiro, escrito por James Lovelock, descreve várias formas de compreensão do significado da vida, pois "*É razoável considerar a Terra como um sistema em homeostasia. O clima permaneceu satisfatório para a vida durante 3,8 bilhões de anos, não obstante tivesse ocorrido um aumento de 25% na produção solar. O nível de oxigênio permaneceu constante por centenas de milhões de anos. Na verdade, ainda não há prova de que a constância do clima e do oxigênio não tenha se mantido graças a alguma causalidade feliz. Mas isso não é razão para se rejeitar a alternativa de que a Terra é autorreguladora como um organismo vivo. Fazer isso em face das evidências seria má ciência*" (p. 71). Por fim, os autores

reforçam que as objeções a essa teoria provêm do neodarwinismo, de modo que os argumentos se baseiam no fato de que Gaia não pode se reproduzir e, portanto, não pode evoluir em competição com outros planetas. Desta forma, Gaia não é viva.

No final do texto, Lovelock rebate este argumento ao afirmar que "*É verdade que Gaia não está viva como eu e você. Ela não tem um sentido de propósito, ela não pode se mover pela sua própria vontade, ou fazer amor. Mas, se for assim, muitas bactérias também não o podem*" (p. 71).

O segundo texto, escrito por Nunes Neto; Lima-Tavares; El-Hani (apud, Santos; Aguilar; Oliveira, 2010), apresenta o surgimento da teoria de Gaia e descreve uma caminhada transitória, considerando, inicialmente, a ideia pseudocientífica, e conduzindo está, a uma teoria respeitável. Discorre sobre a existência de uma rede complexa de alças de retroalimentação defendida por Lovelock e Lynn Margulis, onde os seres vivos se relacionam intimamente com o ambiente físico-químico. É apresentada da seguinte forma: "*Muitas críticas atuais à teoria Gaia estão dirigidas a afirmações controversas de Lovelock, como as de que "A Terra é viva" ou "Gaia é um superorganismo". [...] Por Exemplo, o conhecimento biológico trata os organismos, há mais de um século e meio, como partes de populações que evoluem por seleção natural, ainda que estejam sujeitas também a outros mecanismos evolutivos [...] Gaia não forma populações, não evolui por seleção natural, não se reproduz, não deixa descendentes e não há indícios de que possua algo similar a um material genético*" (p. 72).

Sob a perspectiva de vida darwiniana, Gaia está longe de ser contemplada, entretanto, no que diz respeito ao conhecimento dos sistemas, os autores observam que "*Uma tendência atual tem sido estudar Gaia como um sistema cibernético, estudando suas propriedades emergentes, como a autorregulação do clima. Desta perspectiva, os estudos têm focado o uso de modelos matemáticos derivados da vida artificial e da teoria da Complexidade, com o objetivo de analisar as alças de retroalimentação que ligam, de acordo com a teoria, a vida ao ambiente físico-químico e seriam responsáveis pela capacidade de autorregulação de Gaia. Desta perspectiva, Gaia não é considerada um organismo vivo, mas apenas um sistema complexo, o que julgamos ser muito mais apropriado*" (p. 72). Assim, os autores dialogam em relação à possibilidade de estudar o planeta através de novas perspectivas teóricas emergentes na ciência.

Nos comentários sobre os textos, os autores escrevem que *"Lovelock chama atenção para nossa visão restrita do conceito de vida"* (p. 72) e, ainda, reforçam a necessidade de ampliarmos a nossa própria compreensão sobre o que é o vivo, uma discussão bastante antiga que parece alimentar-se de novos conceitos e visões a cada momento.

No texto: "A biblioteca do Amazonas", o autor J. Ferris escreve que *"O ADN de organismos mais complexos contém tanta informação quanto milhares de livros"* (p. 86), evidenciando o grande número de possibilidade de combinações necessárias para a sustentação da diversidade da vida.

No mesmo texto, o autor escreve que *"O mundo se está transformando rapidamente num enorme complexo de computação e nesse ambiente os dados concretos e novos prometem ser a mais valiosa mercadoria futura"* (p. 86), apontando para as enormes perdas que a humanidade terá com a redução da biodiversidade planetária, principalmente nos trópicos.

4.3.9 Síntese das análises individuais

Entre os principais aspectos observados para dar suporte à discussão sobre a complexidade na ecologia, estão: a utilização de exemplos de fenômenos, projetos e hipóteses

e a utilização da diferença estrutural e funcional entre cadeias alimentares e teias alimentares. A utilização de exemplos de fenômenos, tais como o "El-niño", projetos (Biosfera 2) e hipóteses ("Gaia") permitem ao professor, o diálogo sobre situações cotidianas, próprias do estudo da ecologia, possibilitando a discussão sobre a complexidade da vida e dos ecossistemas.

O diálogo em relação aos sistemas complexos (teoria da Complexidade) aparece de maneira mais evidente entremeada à discussão sobre os limites e os potenciais da hipótese de "Gaia". Neste sentido é que surge a possibilidade de compreender os ecossistemas e a biosfera, não como organismos vivos, mas sim, enquanto sistemas complexos com propriedades emergentes e capacidade de auto-organização. É claro que este exemplo (Gaia), ao passo que permite uma compreensão sistêmica, também retrata um cenário bastante conflituoso que certamente pode ser aproveitado para a discussão em sala de aula (Fernandez, 2009; Dawkins, 2000; Margulis, 2001).

Em vários textos, dos manuais das obras, está presente a discussão sobre diversidade e complexidade como causa da estabilidade dos ecossistemas. Esta discussão também é exposta a dúvidas e críticas, pois é motivo de controvérsias e, portanto, pode contribuir de maneira significativa ao ensino, estimulando o censo crítico do aluno.

Outro aspecto, relacionado às diferenças estruturais e funcionais entre cadeias e teias alimentares é mais tranquilo do ponto de vista acadêmico. Não existem grandes conflitos entre a explicação mais apropriada para a compreensão das relações e interações no ecossistema. Quando se discute sobre cadeia alimentar, os autores, geralmente, deixam claro a existência de limites explicativos. Em seguida, apresentam a perspectiva sistêmica de inter-relação através das teias ecológicas.

4.4 Análise Geral de Noções sobre Sistemas Complexos Presente nos Livros Didáticos e Manuais do Professor

Foram registradas nos conteúdos de ecologia dos oito livros didáticos de biologia, um total de noventa e cinco citações. As citações consideradas foram as que possuíam, algum dos termos propostos no trabalho diretamente mencionado, ou apresentavam noções com relação aos conceitos sobre sistemas complexos. A seguir, estão dispostos os dados percentuais destes registros agrupados em categorias (eixos temáticos/tópicos):

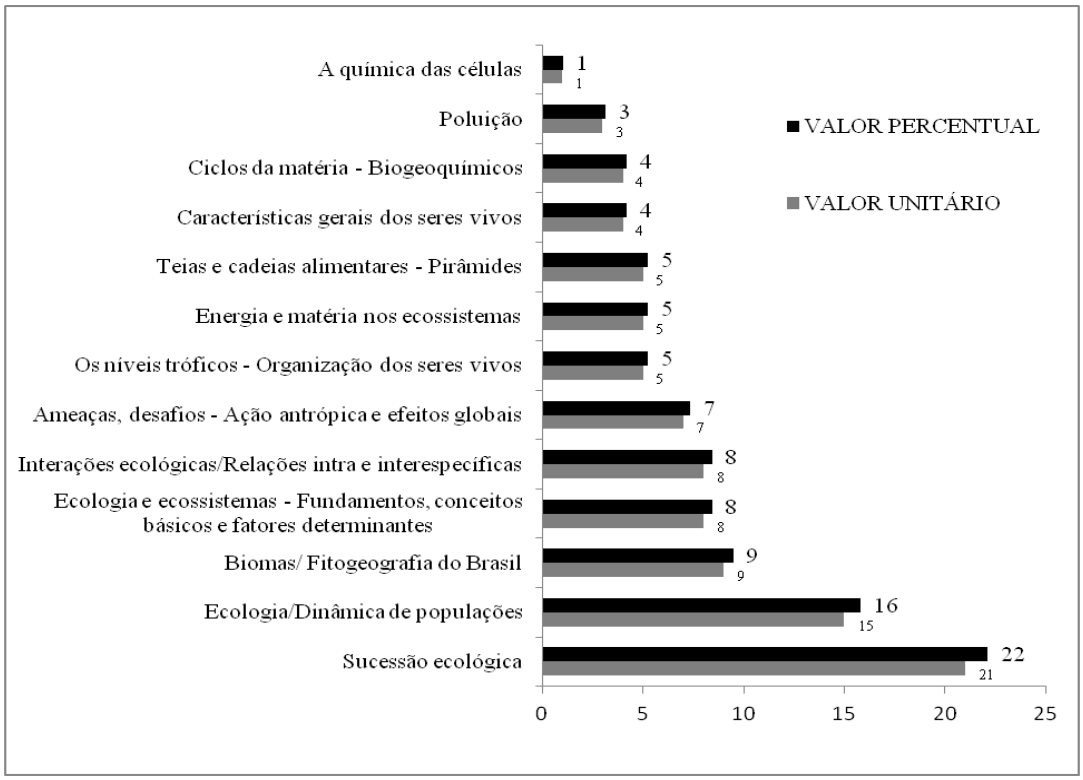

Figura 4: Categorização das noventa e cinco citações, contendo noções ou conceitos sobre sistemas complexos, encontradas nas obras didáticas (valor unitário e percentual)

As citações foram categorizadas de acordo com os eixos temáticos onde estavam presentes nas obras e, desta forma, verificou-se que a categoria *Sucessão ecológica* (22%), apresenta o maior número de registros, seguida da categoria *Ecologia/Dinâmica de populações* (16%). Cerca de 9% dos registros aconteceram na categoria *Ecologia e ecossistemas: fundamentos, conceitos básicos e fatores determinantes*.

Estes dados contribuíram para uma análise de quatro pontos fundamentais, que foram identificados nas obras didáticas e, considerados no momento, como de maior relevância. Estes pontos foram comuns a várias obras didáticas e quando não aparecem nos livros dos alunos, frequentemente, surgiram nos manuais de orientação ao professor. O primeiro destes pontos está na teoria ou hipótese de "Gaia", proposta inicialmente por James Lovelock e defendida pela microbióloga Lynn Margulis. O exemplo canadense de predação (lebres e linces - 1845 a 1935) aparece como segundo ponto discutido estando presente em sete das obras didáticas estudadas. O terceiro ponto que possibilita o diálogo sobre emergência ou propriedades emergentes, é apresentado de forma bastante semelhante nas oito obras analisadas. Neste conteúdo, sobre sucessão ecológica, os autores, no geral, referem-se às mudanças no ecossistema ao longo do processo de sucessão, seja em função dos fatores bióticos, ou de fatores abióticos. O aspecto destacado, é o surgimento de novas condições ambientais à partir de cenários anteriores. O quarto ponto analisado diz respeito a uma discussão antiga na ecologia, a relação entre estabilidade dos sistemas em função da diversidade e complexidade, ou seja, diversidade e estabilidade. Esses quatro pontos foram considerados importantes por que apresentam elementos que podem oportunizar o diálogo com os conceitos emergentes da complexidade.

4.4.1 Hipótese de Gaia

Esta hipótese aparece dialogando sobre uma perspectiva sistêmica em quatro obras didáticas. Além disso, em outras obras que não apresentam a discussão no livro didático comum ao aluno, a proposta de Lovelock está inclusa em textos presentes no manual do professor. Na maioria das vezes ela é apresentada frente a existência de fortes críticas, entretanto, os autores apresentam-na como uma ideia propulsora para o debate e a pesquisa.

As discussões pertinentes a essa temática exemplificam em parte os conflitos teóricos existentes no meio acadêmico e, de maneira mais direta, refletem as divergências de concepções dentro da ecologia. Muitos pesquisadores rejeitam completamente esta hipótese, outros dialogam sobre a intensidade com que as inter-relações influenciam e acontecem nos ecossistemas. Há também os que concordam que a biosfera forma um só sistema vivo e outros que preferem entendê-la como um sistema complexo, com propriedades emergentes e capacidade de auto-organização, sem estender esta ideia ao "custo" ideológico da expressão "Gaia".

Mergulhando mais afundo nesta discussão, Margulis (2001, p. 111) defende que um fator de grande motivação às ideias de Gaia foi a temperatura planetária e nos lembra que "Assim como nossos corpos, e os de todos os mamíferos, mantêm uma temperatura interna relativamente estável a despeito de alterações de condições, o sistema da Terra mantém a temperatura e composição atmosférica estáveis". Capra (1982) também defende que, dentre os motivos que conduziram James Lovelock a propor a hipótese de Gaia, está o modo como a biosfera parece regular a composição química do ar, da temperatura e dos vários outros aspectos físico-químicos do ambiente planetário.

> [...] tais fenômenos só podem ser entendidos se o planeta, como um todo, for considerado um único organismo vivo. Reconhecendo que sua hipótese representa o renascimento de um poderoso mito antigo, os dois cientistas chamaram-lhe a hipótese de Gaia, do nome da deusa grega da Terra (CAPRA, 1982, p. 277).

Em relação à origem grega do termo "Gaia", Margulis (2001, p. 112) escreve que "O nome agradou em cheio. Os ambientalistas e pessoas religiosas, atraídos pela idéia de uma deusa nativa poderosa, agarraram-se a ela, dando a Gaia uma conotação nitidamente não científica".

É neste sentido pseudocientífico, que Fernandez (2009, p. 237) confronta diretamente a hipótese. Falando sobre as diferentes cosmologias e suas similaridades, baseado no que Monod chamou de "projeção animista", ele escreve que "Ao realizar esta projeção, as culturas humanas estabeleceram uma aliança com o mundo natural que nega a nossa solidão e encontra um confortável sentido para a humanidade num universo que gira em torno dela e está preocupado com ela".

> Na cultura popular, a confusa idéia de Gaia lembra algo de mitológico. Gaia reproduz nossa ânsia por um significado para nossas breves vidas na Terra. Quando mal formulada, Gaia corrobora o puritanismo contemporâneo: o discurso feminista sobre os perigos do "estupro" e destruição da Terra iluminada pelo Sol. Há séculos personificamos a natureza. A tomada da teoria Gaia pelos inimigos da ciência e chefões dos meios de comunicação é surpreendente. Os primeiros culpam a ciência, que é apenas um modo de conhecimento, pelos excessos da tecnologia, e os últimos utilizam a ciência para justificar sua tosca arte de vender revistas e programas de televisão (MARGULIS, 2001, p. 113).

A difusão errônea ou mesmo distorcida de conceitos e teorias faz parte da realidade da ciência e da divulgação científica. Porém, em alguns casos, é interessante como o processo de resignificação conceitual pode alcançar horizontes sequer previstos pelos seus próprios fundadores. É o que Dawkins (2000, p. 287) escreve, em relação a James Lovelock e a teoria de Gaia, quando afirma que "Lovelock se confessa incomodado por aqueles [...], que levam a sua idéia além do esperado. Gaia tornou-se um culto, quase uma religião, e Lovelock agora compreensivelmente quer distância de sua idéia". Na perspectiva de uma projeção animista, digamos atualizada, Fernandez (2009, p. 237) escreve sobre a hipótese de Gaia dizendo que "A ambiciosa ideia, formulada pelo químico James Lovelock, é de que o planeta inteiro teria evoluído para servir de abrigo adequado à vida, e funcionaria como uma espécie de superorganismo autorregulado".

Margulis (2001, p. 108) discute sobre a noção de superorganismo dizendo que Gaia não é um organismo diretamente selecionado entre outros organismos, mas representa uma propriedade emergente da interação de organismos. A autora diz que "A hipótese de Gaia não afirma, como muitos pretendem, que "a Terra é um só organismo"; todavia, a Terra, no sentido biológico, tem um corpo mantido por complexos processos fisiológicos".

> Conforme detalhado na teoria de Jim a respeito do sistema planetário, Gaia não é um organismo. Qualquer organismo tem de se alimentar pela fotossíntese ou quimiossíntese, produzir seu próprio alimento. Todos os organismos geram resíduos. A segunda lei da termodinâmica fala claramente a respeito: para manter a organização de um corpo, é necessário despender energia, que é dissipada na forma de calor. Nenhum organismo se alimenta de seus próprios resíduos. Gaia, a Terra viva, transcende em muito qualquer organismo ou mesmo qualquer população (MARGULIS, 2001, p. 112).

Mesmo que haja grandes discordâncias, Capra (1982, p. 269) afirma que: "Embora todos os organismos vivos apresentem respeitável individualidade e sejam relativamente autônomos em seu funcionamento, as fronteiras entre organismo e meio ambiente são, com frequência, difíceis de determinar". Para outros autores, esta região fronteiriça está bastante definida pela seleção natural, através da cooperação gênica dentro dos pools em interação. Dawkins (2000, p. 285) se utiliza do exemplo de uma floresta tropical para dizer que:

> [...] toda a floresta parece um único conjunto harmonioso, cada unidade contribuindo para o benefício de todos, cada árvore e cada ácaro do solo, até cada predador e cada parasita, desempenhando o seu papel numa grande e feliz família (DAWKINS, 2000, p. 285).

Esta aparente harmonia é facilmente visualizada numa floresta, pois os resíduos de uns, servem de alimentos a outros. Dawkins (2000, p. 285) diz que "Sim, num certo sentido insípido, os organismos numa floresta tropical desempenham um valioso serviço para outras espécies, e até para a manutenção de toda a comunidade da floresta". Entretanto, em seguida utiliza o exemplo das relações entre a floresta e os decompositores (as bactérias) para esclarecer suas ideias:

> Porém, elas não agem assim para gerar o adubo composto. Usam as folhas mortas e os animais mortos como alimento para si mesmas, para o bem dos genes que programam as suas atividades de gerar o adubo composto. É uma consequência incidental dessa atividade em causa própria que o solo melhora do ponto de vista das plantas, dos herbívoros que as comem e dos carnívoros que comem os herbívoros. As espécies na comunidade de uma floresta tropical prosperam na presença das outras espécies nessa comunidade porque

> a comunidade é o ambiente em que seus ancestrais sobreviveram. Talvez haja plantas que florescem na ausência de uma cultura rica em bactérias do solo, mas essas não são as que encontramos numa floresta tropical. É mais provável encontrá-las num deserto (DAWKINS, 2000, p. 285-286).

Na perspectiva neodarwinista de Dawkins (2000, p. 286), esse é o modo correto de lidar com o que ele chama de "tentação de Gaia": "[...] a fantasia romântica superestimada de que o mundo inteiro é um organismo; de que cada espécies faz a sua parte para o bem-estar do conjunto". Conflitos à parte, Dawkins (2000, p. 287) aprofunda a análise e discute algumas das propostas de Lovelock. Por exemplo, a ideia de que as bactérias produzem metano por causa do relevante papel que este gás desempenha na regulação da química da atmosfera da Terra. Neste sentido ele escreve que:

> O problema dessa proposição é que se exige das bactérias individuais um comportamento mais generoso do que a seleção natural pode explicar. Supõe-se que as bactérias produzem metano além de suas próprias necessidades. Espera-se que produzam metano suficiente para beneficiar o planeta em geral. Não tem sentido argumentar que agem assim por seus próprios interesses de longo prazo, porque, se o planeta for extinto, elas também serão. A seleção natural jamais esteve consciente do futuro de longo prazo (DAWKINS, 2000, p. 287).

Dawkins (2000, p. 287) afirma que concordaria com Lovelock se ele argumentasse que "[...] as bactérias produzem metano como um produto secundário de alguma outra coisa que fazem pra seu próprio bem, e que essa produção é apenas circunstancialmente útil para o mundo [...]". Para Fernandez (2009, p. 237-238), as noções sobre a teoria de Gaia são bastante claras, pois segundo ele "Toda e qualquer característica do ajuste Terra-organismos apontada como evidência a favor da hipótese Gaia, é explicada de maneira muito mais simples e óbvia por seleção natural".

Neste cenário conflituoso, Dawkins (2000, p. 288) reforça que:

> [...] toda retórica de Gaia é supérflua e desorientadora. Ninguém precisa falar das bactérias operando para o bem de qualquer outra coisa que não seja o seu próprio bem genético de curto prazo. Resta-nos a conclusão de que os indivíduos trabalham para Gaia apenas quando isso lhes traz vantagens - então por que se dar ao trabalho de trazer Gaia para a discussão? (DAWKINS, 2000, p. 288).

Quando este tema aparece em evidência nos livros didáticos, geralmente, contradiz esta visão desorientadora proposta por Dawkins. A proposta de Gaia aparece nos livros didáticos como um tema conflituoso, mas segundo os autores, pertinente de estudo porque possibilita a discussão em torno da ecologia e estimula debates em torno da ciência. Para Fernandez (2009), esse argumento não basta e tampouco se faz necessário para uma boa discussão ecológica, e afirma:

> Como qualquer religião, Gaia pode ser efetiva em mobilizar pessoas por uma causa, no caso a conservação. Porém, uma vez que Gaia não se assume como religião e prefere manter seu disfarce de ciência, espero que a conservação não dependa dela, pois cedo ou tarde vai surgir alguém para dizer "o rei está nú", como alguns aliás já estão fazendo (FERNANDEZ, 2009, p. 238).

Para Margulis (2001, p. 116), existem algumas questões que ainda precisam ser melhor formuladas, pois é necessário compreender melhor até que ponto os sistemas químicos estão interligados. Ela escreve: "A "Gaia fraca" sustenta que o ambiente e a vida estão acoplados; eles co-evoluem. Poucas pessoas discordam. A "Gaia forte" afirma que o planeta e a vida, formando um só sistema vivo, são regulados em certos aspectos por essa mesma vida".

A noção de um sistema vivo regulado pela própria auto-organização da vida é o que gera maiores debates teóricos, pois ela pressupõe uma forte e intrincada relação do ambiente físico com os seres vivos.

> Essa é a idéia que gera o escárnio de alguns biólogos, sobretudo os que se autodenominam neodarwinistas. Liderados por Richard Dawkins, da Oxford University, esses cientistas rejeitam a idéia de um sistema planetário unificado que não evoluiu por meio da seleção natural com outros sistemas planetários (MARGULIS, 2001, p. 116-117).

Margulis (2001, p. 116) não tem dúvidas em argumentar que "Toda a superfície do planeta, não somente os corpos vivos, mas a atmosfera que pensamos ser um segundo plano inerte, está tão distante do equilíbrio químico que é mais bem descrita como viva". Capra reforça essa perspectiva dizendo que:

> Toda a matéria viva da Terra, juntamente com a atmosfera, os oceanos e o solo, forma um sistema complexo com todas as características de auto-organização. Permanece num estado notável de não-equilíbrio químico e termodinâmico, e é capaz, através de uma gigantesca variedade de processos, de regular o meio ambiente planetário a fim de que sejam mantidas condições ótimas para a evolução da vida (CAPRA, 1982 p. 278).

Em relação às críticas feitas à teoria de Gaia quanto ao fato de não possuir um controle consciente em seu processo de auto-regulação (por exemplo a concentração de oxigênio), Margulis escreve que:

> Lovelock responde que Gaia não precisa de consciência para se ajustar ao ambiente planetário. Trabalhos recentes na área da matemática chamada geometria dos fractais mostram o que é ter imagens rebuscadas traçadas não por um artista com uma idéia pronta, mas por repetições de etapas simples de computação denominadas algoritmos. A vida produz, "desenhos" fascinantes de modo similar, repetindo os ciclos químicos de seu crescimento e reprodução celulares. A ordem é gerada por atividades repetitivas e não-conscientes (MARGULIS, 2001, p. 118).

Margulis (2001, p. 113-114) nos diz que "Gaia não é nem cruel nem bondosa com relação à humanidade; ela é um nome conveniente para um fenômeno que abrange toda a Terra: o ajuste de temperatura, acidez/alcalinidade e composição gasosa" e ainda segue dizendo que:

> Lovelock admite, contudo, ter abandonado sua idéia original de que Gaia é "teleológica". Ele não mais afirma que o sistema planetário vivo age em conjunto a fim de otimizar as condições para todos os seus membros. A biodiversidade é uma condição essencial à continuidade de Gaia. Não existe uma espécie mais favorecida. Cada organismo cuida de sua vida: cresce e tenta se reproduzir. As pressões seletivas, a persistência dos organismos em se desenvolver e se reproduzir, favorecem alguns tipos de vida sob certas

> condições específicas. Eles crescem, espalham-se, removem resíduos e fazem reciclagem. Ao fazê-lo, colocam grandes pressões seletivas sobre tipos de vida diferentes. Gaia é o resultado (MARGULIS, 2001, p. 117).

Perante este debate, cabe enfatizar um parágrafo em especial, proposto no manual do professor do livro didático de biologia de Santos; Aguilar; Oliveira (2010, p. 72). Neste tópico, os autores apresentam uma tendência relevante na forma de compreensão da biosfera e dos ecossistemas, que exige uma nova abordagem conceitual e, aparentemente, parece mediar o debate entre a perspectiva neodarwiniana e a visão de um superorganismo. Esta perspectiva inclui de maneira pertinente as noções e conceitos sobre sistemas complexos. Para tanto, os autores escrevem:

> Uma tendência atual tem sido estudar Gaia como um sistema cibernético, estudando suas propriedades emergentes, como a autorregulação do clima. Desta perspectiva, os estudos têm focado o uso de modelos matemáticos derivados da vida artificial e da teoria da Complexidade, com o objetivo de analisar as alças de retroalimentação que ligam, de acordo com a teoria, a vida ao ambiente físico-químico e seriam responsáveis pela capacidade de autorregulação de Gaia. Desta perspectiva, Gaia não é considerada um organismo vivo, mas apenas um sistema complexo, o que julgamos ser muito mais apropriado (SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA, 2010, p. 72).

Ao que parece, através da teoria da Complexidade, com novas ferramentas de análise, torna-se possível avançar no conhecimento sobre a ecologia, buscando respostas condizentes com a realidade dos problemas socioambientais atuais, tais como a superpopulação, a poluição e a miséria. Aliás, cabe lembrar o desafio da ecologia em compreender a natureza até onde seja possível (Margalef, 2005).

4.4.2 Lebres e linces: o exemplo canadense de predação

Desde a publicação do artigo de Charles Elton (Flutuações periódicas nas quantidades dos animais: suas causas e efeitos) o estudo dos ciclos populacionais têm contribuído para o conhecimento da ecologia de populações (Ricklefs, 1996). O estudo das oscilações populacionais de lebres e linces, baseado em dados do comércio de peles da empresa canadense - Hudson Bay Company, realizado por Charles Elton por volta de 1920, caracterizou um marco importante no que hoje compreendemos como ecologia das populações (Fernandez, 2009).

Para Odum e Barrett (2008, p. 248), "Um exemplo de oscilações de 9 a 10 anos é o da lebre americana (*Lepus americanus*) e do lince (*Felix lynx*) [...]. Desde 1800, a Companhia Hudson Bay do Canadá manteve registros de peles de animais capturados por armadilhas a cada ano". Ricklefs (1996, p. 300-301) afirma que "Cada ciclo durou aproximadamente 10 anos e os ciclos das duas espécies estiveram altamente sincronizados, com os picos de abundância de lince tendendo a seguir os de abundância da lebre com uma distância de 1 ano ou 2".

Baseado no número de peles de lebres e linces que entraram na contabilidade da companhia ao longo de 90 anos foi que, segundo Fernandez (2009, p. 116), "Elton observou um fato curioso: havia um padrão na variação do número de peles de lebre ano após ano, de forma tal que os números pareciam oscilar de forma cíclica, atingindo picos muito altos

aproximadamente a cada dez anos [...]". Odum e Barrett (2008) comentam a respeito desta variação, dizendo que:

> Quando lançados em gráfico, esses registros mostram que o lince, por exemplo, alcançou um pico populacional a cada 9 a 10 anos por um longo período de tempo. Os picos de abundância foram frequentemente seguidos de "colapsos", ou declínios rápidos e os linces se tornavam escassos por muitos anos (ODUM E BARRETTT, 2008, p. 248).

Fernandez (2009) dialoga sobre a questão de Elton. Ele discute o que hoje conhecemos como oscilações acopladas presa-predador, mas logo expõe os limites de nos confortarmos com esta explicação no exemplo canadense de relação interespecífica. Assim ele escreve:

> Ecólogos começavam a se questionar se a população de um animal com capacidade reprodutiva tão menor (o lince) podia de fato controlar a de um outro com capacidade reprodutiva tão maior (a lebre). Mas uma outra evidência mais esmagadora abalou de vez a credibilidade da hipótese das oscilações acopladas: a constatação de que em várias ilhas no Canadá, onde não haviam linces, as populações de lebres flutuavam com uma periodicidade de cerca de dez anos, assim como no continente (FERNANDEZ, 2009, p. 118-119).

Odum e Barrett (2008, p. 249) reforçam a ideia descrita por Fernandez: "[...] os dois ciclos não são estritamente uma interação predador-presa de causa e efeito, pois o ciclo da lebre ocorre em áreas onde não existem linces". Para Ricklefs (1996, p. 233), "Por muitos anos, os ecólogos acreditaram que tais ciclos deveriam ser causados por fatores ambientais que apresentam variações periódicas semelhantes". Com base em outras dinâmicas populacionais de roedores, muitos outros estudos com diferentes explicações surgiram após estes questionamentos iniciais. Dentre as hipóteses, que buscavam explicar os ciclos populacionais, estava a influência genética, aliada às altas densidades populacionais; a inversão de controle populacional, onde as lebres seriam vetores de doenças e controlariam assim o número de linces; e, até fenômenos astronômicos que aparecem em intervalos de pouco menos de dez anos, foram propostos. O ciclo de manchas solares nunca casou bem com os ciclos populacionais, mesmo com a regularidade de 11 anos (Ricklefs, 1996). Neste emaranhado de ideias, foi somente por volta de 1980 que um passo importante foi dado, reconhecendo que a latitude era um fator importante em relação a duração dos ciclos (Fernandez, 2009).

> Os períodos dos ciclos populacionais variam de espécie para espécie, e mesmo considerando-se dentro da mesma espécie. No Canadá, a maioria dos ciclos tem períodos entre 9 e 10 anos ou períodos de 4 anos. [...] O tamanho do ciclo parece estar também relacionado com o hábitat; os períodos mais longos são observados em espécies habitantes de florestas e os mais curtos em espécies habitantes de tundras (RICKLEFS, 1996, p. 301).

Outros aspectos são fundamentais para compreendermos esta dinâmica de longos ciclos e, dentre eles o "atraso na resposta". Ricklefs (1996, p. 234) diz que "Tais ciclos podem resultar de retardos de tempo na resposta dos nascimentos e mortes às mudanças no meio ambiente". O autor segue fazendo uma analogia entre um pêndulo e a resposta de uma população qualquer.

> [...] o *momentum* concedido a um pêndulo pela aceleração da gravidade o carrega além do ponto de equilíbrio e faz com que ele oscile de um lado para outro periodicamente, o *momentum* concedido à população pelas altas taxas de nascimento em baixas densidades ou pelas altas taxas de mortalidade em altas densidades conduz a população para além de seu ponto de equilíbrio quando as respostas demográficas são retardadas no tempo (RICKLEFS, 1996, p. 234).

Odum e Barrett (2008, p. 245), dialogando sobre o atraso na resposta, incluem dois cenários possíveis até que uma população possa se aclimatar ao ambiente: "[...] (1) o tempo necessário para um organismo começar a crescer quando as condições são favoráveis; e (2) o tempo de que os organismos necessitam para reagir ao apinhamento desfavorável alterando as taxas de natalidade e mortalidade". Para Ricklefs (1996, p. 234), "Os retardos no tempo que fazem as populações oscilar quando deslocadas de seu equilíbrio são inerentes aos modelos baseados em gerações discretas". Ou seja, a oscilação ocorre aos saltos, impedindo o contínuo reajuste para atingir o equilíbrio de maneira sutil. Esse tipo de resposta, segundo Ricklefs (1996, p. 234), "[...] pode fazer com que a população ultrapasse o equilíbrio, primeiro numa direção e depois noutra [...]".

Segundo Ricklefs (1996, p. 237), em um experimento com varejeiras, foi possível testar a hipótese de que retardos de tempo (atraso na resposta) seriam responsáveis pelos ciclos populacionais. Assim, ele diz que "Nicholson fez isso ajustando a quantidade de alimento de tal modo que a disponibilidade de comida limitasse os adultos tão severamente quanto as larvas [...]. Como resultado, as flutuações na população desapareceram por completo".

Para Ricklefs (1996, p. 240), "Embora os ecólogos achem fácil pensar em populações em equilíbrio, a maioria das populações flutua, seja porque seus tamanhos refletem variações no ambiente ou porque elas expressam propriedades oscilatórias intrínsecas à sua dinâmica". Odum e Barrett (2008, p. 249) resumem parte das dúvidas em relação às flutuações populacionais, eles sugerem que "[...] a maioria das flutuações intrínsecas são acionadas por predadores ou recursos ou por ambos. Os pulsos boreais exagerados ocorrem onde o ambiente físico é extremo e a diversidade dos predadores, presas e recursos é baixa". Outros pesquisadores precisaram ir mais adiante na busca por respostas, afim de melhor compreender estas dinâmicas.

Fernandez (2009), nos mostra que foi preciso caminhar na contramão do processo intuitivo para que, através de uma equação de diferença não linear, que leva em consideração a taxa de crescimento da população, pudéssemos rediscutir a dinâmica de populações com novos argumentos. Dentre esses argumentos está a modelagem matemática proposta por May em 1976 intitulada: *"Simple mathematical models with very complicated"*.

Relatando parte do processo histórico que embaralhava os ecólogos na tentativa de explicar fenômenos em torno da ecologia de populações e mencionando o desafio das novas descobertas sobre caos determinístico, Fernandez (2009, p. 123) escreve que "O que May fez foi estudar o comportamento de um modelo matemático muito simples, que os ecólogos conheciam havia décadas, e que era usado para descrever o crescimento de uma população de organismos por uma equação de diferença". O modelo utilizado por May para explicar o comportamento dinâmico e as flutuações populacionais, segue: $N_{t+1}=\alpha N_t(1-N_t)$.

Fernandez (2009) escreve que os trabalhos de May foram mais além do que ele próprio imaginou, pois os trabalhos de modelagem que surgiram nos anos seguintes mostraram, em várias áreas das ciências, comportamentos idênticos aos aplicados as flutuações populacionais.

> Um físico chamado Mitchell Feingenbaum, usando um outro modelo com comportamento caótico, calculou o quão menor era o acréscimo em α necessário para obter a segunda duplicação, em relação ao que havia sido necessário para obter a primeira [...]. Ele encontrou 4,6692016090 [...]. Nem ele, nem ninguém esperava que, vinte e cinco séculos depois de Pitágoras, uma constante matemática tão universal quanto π ainda estivesse esperando por ser descoberta (FERNANDEZ, 2009, p. 132-133).

Fernandez (2009) discorre sobre as descobertas de May com entusiasmo e cita quatro ideias violentamente contraintuitivas e revolucionárias que desafiam toda nossa concepção de mundo.

> A primeira bomba estava no título, Modelos muito simples com dinâmicas muito complicadas. O bom-senso diz que fenômenos simples devem ter explicações simples, enquanto fenômenos complexos devem ter explicações complexas. O caos determinístico veio mostrar que estas afirmações nem sempre são verdadeiras. Mais do que isso, se relações fortemente não lineares são regra ao invés de exceção na natureza, como hoje pensam muitos cientistas, essas duas afirmações que parecem tão obviamente verdadeiras podem ser falsas na grande maioria dos casos (FERNANDEZ, 2009, p. 134).

De acordo com Fernandez (2009, p. 134), "Fenômenos muito simples podem ter causas muito complexas e, padrões extremamente complexos podem ser causados por processos extremamente simples. Nossa compreensão das relações de causa e efeito nunca mais será a mesma". A segunda ideia importante é uma característica particular dos modelos caóticos. Para Fernandez (2009, p. 134-135), está no fato de que "[...] mesmo uma minúscula diferença nas condições iniciais gera uma imensa diferença no resultado final". Essa ideia, hoje, conhecida popularmente como "efeito borboleta", ganhou força na década de 1960 com os trabalhos de Edward Lorenz (Souza e Buckeridge, 2004).

> O terceiro grande impacto filosófico é dado pelas consequências do segundo (o efeito borboleta). Padrões gerados por um modelo caótico determinístico são previsíveis, na prática, apenas a prazo muito curto [...] uma vez que é impossível estimar os parâmetros com precisão *absoluta* (Fernandez, 2009, p. 136).

Este tópico, mencionado em duas obras didáticas, poderia ser um ponto importante para a abertura da discussão sobre sistemas caóticos no conteúdo de ecologia das populações.

> O quarto impacto do caos não tem implicações tão amplas quanto estes três [...]. O mesmíssimo modelo populacional pode gerar populações estáveis, ciclos de qualquer periodicidade, padrões que lembram epidemias, e padrões que parecem (mas não são) puro ruído aleatório. Tudo o que é preciso para passar de um comportamento a outro é variar o valor de um único parâmetro (FERNANDEZ, 2009, p. 137).

Ainda que Ricklefs (1996, p. 236) reforce que "Pequenas diferenças nas condições de cultura ou nas propriedades intrínsecas das espécies podem inclinar a balança para uma aproximação monotônica do equilíbrio ou para um ciclo limitado", cabe ressaltar que dentre as várias hipóteses elaboradas e testadas por vários ecólogos, para o caso canadense específico da duração dos ciclos e as oscilações populacionais em função da distribuição latitudinal, parece que, segundo Fernandez (2009, p. 137-138) "O que variaria seria não os

processos, mas simplesmente os valores da taxa de crescimento populacional e/ou do atraso da resposta da população às variações ambientais - ambos os parâmetros facilmente interpretáveis biologicamente".

Neste exemplo de predação, os autores das obras didáticas, buscaram elucidar a existência de um mecanismo de controle populacional direto, ou seja, predador controlando a presa, e vice-versa na ausência de presas. Em vários casos dialogam sobre a existência de outros fatores de forte influência no controle das populações. Duas obras apresentam uma discussão potencial em relação à previsibilidade e a não previsibilidade dos ciclos, onde as oscilações são consideradas como variações regulares e as flutuações como variações irregulares, geralmente, não previsíveis. As obras, em geral, pouco avançam para a discussão de outros aspectos das dinâmicas populacionais, de modo que não apresentam as inúmeras hipóteses posteriores que rediscutem a proposta inicial de C. Elton frente outros argumentos.

> [...] o trabalho com lebres ilustra como diferentes metodologias podem ser reunidas na pesquisa para explicar um padrão cíclico. Ele também fornece uma advertência bastante ponderada das dificuldades logísticas e práticas - a coleta em séries temporais longas, o empreendimento de experimentos de campo grandes - que necessitam ser admitidas e superadas, a fim de estabelecer tais explicações (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007, p. 431).

O conforto de uma explicação com relação direta presa-predador parece bastante didático porque permite que o estudante reconheça o processo de predação. Contudo, a exclusividade deste mecanismo pode não representar, de maneira satisfatória, a realidade da dinâmica das populações, principalmente dos exemplos de espécies animais de zonas frias (florestas boreais). Begon; Townsend; Harper (2007) escrevem em relação ao exemplo canadense de oscilação populacional dizendo:

> [...] apesar de tornar-se um exemplo de "livro texto" de oscilações conjuntas predador-presa, o ciclo da lebre mostra ser de fato gerado pelas interações com seu alimento e seus predadores, ambos considerados como guildas, em vez de uma única espécie. O ciclo do lince, por outro lado, revela realmente ser gerado por suas interações com a lebre (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007, p. 430).

Ricklefs (1996, p. 236) nos lembra que "O comportamento de uma população em relação ao seu ponto de equilíbrio é sensível a muitos aspectos da história da vida que governa os retardos de tempo nas respostas à densidade". Assim, o exemplo de dinâmica populacional proposto em sete obras didáticas analisadas é bastante pertinente. Primeiro, porque retrata o surgimento da ecologia de população na discussão das oscilações acopladas - presa-predador e, segundo, porque pode oportunizar ao docente, por intermédio do livro didático, o diálogo com uma nova abordagem teórica, o caos determinístico e a não linearidade nos sistemas vivos.

4.4.3 A sucessão ecológica e as propriedades emergentes

As noções e conceitos sobre "Sucessão Ecológica" são bastante pertinentes à ecologia. Perceber que os ambientes naturais alteravam-se ao longo do tempo não foi tarefa difícil para várias civilizações, principalmente, quando se tratava de florestas. Vários povos indígenas, que habitavam as florestas tropicais americanas se utilizavam destas noções para desenvolver

práticas agrícolas e, isto, há centenas e até milhares de anos. Como exemplo prático desta noção sobre o funcionamento da sucessão, existe a técnica das "coivaras" que ainda é utilizada por povos indígenas e, que se tornou difusa em meio aos agricultores (colonizadores europeus) em várias regiões do Brasil.

Margalef (2005, p. 741) escreve que "O conceito de sucessão foi desenvolvido em primeiro lugar pelos botânicos". Além disso, as noções do processo de sucessão ecológica são necessárias para a compreensão da dinâmica das comunidades que integram os ecossistemas. Begon; Townsend; Harper (2007, p. 479) definem como sucessão ecológica: "[…] um padrão de colonização e extinção de populações de espécies não sazonal, direcionado e contínuo em um dado local". A sucessão ecológica é o desenvolvimento do ecossistema ao longo do tempo, sendo que este processo, segundo Odum e Barrett (2008, p. 337), "[...] envolve mudanças na repartição da energia, na estrutura das espécies e nos processos da comunidade. Quando não é interrompida por forças externas, a sucessão é razoavelmente direcional e, portanto, previsível". Dialogando sobre sucessão e evolução, Margalef (2005, p. 779) escreve que "A sucessão consiste na substituição de um estado de um sistema por outro estado - outro sistema - e neste processo, a tendência é sempre a uma diminuição da energia necessária para sustentar uma massa unitária do sistema [...]".

Odum e Barrett (2008, p. 337) entendem que a sucessão "[...] é controlada pela comunidade, embora o ambiente físico determine o padrão e a taxa de mudança e, muitas vezes, limite a extensão do desenvolvimento". Os autores propõem dois tipos de sucessão: a autogênica e a alogênica. Na primeira, o processo de sucessão é afetado por fatores produzidos pelos próprios elementos do sistema, ou seja, propriedades deste sistema e, na segunda, são elementos externos que podem afetar regularmente os ecossistemas. Margalef (2005, p. 891) nos lembra que "[...] é frequente observar sucessões que se iniciam de maneira muito diversa e confluem em etapas finais consideravelmente homogêneas".

> O fenômeno da sucessão ecológica pode ser caracterizado da maneira seguinte: 1) é um processo ordenado, dirigido e previsível; 2) resulta das modificações impostas ao meio pelas próprias comunidades; 3) termina por uma biocenose clímax na qual a biomassa atinge o valor máximo, onde a diversidade é mais elevada e por consequência onde existe o maior número de relações entre os diversos organismos para um determinado fluxo de energia. A biocenose clímax fica assim protegida ao máximo contra as perturbações de origem externa, ou seja, apresenta grande homeostasia (DAJOZ, 1983, p. 311).

O terceiro item, apresentado por Dajoz, pode ser bastante controverso e é nestes termos que Begon; Townsend; Harper (2007, p. 488) nos apresentam um questionamento relevante: "A sucessão chega a um fim?". Várias ideias vêm ao encontro deste questionamento, pois esta definição pode nos conduzir a diferentes visões de ecossistema. Margalef (2005, p. 784) reforça que "O estudo de sucessões reais conduz ao conceito de clímax como etapa final observável".

Em relação às noções de clímax, Dajoz (1983, p. 302-303) atribui o pioneirismo a Clements em 1916. O autor afirma que "Para Clements, o fim da evolução da série é representado por uma biocenose estável, em equilíbrio com o meio, denominada clímax". O conceito de clímax possui uma longa história que inclui a discussão de uma visão de monoclímax, outra de policlímax e, ainda, a hipótese de padrões de clímax (Begon; Townsend; Harper, 2007). Para Begon; Townsend; Harper, (2007, p. 488), "De fato, é difícil identificar uma comunidade climática estável no campo. Em geral, não podemos fazer nada mais do que dizer que a taxa de mudança na sucessão diminuiu ao ponto de qualquer mudança ser imperceptível para nós". Para Margalef (2005), clímax significa:

> [...] a etapa de maior maturidade naquela sucessão; o qual não quer dizer que seja o limite superior de maturidade, nem sequer que tenha uma maturidade muito grande. Precisamente neste ponto se centralizam todas as polêmicas que foram levantadas ao redor do conceito de clímax (MARGALEF, 2005, p. 784).

Ainda assim, tanto nas entrelinhas do clímax quanto da maturidade dos ecossistemas, diversos pesquisadores concordam que a sucessão apresenta algumas características comuns. Dajoz (1983, p. 311) apresenta algumas características importantes que ocorrem durante o processo de sucessão em direção ao estágio de clímax. Estes elementos apresentados, no geral, concordam com a noção de maturidade dos ecossistemas desenvolvida por Margalef. Ele afirma que:

> 1. As cadeias alimentares, a princípio lineares e dominadas pelos herbívoros, tornam-se redes alimentares complexas, nas quais os detritívoros tomam um lugar cada vez mais importante. 2. Os nichos ecológicos tornam-se cada vez mais estreitos, especializados. O tamanho dos organismos tende a aumentar e os ciclos biológicos tendem a se alongarem e complicarem. 3. A quantidade total de matéria orgânica acumulada no ecossistema é inicialmente pequena, depois vai-se tornando cada vez mais considerável, ao mesmo tempo a diversidade específica e a diversidade bioquímica aumentam cada vez mais. 4. A relação produtividade bruta/respiração, geralmente superior a 1 nas biocenoses pioneiras, tende para 1 na biocenose clímax. 5. A relação produtividade bruta/biomassa elevada no começo torna-se cada vez menor. [...]. 6. Inversamente, a relação biomassa/fluxo de energia aumenta à medida que se aproxima da biocenose clímax (DAJOZ, 1983, p. 311).

Para Margalef (2005, p. 738), "A sucessão consiste em mudanças que se estendem sobre décadas, séculos e milênios, e que se sobrepõem a flutuações e ritmos mais breves". Numa escala de tempo que excede, e muito, um ciclo de vida humano, é que precisamos reconhecer a dinâmica sucessional dos mais variados ecossistemas, e ainda, que os ecossistemas não sejam comparáveis diretamente a "superorganismos" (Margulis, 2001), embora, Odum e Barrett (2008, p. 337) afirmem que "[...] seu desenvolvimento apresenta muitos paralelos com a biologia do desenvolvimento de organismos individuais e como o desenvolvimento de sociedades humanas, no sentido de que progridem da "juventude" para a "maturidade"".

Em sintonia com a visão holística das ideias de Smuts, citado por Mayr (2008), Begon; Townsend; Harper (2007, p. 469) afirmam que "A natureza é obviamente mais do que a soma de suas espécies constituintes". Essa ideia afirma que surgem, ao longo do processo de sucessão ecológica, características novas que não são encontradas na ausência dos elementos vivos. Pode-se citar o exemplo da manutenção das altas concentrações de macronutrientes no solo, como o caso do nitrogênio. Na busca de respostas a estas características dos sistemas vivos, Odum e Barrett (2008, p. 355-356) escrevem que "A chave principal do desenvolvimento do ecossistema é o conceito da auto-organização, baseado na teoria de Prigogine do não-equilíbrio termodinâmico".

Vários autores concordam que a sucessão é um processo de auto-organização (Margalef, 2005; Odum, 2009). As características dos sistemas auto-organizados, assim como são considerados os ecossistemas, podem ser discutidas com base nas diferenças entre as características coletivas de um sistema e as propriedades emergentes da interação das unidades destes sistemas. Begon; Townsend; Harper (2007, p. 469) escrevem que "Uma comunidade é composta por indivíduos e populações, e como tal, podemos identificar e

estudar propriedades coletivas diretas, como diversidade em espécies e biomassa da comunidade". As propriedades emergentes se diferem das propriedades coletivas, pois não são possíveis de serem estudadas através das partes menores do sistema.

> Em resumo, os usos do conceito de emergência se referem a duas características importantes: um comportamento global que surge a partir das interações das partes locais, de modo que o comportamento global não pode ser rastreado até as partes individuais (WOLF E HOLVOET, 2005, p. 03).

Em geral, os livros didáticos apresentam uma discussão sobre alterações das condições iniciais do sistema, ou seja, mencionam que fatores bióticos são responsáveis pelas mudanças que ocorrem ao longo do processo de sucessão ecológica. Sete das oito obras didáticas, aprovadas pelo MEC em 2011, mencionam que as alterações do ambiente ocorrem, principalmente, em função da presença dos seres vivos, indicando o surgimento de novas condições no ambiente, entretanto, não mencionam diretamente o termo propriedades emergentes ou mesmo, a palavra "emergência". No geral, os autores preferem responsabilizar os fatores bióticos pelas alterações no ambiente em sucessão ecológica e enfatizar a existência de fatores abióticos que também influenciam o sistema. A alteração da estrutura do ambiente e das condições climáticas locais cria novos nichos e possibilita a diversificação. Somente uma obra didática menciona a autorregulação como uma característica fundamental no processo de sucessão ecológica.

No processo de sucessão em direção a um estado de "clímax" em uma obra didática, é apresentada a ideia de que há um aumento da homeostase, à medida que a sucessão avança e se aproxima do clímax. A perspectiva do aumento do "equilíbrio dinâmico" no ecossistema, em função do aumento da diversidade e da complexidade, nos conduz a discussão sobre estabilidade x diversidade.

4.4.4 A complexidade dos ecossistemas: estabilidade x diversidade

Muita confusão surgiu pelos vários significados dos termos estabilidade e complexidade. Boa parte das perguntas necessárias para a compreensão desta relação sequer foram elaboradas (Pimm, 1984). Contudo, o termo estabilidade apresenta duas definições bastante utilizadas na ecologia. Uma delas baseia-se em um sistema de estabilidade dinâmica e a outra, na capacidade do sistema para suportar as mudanças (resiliência e resistência) (McCann, 2000).

Os primeiros estudos que apresentaram elementos em relação à estabilidade e complexidade indicavam que ecossistemas mais simples eram menos estáveis que os mais diversos, porém os estudos posteriores e, mais recentes, mostraram que esta hipótese estava equivocada (Pimm, 1984). Robert May foi o primeiro a desafiar as ideias intuitivas e, atualmente, vários trabalhos têm mostrado que a diversidade pode ser considerada como um receptor passivo de importantes mecanismos ecológicos que são inerentes ao ecossistema e, não, ser a condutora do processo de estabilidade (McCann, 2000). Os caminhos percorridos para compreender esta relação entre diversidade e estabilidade incluem um aspecto interessante que é lembrado por Naeem (2001):

> Embora a diversidade e complexidade sejam características praticamente universais dos ecossistemas, temos mais informações sobre a diversidade do que sobre a complexidade. A estimativa da diversidade existente é, com certeza, um desafio, mas, determinar a distribuição e abundância das espécies seria apenas o ponto de partida para investigações de complexidade ecológica (Naeem, 2001, p. 840).

Para elaborarmos uma noção mais concentrada do que realmente identificamos da diversidade de espécies e do quão ínfimo pode ser nosso conhecimento sobre a complexidade das interações nos ecossistemas, em uma avaliação otimista sobre os dados de biodiversidade, Lewinsohn e Prado (2005, p. 41) escrevem que "Considerando-se a velocidade atual de descrições de espécies no, ou do, Brasil, seriam necessários pelo menos oito séculos para termos um catálogo completo".

O desafio das investigações sobre complexidade ecológica não pode, portanto, se contentar na espera da totalidade de dados estruturais das partes menores que integram o ecossistema. Em outras palavras, não podemos esperar que descrevamos todas as espécies para que avancemos nos estudos das interações existentes. Ainda que a identificação das espécies integrantes das comunidades possa ser um aspecto importante nos estudos dos ecossistemas, outros elementos podem ser igualmente imprescindíveis.

Begon; Townsend; Harper (2007, p. 472) dialogam sobre um estudo na Inglaterra ocorrido entre 1856 e 1949, onde parcelas experimentais de áreas de campo, foram conduzidas com fertilizantes e outras mantidas sem tratamento (destinadas ao controle). Os resultados obtidos mostraram um declínio de diversidade nas áreas fertilizadas, enquanto a área sem fertilização permaneceu essencialmente inalterada. Assim os autores escrevem: "Uma possível explicação seria que a alta disponibilidade de nutrientes ocasionou altas taxas de crescimento populacional, fazendo com que as espécies mais produtivas dominassem a área e, talvez, excluíssem competitivamente as outras espécies". Este exemplo conduz a análise de McCann (2000, p. 232) que aponta para o fato de que "[...] a estabilidade do ecossistema depende da existência de espécies ou grupos de espécies funcionais na comunidade".

Odum e Barret (2008, p. 323) escrevem que "Numerosas pesquisas têm demonstrado que o aumento no enriquecimento por nutrientes resulta no aumento da produtividade primária". Essa ideia nos induz ao fato de que ambientes mais ricos em nutrientes são consequentemente mais biodiversos. Entretanto, muitos estudos mostraram que esse aumento da diversidade não se mantém de forma crescente perante o aumento da produtividade dos solos. Contudo, em meio a está agitação, é possível esclarecer que, em ambientes com baixo teor de nutrientes, o aumento na biodiversidade da comunidade parece melhorar a produtividade, mas em ambientes com alto teor de nutrientes, o aumento na produtividade primária resulta em aumento na dominância de algumas espécies, o que força a redução na diversidade de espécies (Odum e Barrett, 2008).

Outro fator, apontado por Dajoz (1983, p. 303), traz em evidência uma dinâmica que pode, facilmente, passar despercebida: "[...] em escala geológica esta estabilidade é muito relativa. Qualquer modificação do biótopo sob a ação de fatores climáticos ou biológicos determina a substituição das biocenoses por outras". O sul do Brasil tem um exemplo marcante considerando a estabilidade do ecossistema numa escala geológica: a formação ombrófila mista, caracterizada pela presença marcante da espécie "*Araucaria angustifolia*" (mata de araucárias), que se desenvolveu há poucos milhares de anos. Entre 42 e 10 mil anos atrás, a região sulina, conhecida como "Campos de Cima da Serra", era composta principalmente por campos, entretanto, há cerca de 4 mil anos, o clima mais úmido permitiu a expansão das Matas de Araucárias, cenário predominante na fisionomia atual da floresta pouco antropizada (Buckup, 2008).

Três, das quatro obras didáticas (B, E, H) que trazem para a discussão elementos sobre a relação entre diversidade/complexidade e estabilidade dos ecossistemas, apresentam a ideia de que, no geral, acredita-se que a grande estabilidade das comunidades clímax seja devida à diversidade de espécies, ocorrendo um aumento da homeostase. Neste estágio sucessional, os ecossistemas são capazes de responder prontamente a agressões, desde que não muito drásticas nem contínuas ou de longa duração. Desta forma, os ecossistemas mais complexos possibilitam um número maior de interações e de nichos ecológicos. Contudo, estas relações entre os componentes bióticos, permitem que a comunidade se ajuste às variações impostas pelo ambiente, diminuindo a probabilidade de que as mudanças das condições possam afetar negativamente o ecossistema como um todo.

Uma das obras (F), mais cautelosa nesta discussão, apresenta um cenário um tanto conflituoso, pois afirma que ainda se discute se realmente a estabilidade da comunidade clímax cresce com o aumento da diversidade de espécies e da complexidade das teias ecológicas. Nesta obra, a estabilidade está relacionada a capacidade de uma comunidade retornar ao estado anterior quando modificada por algum fator ambiental. Contudo, é reforçado que existem estudos indicando que comunidades complexas são mais resistentes à invasão de outras espécies e a alterações provocadas por fatores ambientais. Outras quatro obras analisadas não apresentaram elementos referentes à discussão entre estabilidade e diversidade dos ecossistemas.

Cabe lembrar que esta discussão em torno da estabilidade pode possibilitar o debate entre a diferença de propriedades coletivas e propriedades emergentes, pois, para Begon; Townsend; Harper (2007, p. 469), "No caso de ecologia de comunidades, os limites de similaridade entre espécies competidoras e a estabilidade de teias alimentares frente à perturbação são exemplos de propriedades emergentes". Esta discussão entre complexidade e a estabilidade (frente as perturbações) é uma noção importante para a análise de qualquer sistema biológico (Souza e Buckeridge, 2004).

4.5 Análise dos Questionários Aplicados aos Docentes do IFC - Campus Rio do Sul

Com relação à formação acadêmica dos docentes envolvidos na pesquisa, segue abaixo, os dados:

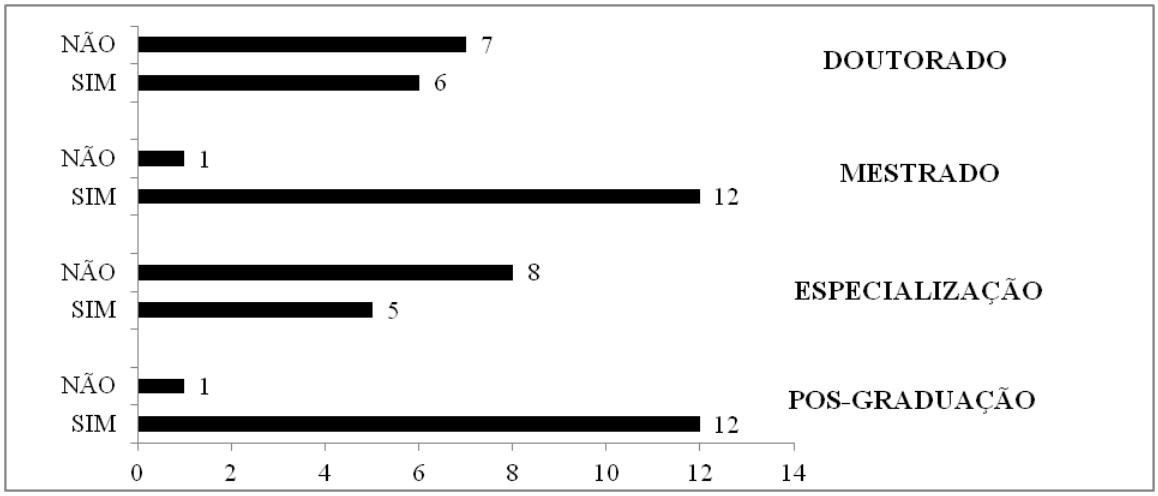

Figura 5: Perfil dos treze docentes envolvidos na pesquisa, quanto à formação acadêmica (valor unitário)

Todos os docentes participantes da pesquisa concordam que noções e conceitos sobre ecologia são fundamentais na formação do estudante brasileiro, durante o Ensino Médio,

tendo em vista as discussões atuais sobre a intensificação das transformações antrópicas nos ecossistemas.

Os termos presentes no "item 3" do questionário são bastante citados a seguir e necessários para a interpretação dos gráficos, portanto, são descritos: ***Ecossistema*; Complexidade; *Sucessão ecológica*; Propriedades emergentes; Teoria do caos; *Ciclo biogeoquímico*; Não linearidade; *Nicho*; Auto-organização; *Habitat*; Estruturas dissipativas; *Dinâmica de populações*; Atratores; Caos determinístico; *Clímax*; Termodinâmica do não equilíbrio.** Dentre este, cabe ressaltar que para o estudo foram considerados como conceitos básicos em ecologia os destacados em negrito e itálico e, os destacados, somente em negrito foram considerados integrantes dos conceitos em torno da teoria da complexidade (sistemas complexos).

O gráfico a seguir, apresenta os conceitos em torno da ecologia e dos sistemas complexos e o número de docentes que assinalaram os conceitos que julgaram ter visto durante o ensino formal:

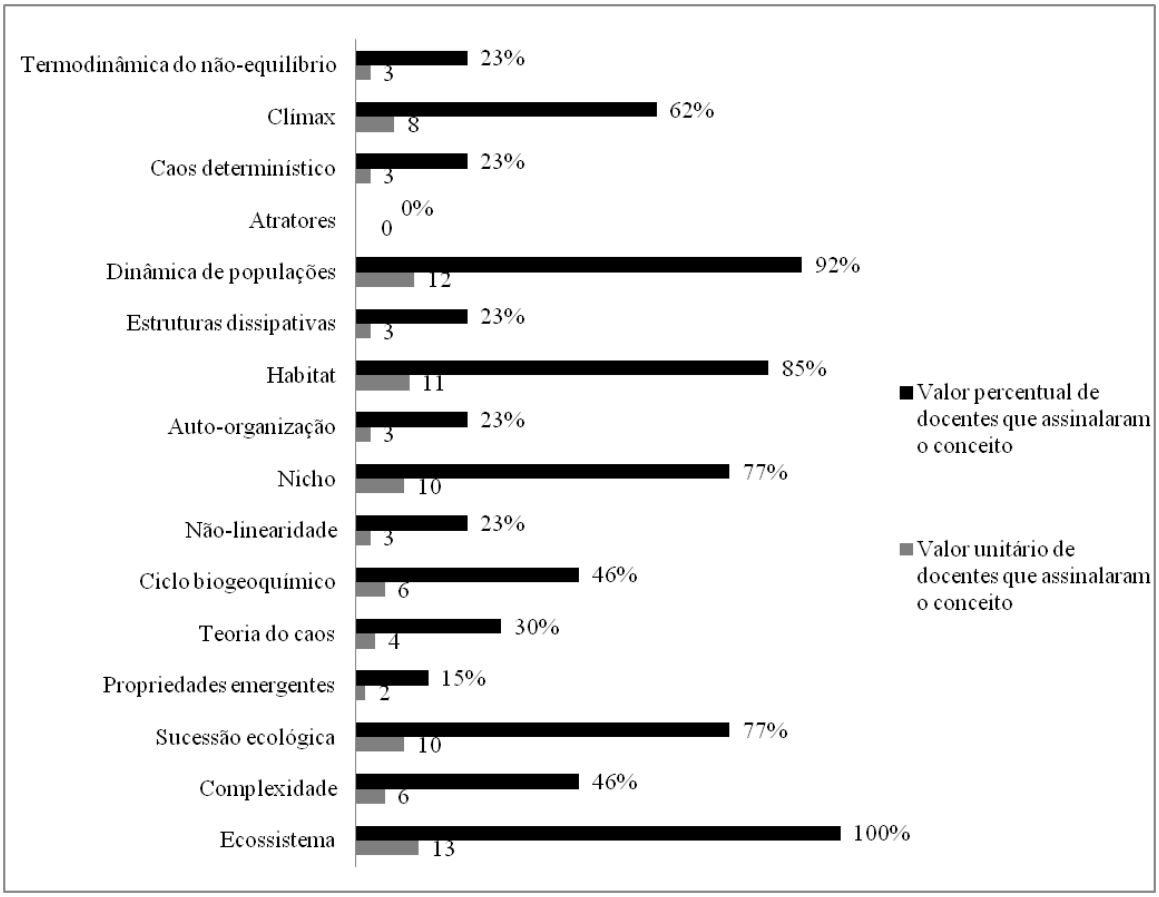

Figura 6: Conceitos, em torno da ecologia e dos sistemas complexos, que os docentes indicaram haver estudado durante o ensino formal (valor unitário e percentual)

Em resposta a questão: *Se no ensino formal teve disciplinas e/ou atividades que trabalhassem conteúdos sobre algum dos termos?* O conceito "Ecossistema" foi assinalado por todos os docentes. Todavia, o conceito de "Atrator", proveniente da perspectiva dos sistemas não lineares e teoria do caos (Wolf e Holvoet, 2005), não foi mencionado pelos docentes como sendo um conceito visto ou discutido durante sua formação acadêmica ou mesmo sob outras fontes de estudo e vivência.

Os conceitos, mais comuns, assinalados pelos docentes foram: *Ecossistema, Dinâmica de populações, Habitat, Sucessão ecológica e Nicho,* nesta ordem decrescente. Dentre os

conceitos compreendidos como básicos, os menos lembrados pelos docentes foram: *Ciclos biogeoquímicos e Clímax*.

Com relação aos conceitos vinculados aos sistemas complexos, os que mais foram mencionados são: *Complexidade e Teoria do caos*. O menos citado foi o conceito de *Propriedades emergentes* que apareceu mencionado por somente dois docentes (15%). Os demais conceitos: *Não linearidade, Auto-organização, Estruturas dissipativas, Caos determinístico, Termodinâmica do não equilíbrio* foram lembrados em 20% dos casos. Cabe destaque ao termo *Complexidade* que foi mencionado por seis docentes (46%); equivalente ao conceito básico de *Ciclos biogeoquímicos*. Esses dados mostram que, mesmo que de maneira geral, os conceitos básicos estejam mais evidentes, aos poucos, as noções sobre complexidade estão sendo inseridas no contexto ecológico e já fazem parte da formação docente do campus Rio do Sul. De maneira geral, é possível perceber que aproximadamente 25 % dos docentes apontaram ter estudado algum dos conceitos emergentes propostos.

Dos treze docente, oito assinalaram conhecer autores que dialogam sobre os termos relacionados à sistemas complexos presentes no item 3 do questionário e cinco assinalaram desconhecer quaisquer autores. Os autores que dialogam sobre os termos apresentados (item 3), que foram citados pelos docentes são: Eugene Odum e Miguel Altieri; Ilya Prigogine, Fritjof Capra, Stephen R. Gliessmann; Niels G. Roling, Vezzan, Jacques Marré, Raven, Taiz e Zeiger, Eli Lino de Jesus, Alberto Feiden, Eduardo Guzman, João C. Costa Gomes, Francis Chaboussou, Claude Aubert, Elke Cardoso, Sérgio Martins (UFSC), Daniel José da Silva (UFSC), Manoel Mendieta Araujo (UFPEL). Nesta ordem decrescente, de modo que, os cinco primeiros foram os mais citados dentre os autores. Os demais autores foram citados somente uma vez.

A seguir, é apresentado um gráfico que mostra a relação de docentes que conhecem livros didáticos (Ensino Médio) que apresentam algum dos termos presentes no item 3 do questionário:

Figura 7: Docentes que indicaram conhecer algum livro didático (Ensino Médio) que discuta os termos citados no item 3 do questionário (valor unitário)

Dentre os livros didáticos mencionados estão os seguintes: Biologia, Biologia Vegetal, Agroecologia (Gliessmann), Sonia Campos, Meio ambiente e escola, Dinâmica dos agroecossistemas, Ecologia hoje. Fica evidente que grande parte dos livros citados são utilizados de maneira prioritária na formação técnica profissionalizante dos cursos de agroecologia, floresta e agropecuária e, portanto, não são de uso comum na rede pública de ensino básico.

O gráfico a seguir apresenta o resultado da questão 9: Quais disciplinas, do Ensino Médio, poderiam estar envolvidas prioritariamente no aprendizado sobre ecologia?

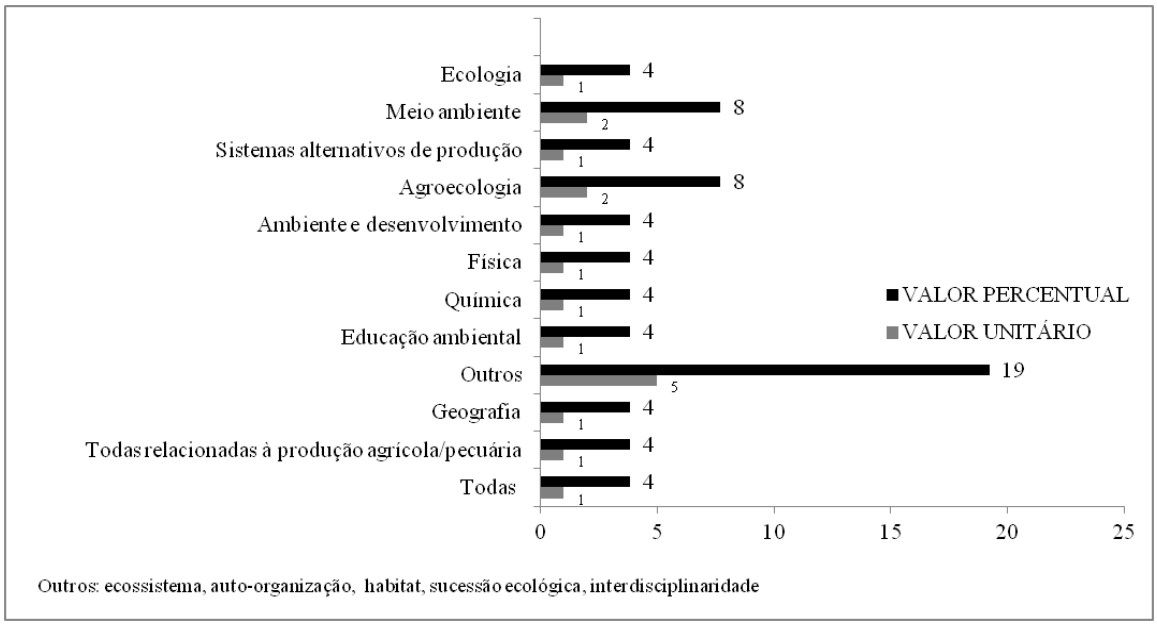

Figura 8: Disciplinas do Ensino Médio que foram consideradas pelos docentes como prioritárias ao aprendizado ecológico (valor unitário e percentual)

Não somente a compreensão do uso dos livros didáticos se estendeu para o Ensino Técnico, assim como o entendimento das disciplinas do Ensino Médio foi mesclado com as disciplinas da formação técnica (talvez a existência de uma proposta de ensino integrado proporcione uma visão de ensino médio diferenciado - não fragmentado). Muitas das disciplinas mencionadas como prioritárias para o aprendizado ecológico são vinculadas aos cursos Técnicos em Agroecologia, Agropecuária e Florestal e não ao ensino básico (médio), a saber: Ambiente e desenvolvimento, Agroecologia, Sistemas alternativos de produção e Meio ambiente. Ainda assim, a principal disciplina mencionada foi a biologia, sendo que, das demais disciplinas existentes no Ensino Médio (Básico), foram citadas somente as disciplinas de Química, Geografia e Física. O estudo interdisciplinar também foi mencionado como relevante, porém, seguido da manifestação de que os professores talvez não estejam preparados para esta prática pedagógica. Proposta esta, que é reforçada constantemente nas orientações curriculares para o ensino médio, pois segundo MEC/SEB (2006, p. 36), "Idealmente, a interdisciplinaridade deve ser construída no contexto do projeto pedagógico da escola. No entanto, mesmo iniciativas isoladas, embora limitadas e não tão efetivas, podem facilitar a aprendizagem dos alunos".

Em resposta ao questionamento sobre a possibilidade da ecologia ser estudada como base nos fundamentos sobre sistemas complexos (Questão 7), o gráfico abaixo apresenta os dados:

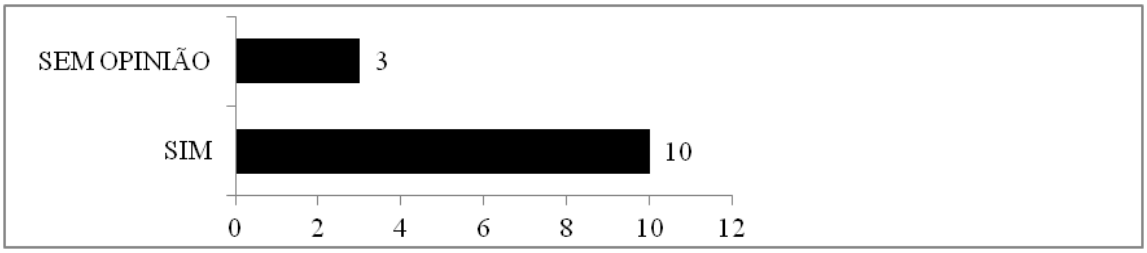

Figura 9: Docentes que acreditam que a ecologia pode ser estudada com base nos fundamentos dos sistemas complexos (valor unitário)

Não houve objeções ao fato de que o estudo ecológico possa ser realizado com base em noções e conceitos em torno dos sistemas complexos. A maioria dos profissionais que considera esta possibilidade de estudo, também considera os conceitos sobre sistemas complexos como básicos para o estudo da ecologia. O gráfico a seguir retrata este cenário:

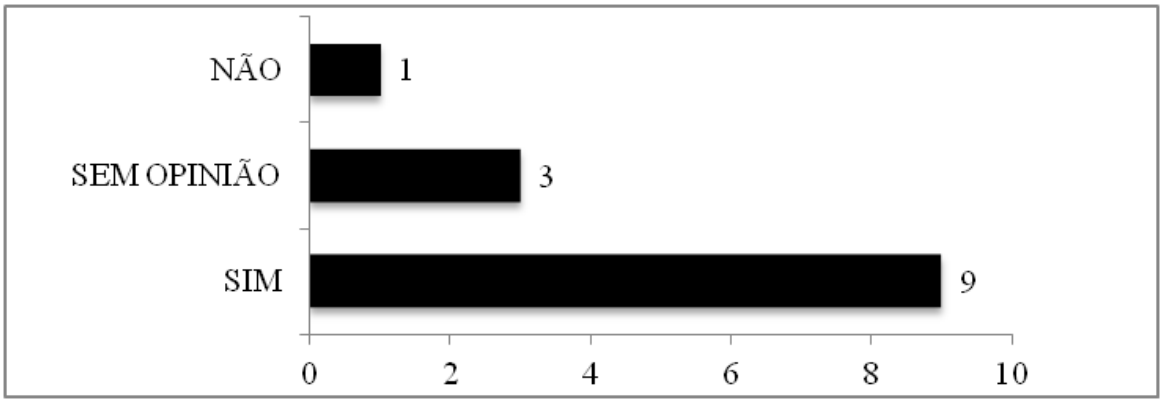

Figura 10: Docentes que consideram os conceitos sobre sistemas complexos básicos para o estudo da ecologia (valor unitário)

Esses dados apontam para uma perspectiva que considera relevantes os conceitos sobre os sistemas complexos e isso fica mais claro com os dados do gráfico abaixo, que mostram o conceito de *Complexidade* como o principal, juntamente ao conceito de *Dinâmica de populações*, que fora um dos grandes propulsores da ecologia. Segue o gráfico, dos conceitos considerados de maior importância para o ensino de ecologia, no Ensino Médio:

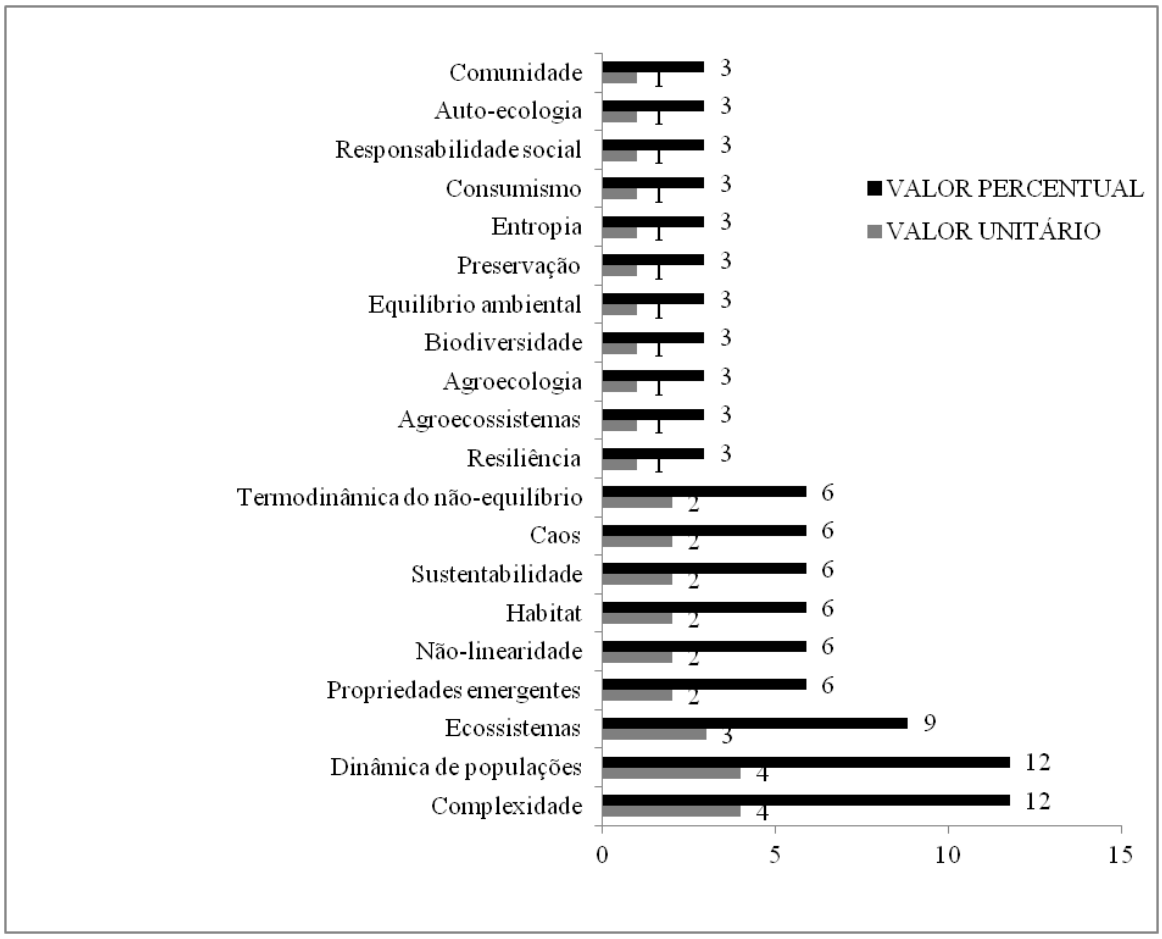

Figura 11: Conceitos que foram considerados pelos docentes como de maior relevância para o ensino de ecologia (valor unitário e percentual)

Complexidade aparece no gráfico superando, inclusive, os conceitos tradicionalmente utilizados nos livros de Ensino Médio, como o caso do conceito de *Nicho* e outros que sequer foram mencionados. Um aspecto interessante está no fato de que o conceito de *Complexidade*, citado por seis professores (pouco menos de 50% dos casos), em resposta ao questionamento do item 3 (se o docente estudou o conceito durante o ensino formal) foi considerado como o conceito mais relevante para o ensino de ecologia. Em contraste, o conceito *Ecossistema* que foi estudado por 100% dos docentes foi citado como de maior relevância por somente três docentes (pouco mais de 20%).

Conceitos próprios da discussão sobre sistemas complexos aparecem juntamente aos conceitos básicos. Cabe destacar os conceitos: *Propriedades emergentes, Não linearidade, Caos e Termodinâmica do não equilíbrio*, considerados por dois docentes como de maior relevância para o ensino de ecologia (Ensino Médio). Porém, conceitos como: Sucessão ecológica, Habitat, Ciclos biogeoquímicos, População não aparecem como sendo de maior relevância.

Os conhecimentos físicos aplicados à ecologia são fundamentais para compreensão dos limites na construção dos ecossistemas. Vários autores reforçam essa ideia (Odum, 2009; Odum e Barret, 2008; Margalef, 2005). Mais de 70% dos docentes que participaram da pesquisa afirmam ter estudado sobre as leis da termodinâmica.

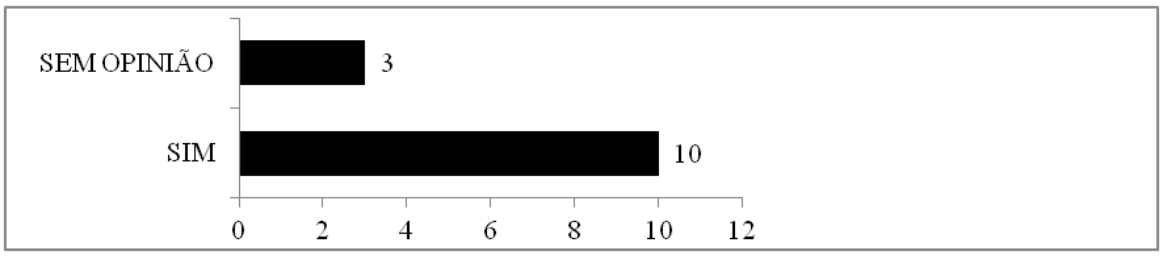

Figura 12: Docentes que estudaram as leis da termodinâmica (valor unitário)

Em relação à formação docente, a pesquisa evidenciou que o estudo das leis da termodinâmica aconteceram de maneira prioritária na disciplina de Física e outras vinculadas a esta, como: Biofísica e Física do solo. Segue abaixo, o gráfico que apresenta as disciplinas que trataram sobre o conceito de termodinâmica, mencionadas pelos docentes:

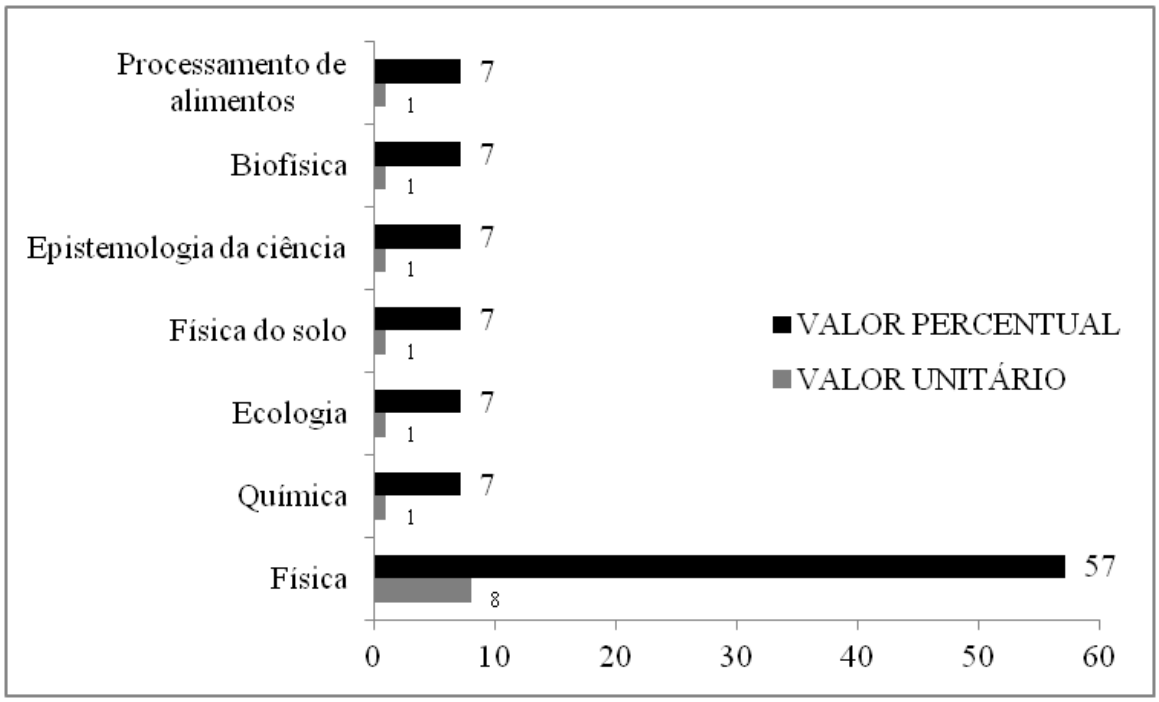

Figura 13: Disciplinas onde os docentes afirmaram ter estudado sobre leis da termodinâmica durante a formação acadêmica (valor unitário e percentual)

Além da física, outras disciplinas também apareceram como responsáveis pelo estudo da termodinâmica, a saber: Química, Ecologia, Epistemologia da ciência e Processamento de alimentos. O conceito de termodinâmica do não equilíbrio (Prigogine, 1997) extrapola o ensino tradicional da termodinâmica, de modo que foi estudado por três dos docentes entrevistados (aprox. 25%) e considerado por apenas dois docentes (15%) como um conceito de grande relevância para o ensino de ecologia.

Somente dois docentes (15%) envolvidos na pesquisa não mencionaram qualquer outra fonte de informação complementar, além de sua formação acadêmica, a respeito dos conceitos mencionados no item 3 do questionário. Os onze professores (85%) que apresentaram outras fontes de informação citaram: vídeos e filmes, programa de TV - Globo ecologia e Globo rural, livros, artigos científicos, participação em seminários de agroecologia e participação em capacitações profissionais de programas sociais "Terra solidária" e "Saberes da Terra".

5 CONCLUSÕES

Nos conteúdos ecológicos dos livros didáticos de biologia, aprovados pelo MEC/SEB (2011), existem poucos conceitos referentes ao estudo dos sistemas complexos

(complexidade). Foi possível identificar claramente que os autores raramente apresentam os conceitos em torno da complexidade no conteúdo pertinente ao discente de forma direta. Quando surgem, na maioria dos casos, os termos estão colocados de maneira bastante relativizada, não trazendo noções de apoio à discussão. Estes conceitos, se apresentados de maneira contextualizada, poderiam fazer parte dos conteúdos ecológicos dos livros didáticos, permitindo uma introdução à discussão sobre sistemas complexos.

Nos manuais do professor esses conceitos aparecem de maneira sucinta, possibilitando ao professor um apoio para discussão em sala de aula, mas exigindo um aporte de materiais de outras fontes. Algumas noções básicas dos avanços da biologia em torno da complexidade são apresentadas nos manuais do professor e, estas, podem ser estendidas para os estudos ecológicos. Existem assuntos (tópicos) dentro dos conteúdos de ecologia que permitem a inserção de noções e conceitos sobre sistemas complexos. A sucessão ecológica proposta como eixo temático pelos livros didáticos parece ser um fio condutor potencial para as discussões sobre sistemas complexos.

O conceito de complexidade tem lugar de destaque, dentre os conceitos vistos durante a formação acadêmica dos docentes do IFC. Estes conceitos são considerados pelos professores, como de suma importância para o ensino de ecologia, superando inclusive vários dos conceitos básicos. Entretanto, no geral, os conceitos básicos foram os mais lembrados pelos docentes. Contudo, é possível perceber que a discussão e a utilização dos conceitos emergentes propostos aplicados à ecologia, estão ocorrendo na formação acadêmica. Conceitos como: auto-organização, caos determinístico, propriedades emergentes, não linearidade, atratores, estruturas dissipativas podem ser úteis e, cada vez mais, necessários para compreensão da dinâmica de populações e estudos ecológicos em geral.

Estudos interdisciplinares são fundamentais para contemplar uma ecologia de síntese, capaz de abarcar a complexidade dos fenômenos da natureza e a dinâmica dos avanços do conhecimento científico. Ainda que o uso de noções e conceitos seja restrito nos objetos analisados, percebe-se que as novas discussões dentro da ciência estão contribuindo de maneira significativa para um avanço dentro da ecologia. O retorno a uma ecologia mais sintética, sob uma perspectiva holística que pode contribuir na construção de respostas aos problemas complexos da sociedade, parece iminente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEV, B. R.; HIDIROV, B.N; SAIDALIEVA, M.; HIDIROVA M.B. **Quantitative Study of Cellular Mechanisms of HIV Infection's Pathogenesis.** Engineering Letters, 13:3, EL_13_3_10 (Advance online publication: 4 November 2006). Disponível em: <http://www.engineeringletters.com/issues_v13/issue_3/EL_13_3_10.pdf>. Acesso em 25 de dezembro de 2012.

AMABIS, J. M.; MARTHO, R. **Biologia:** biologia das populações. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. 376 p. Suplementado pelo manual do professor. 80 p.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia:** de indivíduos a ecossistemas. Tradução: Adriano Sanches Melo [et al.]. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752 p.

BIZZO, N. **Novas bases da Biologia:** seres vivos e comunidades. 1. ed. São Paulo: Ática, 2010. 480 p. Suplementado pelo manual do professor. 120 p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. Artigo 225.

BRASIL, Ministério da Educação, Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação. **Resolução CEB nº 3, de 26 de junho de 1998**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: CEB/CNE, 1998.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Biologia : ensino médio** / Vera Rita da Costa, Edson Valério da Costa (Org.). Brasília: MEC/SEB, 2006. 125 p. (Coleção Explorando o ensino; v. 6)

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos:** PNLD 2012: Biologia. Brasília: MEC/SEB, 2011. 76 p.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o Ensino Médio:** ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006. 135 p.

BRASIL. Lei n.º 11.892 de 29 de dezembro de 2008. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil**. Brasília DF, 30 dez. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11892.htm >. Acesso em: 19 mai. 2012.

BRASIL. Lei n.º 8.670 de 30 de junho de 1993. Dispõe sobre as Escolas Técnicas e Agrotécnicas Federais e dá outras providências. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil**. Brasília DF, 1 de jul. 1993.
Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8670.htm>. Acesso em: 19 mai. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2000. 58 p.

BUCKUP, G. B. (Org). **Biodiversidade dos campos de Cima da Serra.** Porto Alegre: Libretos, 2008. 196 p.

CAPRA, F. **O ponto de mutação:** a ciência, sociedade e a cultura emergente. Tradução: Álvaro Cabral. 25. ed. São Paulo: Cultrix, 1982. 447 p.

CORREIA, C. P. **O ovário de Eva:** A origem da vida. Tradução: Sonia Cautinho. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 468 p.

DAJOZ, Roger. **Ecologia geral.** Tradução de Francisco M. Guimarães, 4ª ed. - Petrópolis: Vozes, 1983. 472 p.

DAWKINS, R. **Desvendando o arco-íris.** Tradução: Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia das Letras, 2000. 416 p.

DAWKINS, R. **O maior espetáculo da Terra:** As evidências da evolução. Tradução: Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das letras, 2009. 438 p.

DE DUVE, C. **Poeira vital:** a vida como imperativo cósmico. Tradução: Lia Wyler. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 471 p.

DEAN, W. **A ferro e fogo:** a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. Tradução: Cid Knipel Moreira. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484 p.

DIAMOND, J. **Colapso.** Tradução: Alexandre Raposo. 6. ed. Rio de Janeiro: Record, 2009. 685 p.

DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada.** 3. ed. São Paulo: Hucitec, 2001. 169 p.

DILÃO, R. **A ciência dos sistemas complexos.** Departamento de Física do IST. n. 1, p. 5-18, mar. 1995.

FERNANDEZ, F. A. S. **O poema imperfeito:** crônicas da Biologia, conservação da natureza, e seus heróis. 2. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. 258 p.

FNDE, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Apresenta o histórico do Programa Nacional do Livro Didático - PNDL. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br>. Acesso em 19 abr. 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 1991.

GRÜN, M. Descartes, historicidade e educação ambiental. In: **Pensar o ambiente:** bases filosóficas para a educação ambiental. Isabel Cristina Moura de Carvalho; Mauro Grün e Rachel Trajber (Org.). Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade, UNESCO, 2006. 236 p.

IFC, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Rio do Sul. **Histórico**. Disponível em: <http://www.ifc-riodosul.edu.br>. Acesso em 01 de set. de 2012.

LAURENCE, V.; MENDONÇA, V. **Biologia:** ecologia, origem da vida e biologia celular, embriologia e histologia. 1. ed. São Paulo: Nova Geração, 2010. 304 p. Suplementado pelo manual do professor. 88 p.

LEITÃO FILHO, H. F. **Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil.** IPEF, n. 35, p. 41-46, abr. 1987.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **Quantas espécies há no Brasil?** Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 36-42, jul. 2005.

LINHARES, S.; GEWANDSZNADER F. **Biologia hoje:** genética, evolução e ecologia. 1. ed. São Paulo: Ática, 2010. 368 p. Suplementado pelo manual do professor. 72 p.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Bio:** volume 1. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 400 p. Suplementado pelo manual do professor. 112 p.

MAGALHÃES, L. M. S. **Complexidade e o manejo de fragmentos de florestas secundárias.** I EBEC, PUC/PR, Curitiba, jul, 2005.

MARCONDES, D. Aristóteles: ética, ser humano e natureza. In: **Pensar o ambiente:** bases filosóficas para a educação ambiental. Isabel Cristina Moura de Carvalho; Mauro Grün e Rachel Trajber (Org.). Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade, UNESCO, 2006. 236 p.

MARGALEF, R. **Ecologia.** 10. ed. Barcelona: Omega, 2005. 951 p.

MARGULIS, L. **O planeta simbiótico:** uma nova perspectiva da evolução. Rocco, 2001. 136 p.

MASSONI, N. T. **Ilya Prigogine: uma contribuição à filosofia da ciência.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 2, p. 2308-1 - 2308-8, 2008.

MAY, R. M. **Simple Mathematical models with very complicated dynamics.** Nature, v. 261, p. 459-474, jun. 1976.

MAYR, E. **Isto é biologia:** a ciência do mundo vivo. Tradução de Claudio Angelo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008. 428 p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das Agriculturas no Mundo**: do neolítico a crise contemporânea. Tradução: Claudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: UNESP. Brasília. DF: NEAD, 2010. 568 p.

MCCANN, K. S. **The diversity – stability debate.** Nature, v. 405, p. 228-233, may. 2000.

MENEZES, O. B. **Origem do termo Biologia.** Sitienbitus: Feira de Santana, v. 3, n . 6, p. 63-69, jul./dez. 1986.

MICHAELIS: **dicionário prático da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramento, 2008. 952 p.

NAEEM, S. **Complexity versus diversity.** Cyclopedia of biodiversity. University of Washington, v. 1, p. 831-843, 2001.

NUSSENZVEING, H. M. (Org). **Complexidade e caos.** Rio de Janeiro: UFRJ/ COPEA, 1999. 149 p.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Tradução: Chirstopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 434 p.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia.** Tradução: Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 612 p.

PESSIS-PASTERNAK, G. **Do caos à inteligência artificial:** quando os cientistas se interrogam. Tradução: Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: UNESP, 1993. 130 p.

PEZZI, A.; GOWDAK, D. O.; MATTOS, N. S. **Biologia:** genética, evolução e ecologia. 1. ed. - São Paulo: FTD, 2010. 208 p. Suplementado pelo manual do professor. 79 p.

PIMM, S.L. **The complexity and stability of ecosystems.** Nature, v. 307, p. 321-326, jan. 1984.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança:** metamorfose da ciência. Tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. 3. ed. Brasília: Universidades de Brasília, 1997. 247 p.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de Investigação Científica.** Tubarão - SC: Unisul, 2002. 268 p.

RICHARDSON, R. J. (et al). **Pesquisa social:** métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 334 p.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social:** métodos e técnicas. Colaboradores José Augusto de Souza Peres [et al]. São Paulo: Atlas, 1985.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza.** Tradução: Cecília Bueno e Pedro P. de Lima e Silva. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

RUSSEL, B. **El panorama de la ciencia.** Santiago de Chile: Ercilla S.A., 1988. 136 p.

SANTOS, F. S.; AGUILAR, J. B. V.; OLIVEIRA, M. M. A. **Biologia:** ensino médio, 3ª ano**.** 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2010. 320 p. Suplementado pelo manual do professor. 96 p.

SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JUNIOR, N. **Biologia 1:** as características da vida: biologia celular, vírus: entre moléculas e células: a origem da vida: histologia animal. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 384 p. Suplementado pelo manual do professor. 112 p.

SOLBRIG, O.T. **Plant Traits and Adaptative Strategies: Their Role in Ecosystem Function. In: Biodiversity and Ecosystem Functions**. Ernest – Detlef Schulze & H. A. Mooney (Eds.). Ecological Studies. Vol. 99. Springer Verlag. Pags. 97 – 116, 1993.

SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. **Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica.** Revista Brasileira de Botânica, v. 27, n. 3, p. 407-419, jul.-set. 2004.

WATSON, J. D. **DNA:** o segredo da vida. Tradução: Carlos Afonso Malferrari. São Paulo: Companhia das Letras, 2005. 470 p.

WOLF, T.; HOLVOET, T. **Emergence versus self-organisation: different concepts but promising when combined.** Department of Computer Science, Belgium, p. 1-15, 2004.

7 ANEXOS

Anexo A - Estrutura dos livros didáticos de biologia

ESTRUTURA DOS TÓPICOS RELACIONADOS À ECOLOGIA

a) LOPES, S. e ROSSO, S. **Bio: volume 1.** 1ª ed. – São Paulo: Saraiva, 2010.

A coleção é dividida em três volumes, e esses em unidades e capítulos. O livro volume 1, desta coleção, é composto por duas unidades: 1 O mundo em que vivemos; 2 Origem da vida e Biologia celular.

Unidade 1 - O mundo em que vivemos

- Introdução à Biologia:
  - Biologia: ciência da vida;
  - O século da Biologia;
  - Características gerais dos seres vivos;
  - Como vamos estudar a Biologia;
- Introdução à Ecologia:
  - Ecologia;
  - A atmosfera e o efeito estufa;
  - Os grandes padrões climáticos;
  - O efeito da altitude no clima;
  - O efeito dos oceanos no clima
- Ecossistemas terrestres e aquáticos:
  - Os grandes ecossistemas terrestres;
  - Biomas do Brasil;
  - Ecossistemas aquáticos;
- Estruturas dos ecossistemas, fluxo de energia e ciclo da matéria:
  - Hábitat e nicho ecológico;
  - Os componentes estruturais de um ecossistema;
  - Cadeia e teia alimentar;
  - Os níveis tróficos;
  - Pirâmides ecológicas;
  - Modelo do fluxo energético;
  - Os ciclos biogeoquímicos;
- Comunidades e populações:
  - Características estruturais de uma comunidade;
  - A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica;
  - Interações entre populações de uma comunidade;
  - Ecologia das populações;
- A quebra do equilíbrio ambiental:
  - Introdução;
  - Alterações bióticas;
  - Alterações abióticas;
  - Pegada ecológica;
  - Desenvolvimento sustentável;

b) SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JUNIOR, N. **Biologia 1: as características da vida: biologia celular, vírus: entre moléculas e células: a origem da vida: histologia animal.** 10ªed. – São Paulo: Saraiva, 2010. Vol. 1.

A coleção é dividida em três volumes, divididos em unidades temáticas e capítulos. O livro volume 1, desta coleção, é composto por quatro unidades: 1 A identidade da vida; 2 Ecologia: a vida em um nível mais amplo; 3 Biologia celular: a vida no nível microscópico; 4 A origem da vida no planeta Terra.

Unidade 2 - Ecologia: a vida em nível mais amplo

- Conceitos fundamentais em Ecologia:
  - Afinal, o que é Ecologia?
  - Ecologia e ecossistemas;
  - Ecossistema: a unidade ecológica;
- Energia e matéria nos ecossistemas:
  - O que é matéria? O que é energia?
  - A energia e a matéria;

- O fluxo de energia em um ecossistema;
- As transferências de energia em um ecossistema;
- As pirâmides ecológicas;
- Os ciclos da matéria;

- Populações e comunidades:
  - A mosca-dos-chifres: um exemplo de controle biológico;
  - A dinâmica das populações;
  - Comunidade em mudança: a sucessão ecológica;
- As interações biológicas na comunidade:
  - A história da borboleta e do maracujá;
  - Interações positivas e negativas;
- Os biomas do mundo e a fitogeografia do Brasil:
  - Aquecimento vai reduzir a Mata Atlântica;
  - Uma chance para a Mata Atlântica;
  - Os biomas;
  - Os ecossistemas de água doce;
  - Os ecossistemas marinhos;
  - A fitogeografia do Brasil;;
- O ser humano e seu impacto sobre o ambiente
  - O crescimento da população humana;
  - A explosão demográfica e suas consequências;
  - A poluição e os poluentes;
- Perspectivas para o futuro:
  - Inventando o futuro;
  - Um problema, várias soluções;
  - O conceito de pegada ecológica;
  - A riqueza maior: a biodiversidade;

c)	PEZZI, A.; GOWDAK, D. O.; MATTOS, N. S. **Biologia: genética, evolução, ecologia**. 1ª ed. - São Paulo: FTD, 2010. Vol. 3 (Coleção biologia).

Esta coleção possui três volumes que estão organizados em unidades temáticas e capítulos. O livro volume 3 é composto por três unidades: 1 Genética; 2 Evolução; 3 Ecologia.

Unidade 3 - Ecologia

- Os seres vivos e o ambiente:
  - Níveis de organização;
  - Ecossistema;
  - Habitat e nicho ecológico;
- Matéria e energia nos ecossistemas:
  - Os componentes bióticos de uma comunidade;
  - Cadeias e teias alimentares;
  - Fluxo de energia;
  - Produtividade do ecossistema;
  - Pirâmides alimentares;
- Ciclos da matéria:
  - Ciclo da água;
  - Ciclo do carbono;
  - Ciclo do oxigênio;
  - Ciclo do nitrogênio;
  - Ciclo do fósforo;
- Populações:
  - Características de uma população;
  - Curva de crescimento da população;
  - O crescimento e a densidade de uma população;
- Comunidades:
  - Características das comunidades;
  - Sucessão ecológica;
  - Interações nas comunidades;
  - Princípio da exclusão competitiva;
- Os biomas da biosfera:

- Biomas terrestres;
- Biomas brasileiros;
- Biomas aquáticos;

- Impacto ambiental:
  - A capacidade do planeta;
  - Poluição ambiental;
  - Desmatamentos e desertificação;
  - Medidas de proteção ambiental;

d)	LAURENCE, V. e MENDONÇA, V. **Biologia: ecologia, origem da vida e biologia celular, embriologia e histologia: volume 1: ensino médio.** 1ª ed. São Paulo: Nova Geração, 2010. Vol. 1 (Coleção biologia para a Nova Geração).

Esta coleção é composta por três volumes. Os volumes estão organizados em unidades temáticas. O volume 1 é composto por três unidades: 1 Introdução à Biologia e princípios de Ecologia; 2 Origem da vida e Biologia celular; 3 Embriologia e histologia animal.

Unidade 1 - Introdução à Biologia e princípios de Ecologia

- Vida e composição química dos seres vivos:
  - Como definir "vida"?
  - Características gerais dos seres vivos;
  - A química das células;
- Vida e energia;
  - Níveis de organização dos seres vivos;
  - Biosfera, ecossistemas, comunidades e populações;
  - Transferência de matéria e de energia nos ecossistemas;
  - As pirâmides ecológicas;
  - Redes e teias alimentares;
  - O equilíbrio na natureza;
- Ciclos da matéria, sucessão ecológica e desequilíbrios ambientais:
  - Introdução;
  - Ciclos da matéria;
  - Sucessão ecológica;
  - Desafios para o futuro;
- Ecossistemas e populações:
  - Introdução;
  - Ecossistemas aquáticos;
  - Ecossistemas terrestres;
  - Manguezais;
  - Ecologia das populações;
- Relações entre os seres vivos:
  - Interações ecológicas;
  - Relações intraespecíficas;
  - Relações interespecíficas ou simbioses;

e)	AMABIS J. M. e MARTHO R. **Biologia**. 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2010. Vol. 3. Biologia das populações.

A obra é composta por três volumes. O volumes estão organizados em unidades e capítulos. O livro volume 3 está composto por três unidades: a) Genética; b) Evolução biológica; c) Ecologia.

Unidade C - Ecologia

- Fundamentos da ecologia:
  - Conceitos básicos em Ecologia;
  - Teias e cadeias alimentares;
  - Fluxo de energia e níveis tróficos;
  - Ciclos biogeoquímicos;
- Dinâmicas das populações e relações ecológicas:
  - Características das populações;
  - Fatores que regulam o tamanho das populações biológicas;
  - Relações ecológicas intraespecíficas;
  - Relações ecológicas interespecíficas;

- Sucessão ecológica e principais biomas do mundo:
    - Sucessão ecológica;
    - Fatores que afetam os ecossistemas;
    - Grandes biomas do mundo;
    - Domínios morfoclimáticos e principais biomas brasileiros;
    - Ecossistemas aquáticos;
- Humanidade e ambiente
    - Poluição ambiental;
    - Interferência humana em ecossistemas naturais;
    - Caminhos e perspectivas;

f) LINHARES S. e GEWANDSZNADER F. **Biologia hoje.** 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010. Vol. 3.

A obra esta composta por três volumes. Os volumes são estruturados em unidades e capítulos. O livro volume 3 é dividido em três unidades: I Genética; II Evolução; III Ecologia.

Unidade III - Ecologia

- O campo de estudo da ecologia:
    - Níveis de organização da vida;
    - Hábitat e nicho ecológico;
- Cadeias e teias alimentares:
    - Cadeia alimentar;
    - Teia alimentar;
    - Pirâmides ecológicas;
    - Poluição e desequilíbrio nas cadeias alimentares;
- Ciclos biogeoquímicos:
    - Ciclo do carbono;
    - Ciclo do oxigênio;
    - Ciclo da água;
    - Ciclo do nitrogênio;
- Populações:
    - Crescimento das populações;
    - Crescimento da população humana;
- Relações entre os seres vivos:
    - Sociedades;
    - Colônias;
    - Mutualismo;
    - Protocooperação;
    - Comensalismo;
    - Canibalismo;
    - Competição intraespecífica;
    - Competição interespecífica;
    - Amensalismo;
    - Predatismo e herbivoria;
    - Parasitismo;
    - Espécies invasoras;
- Sucessão ecológica:
    - Etapas da sucessão;
    - Sucessão primária e secundária;
- Distribuição dos organismos na biosfera:
    - A influência do clima;
    - Epinociclo;
    - Biomas brasileiros;
    - Ambientes aquáticos;
- Poluição:
    - Poluição do ar;
    - Poluição da água;
    - Poluição dos solos;
    - Lixo;
    - Poluição radioativa;
    - Poluição sonora;

- Destruição da biodiversidade;

g) BIZZO, N. **Novas bases da Biologia: seres vivos e comunidades**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010. Vol. 2. Seres vivos e comunidades.

Esta coleção está composta por três volumes. Os volumes estão organizados em unidades. O livro volume 2 está dividido em quatro unidades: 1 Populações em ambientes interligados; 2 Biodiversidade: vírus, procariotos e eucariotos; 3 Biodiversidade: eucariotos II; 4 Biodiversidade: eucariotos III.

Unidade 1 - Populações em ambientes interligados

- Bases da Ecologia:
  - Ecossistemas: conceitos básicos;
  - Energia e matéria nos ecossistemas;
  - Interações ecológicas;
  - Populações nos ecossistemas;
- A perspectiva socioambiental:
  - Saúde coletiva e a questão ambiental;
  - Poluição;
  - Perda de habitat e extinção de espécies;
  - Biomas brasileiros;
  - Efeitos globais: mudanças climáticas;

h) SANTOS, F. S. DOS; AGUILAR, J. B.V.; OLIVEIRA, M. M. A. DE. **Biologia: ensino médio, 3º ano.** 1ª ed. São Paulo: Edições SM, 2010. – (Coleção ser protagonista). Vol. 3.

A coleção esta composta por três volumes. Os livros são estruturados em unidades e capítulos. No volume 3 estão presentes três unidades: I Genética; II Evolução; III Ecologia.

Unidade III - Ecologia

- Ecologia básica:
  - A biosfera;
  - Relações tróficas nos ecossistemas;
  - Ciclos biogeoquímicos;
- Relações ecológicas:
  - Relações ecológicas;
  - Relações intraespecíficas;
  - Relações interespecíficas;
- Ecossistemas:
  - Dinâmicas de populações;
  - Fatores determinantes dos ecossistemas;
  - Sucessão ecológica;
- Biomas:
  - Os biomas do mundo;
  - Os biomas brasileiros;
  - Ecossistemas aquáticos;
- O ser humano e o ambiente
  - Impacto humano sobre o ambiente;
  - Impacto humano sobre a atmosfera;
  - Impacto humano sobre as águas;
  - Impacto humano sobre os solos;
  - Ameaças a biodiversidade;
  - Usos da energia e suas fontes;

Anexo B - Quadro de análise individual (Obras didáticas e manuais do professor)

LIVRO:

OBJETO DE ANÁLISE: Conteúdo de ecologia

Questões para análise do conteúdo de ecologia	**Citações encontradas no conteúdo de ecologia**	**Eixo temático**	**Contextualização da frase**	**Observações**	**Pág.**
1) A expressão "**sistemas complexos**" está presente no conteúdo de ecologia?					
2) As expressões "**complexo**", "**complexas**" e "**complexidade**" estão presentes no conteúdo de ecologia?					
3) Em relação ao estudo da ecologia de populações, o conteúdo apresenta noções sobre o **caos determinístico**?					
4) Dentre os conteúdos, apresenta noções sobre a **irreversibilidade?**					
5) Em relação ao conteúdo sobre a dinâmica de populações, comunidades e ecossistemas, utilizasse do conceito de **atratores**?					

6) Em relação a sucessão ecológica são apresentadas noções sobre as **propriedades emergentes?**					
7) Nos conteúdos referentes aos ciclo biogeoquímico discute-se sob uma perspectiva da **não linearidade**?					
8) As **estruturas dissipativas** fazem parte das noções e conteúdos ecológicos?					
9) Os conteúdos discutem as características de **auto-organização**?					
10) Em relação a questões sobre fluxo de energia, o conteúdo apresenta noções sobre a **termodinâmica?**					
11) Dentre os conteúdos, apresenta noções sobre a **termodinâmica do não equilíbrio?**	-	-	-	-	-

MANUAL DO PROFESSOR:

Texto	Observações	Pág.

Anexo C - Matrizes curriculares dos cursos: Técnico em Florestas, Técnico em Agropecuária e Técnico em Agroecologia - IFC - Campus Rio do Sul

Técnico em Florestas

MATRIZ CURRICULAR DO CURSO DE TÉCNICO EM FLORESTAS

	DISCIPLINA	*HORAS/SEMANAIS*	*CARGA HORÁRIA SEMESTRAL*
1.º SEMESTRE	SILVICULTURA	4	80
	DENDROLOGIA	2	40
	ECOLOGIA GERAL	4	80
	USO, MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO	6	120
	DESENHO TÉCNICO	3	60
	INFORMÁTICA APLICADA	2	40
	JARDINAGEM E PAISAGISMO	3	60
	PRATICAS FLORESTAIS ORIENTADAS I	8	160
	TOTAL	32	640
2.º SEMESTRE	EXTENSÃO FLORESTAL	2	40
	MENSURAÇÃO FLORESTAL	4	80
	TOPOGRAFIA	6	120
	TECNOLOGIA DA MADEIRA	2	40
	COLHEITA FLORESTAL A	4	80
	ADM. E ECON. FLORESTAL	2	40
	PROTEÇÃO FLORESTAL	2	40
	METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO	2	40
	PRATICAS FLORETAIS ORIENTADAS II	8	160

	TOTAL	32	640
	TOTAL DE AULAS	1280h	
	ESTAGIO CURRICULAR OBRIGATÓRIO	240h	
	CARGA HORÁRIA TOTAL DO CURSO	1520h	

Técnico Agropecuária Subsequente ao Ensino Médio

Matriz Curricular do Curso **Técnico em Agropecuária Subsequente ao Ensino Médio.**

DISCIPLINAS	Aulas/semestre (Aulas/semana)*		
	1ºSEMESTRE	2ºSEMESTRE	3ºSEMESTRE
Desenho Técnico	80 (4)		
Informática Instrumental	80 (4)		
Jardinagem e Paisagismo	80 (4)		
Cooperativismo, Associativismo e Extensão Rural	80 (4)		
Agricultura I	200 (10)		
Zootecnia I	200 (10)		
Sub-total do primeiro semestre	720 (36)		
Topografia		80 (4)	
Mecanização Agrícola		80 (4)	
Agricultura II		160 (8)	
Zootecnia II		160 (8)	
Irrigação e Drenagem		80 (4)	
Agroindústria		160 (8)	
Sub-total do segundo semestre		720 (36)	
Administração e Economia Rural			80 (4)
Ambiente e Desenvolvimento			80 (4)
Const. Inst. Rurais			80 (4)
Defensivos Agrícolas e Defesa Sanitária			80 (4)
Agricultura III			160 (8)
Zootecnia III			160 (8)
Orientação de Estágio e Legislação Trabalhista			80 (4)
Sub-total do terceiro semestre			720 (36)
Total de aulas			2160
Estágio Curricular Supervisionado			240h
Total (em horas)			2400h

* Cada aula tem a duração de 60 minutos (1 hora).

Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio

Matriz Curricular do Curso **Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio.**

	Disciplinas	Aulas/ano (Aulas/semana)*			
		1ª Série	2ª Série	3ª Série	Total
Base comum	Língua Portuguesa	120 (3)	120 (3)	120 (3)	360
	Artes	80 (2)			80
	Educação Física	80 (2)	80 (2)	80 (2)	240
	Informática	80 (2)			80
	História			80 (2)	80
	Geografia	80 (2)	80 (2)		160
	Sociologia	40 (1)	40 (1)	40 (1)	120
	Filosofia	40 (1)	40 (1)	40 (1)	120
	Biologia	80 (2)	80 (2)		160
	Química		80 (2)	80 (2)	160
	Física		80 (2)	80 (2)	160
	Matemática	120 (3)	80 (2)	80 (2)	280
Parte Diversificada	Iniciação Científica	80 (2)	40 (1)		120
	Língua Estrangeira Moderna (Inglês/Espanhol)		80 (2) Inglês	120 (3) 80 Espanhol, 40 Inglês	200
	Orientação de Estágio e Legislação			80 (2)	80
	Sub-total	800	800	800	2400
Parte Profissionalizante	Desenho Técnico	80 (2)			80
	Topografia		80 (2)		80
	Irrigação e Drenagem			80 (2)	80
	Construções e Instalações Rurais		80 (2)		80
	Mecanização Agrícola		80 (2)		80
	Agricultura I	200 (5)			200
	Agricultura II		160 (4)		160
	Agricultura III			160 (4)	160
	Jardinagem e Paisagismo	80 (2)			80
	Defensivos Agrícolas e Defesa Sanitária			80 (2)	80
	Zootecnia I	200 (5)			200
	Zootecnia II		160 (4)		160
	Zootecnia III			160 (4)	160
	Agroindústria			80 (2)	80
	Cooperativismo, Associativismo e Extensão Rural	80 (2)			80
	Administração e Economia Rural			80 (2)	80
	Ambiente e Desenvolvimento		80 (2)		80
	Sub-total	**640 (16)**	**640 (16)**	**640 (16)**	**1920**
	Total de aulas	**1440**	**1440**	**1440**	**4320**
	Estágio				**240h**
	Total (em horas)				**4560h**

*Cada aula tem a duração de 60 minutos (1 hora).

Técnico Agrícola com habilitação em Agroecologia

Matriz Curricular do Curso Técnico Agrícola com habilitação em Agroecologia

	Disciplinas	*Aulas/ano* (Aulas/semana)			
		1ª Série	2ª Série	3ª Série	Total
Base comum	Língua Portuguesa	*120* (3)	*120* (3)	*120* (3)	360
	Artes	*80* (2)			80
	Educação Física	*80* (2)	*80* (2)	*80* (2)	240
	Informática	*80* (2)			80
	História			*80* (2)	80
	Geografia	*80* (2)	*80* (2)		160
	Sociologia	*40* (1)	*40* (1)	*40* (1)	120
	Filosofia	*40* (1)	*40* (1)	*40* (1)	120
	Biologia	*80* (2)	*80* (2)		160
	Química		*80* (2)	*80* (2)	160
	Física		*80* (2)	*80* (2)	160
	Matemática	*120* (3)	*80* (2)	*80* (2)	280
Parte Diversificada	Iniciação Científica	*80* (2)	*40* (1)		120
	Língua Estrangeira Moderna (Inglês/Espanhol)		*80* (2)	*120* (3)	200
	Orientação de Estágio e Legislação			*80* (2)	80
	Sub-total	800	800	800	2400

Anexo D - Questionário aplicado aos docentes do IFC - Campus Rio do Sul

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA

MESTRANDO: Eder Favretto
ORIENTADOR: Drº. Luís Mauro Magalhães

QUESTIONÁRIO
(PESQUISA – DOCENTES IFC – CAMPUS RIO DO SUL)

1. Graduação: _____Local:_____Ano conclusão: _____

2. Pós-graduação:
( ) Especialização:_____Local:_____Ano conclusão: _____
( ) Mestrado:_____Local:_____Ano conclusão: _____
( ) Doutorado:_____Local:_____Ano conclusão: _____

3. No ensino formal (Ensino Médio, graduação ou pós-graduação) você teve **disciplina(s)** e/ou **atividade(s)** que trabalhasse(m) conteúdos sobre algum dos termos abaixo? Em qual(is) disciplina(s) e/ou atividade(s) você teve este conteúdo?

( ) ECOSSISTEMA _____
( ) COMPLEXIDADE _____
( ) SUCESSÃO ECOLÓGICA _____
( ) PROPRIEDADES EMERGENTES _____
( ) TEORIA DO CAOS _____
( ) CICLO BIOGEOQUÍMICO _____
( ) NÃO LINEARIDADE _____
( ) NICHO _____
( ) AUTO-ORGANIZAÇÃO _____
( ) HABITAT _____
( ) ESTRUTURAS DISSIPATIVAS _____
( ) DINÂMICA DE POPULAÇÕES _____
( ) ATRATORES _____
( ) CAOS DETERMINÍSTICO _____
( ) CLIMAX _____
( ) TERMODIN. NÃO EQUILÍBRIO _____

4. Nas suas **leituras, informações diversas e/ou estudos complementares** quais destes conceitos, listados acima (item 3), você já viu serem discutidos? Que fontes foram essas?

_____
_____

5. Conhece **autores** que dialogam sobre algum dos termos citados no item 3?
( ) SIM ( ) NÃO
Quais autor(es)/termo(s)?
_____
_____

6. Conhece **livros didáticos** que apresentam algum dos termos citados no item 3?
( ) SIM ( ) NÃO
Quais livro(s)/termo(s)?
_____
_____

7. Quais **disciplinas** você pensa que poderiam dialogar noções sobre sistemas complexos (complexidade)? ( ) SEM OPINIÃO
_____
_____

8. Você acha que a ecologia pode ser estudada com base nos fundamentos dos sistemas complexos? ( ) SIM ( ) NÃO ( ) SEM OPINIÃO

9. Você estudou as leis da termodinâmica? Em quais disciplinas?
( ) SIM ( ) NÃO
_____
_____

10. Quais disciplinas, do Ensino Médio, você pensa que poderiam estar envolvidas prioritariamente no aprendizado sobre ecologia?
_____
_____

11. Você acha que os conceitos referentes aos sistemas complexos são conceitos básicos para o estudo da ecologia?
( ) SIM ( ) NÃO ( ) SEM OPINIÃO

12. Na sua opinião, qual(is) conceito(s) podem ter maior relevância para o ensino de ecologia? ( ) SEM OPINIÃO
_____
_____

13. Mediante as discussões atuais sobre a intensificação das transformações antrópicas nos ecossistemas, você considera como fundamental alguma noção ou conceitos sobre ecologia na formação do estudante, durante o ensino médio?
( ) SIM ( ) NÃO ( ) SEM OPINIÃO