



# Relatório Técnico

**Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e  
Pesquisas Computacionais**

**A CONSTRUÇÃO DO  
CONHECIMENTO A PARTIR  
DA MODELAGEM DE SISTEMAS  
COMPLEXOS COMPUTACIONAIS:  
modelagem e projeto de  
sistemas computacionais  
complexos: turma de 2019.1**

C. V. M. Marques  
C. E. T. de Oliveira  
C. L. R. da Motta

NCE - 02/2019

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO TERCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS COMPUTACIONAIS

Relatório Técnico, 02/2019

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO A PARTIR DA MODELAGEM DE SISTEMAS  
COMPLEXOS COMPUTACIONAIS: modelagem e projeto de sistemas computacionais  
complexos: turma de 2019.1

Carla Verônica Machado Marques, D.Sc.  
Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira, Ph.D.  
Claudia Lage Rebello da Motta, D.Sc

Rio de Janeiro  
2019

## **EQUIPE TÉCNICA:**

### **Organizadores:**

*Carla Verônica Machado Marques<sup>1</sup>, D.Sc.*

*Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira<sup>1</sup>, Ph.D.*

*Claudia Lage Rebello da Motta<sup>1,2</sup>, D.Sc.*

1. Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais (NCE/UFRJ)
2. Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)

### **Coordenadores:**

*Isabel Hortência Garnica Perez Barros<sup>1</sup>*

*Lorena Pires Grion<sup>1</sup>*

*Márcio da Silva Camilo<sup>2</sup>*

*Ramon Miranda Chaves<sup>1</sup>*

*Ronilson Rodrigues Pinho<sup>2</sup>*

*Victor Antônio Azevedo Costa Santos<sup>2</sup>*

*Wander dos Santos Vasconcellos<sup>2</sup>*

1. Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) - Mestrando
2. Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) - Doutorando

## RESUMO

O presente relatório apresenta uma visão abrangente sobre o entendimento da modelagem e projetos em sistemas complexos computacionais cuja fundamentação teórica está consolidada em metodologias que atendam, apoiem tarefas e levem em conta aspectos cognitivos em sua arquitetura. A pesquisa está consolidada na leitura do livro “O conhecimento em construção: das formulações de Jean Piaget à teoria de sistemas complexos” de Rolando Garcia. Desenvolvemos dois modelos para tratar e acessar ambientes distribuídos e heterogêneos. No primeiro um ambiente de ensino a distância - EaD , baseado no Centro de Educação à Distância do Estado do Rio de Janeiro - CEDERJ, foi modelado como um sistema complexo, para que fossem simuladas situações de risco onde foram identificados seus impactos e propostas ações para reduzir ou eliminá-los. Para isso, os atores (papéis) que interagem com o sistema foram identificados, os processos mapeados, os subsistemas identificados e as principais variáveis do sistema declaradas. Este processo teve como base o trabalho de alguns pesquisadores sobre educação à distância, sistemas complexos e complexidade, como: Bielschowsky, Bergman, Martinazzo, Prado Júnior, Eliasquevice, Guimarães, Dourado, Santiago, Morin, Holanda, Pinheiro, Pagliuca, Laguardia, Casanova, Machado, Griebeler, Palazzo, Vargas, Trindade, Gouveia e Farias. O segundo modelo tem o objetivo de validar o sistema complexo computacional proposto na investigação da professora e cientista Dra Carla Verônica Machado Marques, a qual originou a Tese de Doutorado EICA - Estruturas Internas Cognitivas Aprendentes: Um Modelo Neuro-Computacional à instância psíquica do Sistema Pessoa em Espaços Dimensionais, para facilitar o entendimento contamos com os estudos científicos de Franco Lo Presti Seminério e Barbel Inhelder. Portanto, estes dois tratados descritos neste relatório servem como instrumento de pesquisa, análise, compreensão, estudo dos fenômenos de problemas e solução da complexidade científica para modelagem computacional, serve como base para outros estudos, motivando a exploração de outras áreas e na contribuição de novas pesquisas

**Palavras-chave:** Sistemas complexos computacionais. Sistemas complexos adaptativos. Educação a distância. Estruturas internas cognitivas aprendentes.

## ABSTRACT

This report provides a comprehensive overview of the understanding of modeling and design in complex computational systems. The theoretical foundation is consolidated in methodologies that meet, support tasks and take cognitive aspects into account in its architecture. The research is consolidated in reading the book “Knowledge in Construction: from Jean Piaget's formulations to the theory of complex systems” by Rolando Garcia. Two models were developed to treat and access distributed and heterogeneous environments. In the first, a distance learning environment, based on the Center for Distance Education of the State of Rio de Janeiro - CEDERJ. This was modeled as a complex system, so that risk situations were simulated where their impacts were identified and proposed actions to reduce or eliminate them. In this context, the actors (roles) interacting with the system were identified, the processes mapped, the subsystems identified and the main system variables declared. This process was based on the work of researchers in distance education, complex systems and complexity, such as: Bielschowsky, Bergman, Martinazzo, Prado Junior, Eliasquevice, Guimarães, Dourado, Santiago, Morin, Holanda, Pinheiro, Pagliuca, Laguardia, Casanova, Machado, Griebeler, Palazzo, Vargas, Trinity, Gouveia and Farias. The second model aims to validate the complex computational system proposed in the research by professor and scientist Dr. Carla Verônica Machado Marques, which originated the PhD Thesis EICA - Learning Cognitive Internal Structures: A Neuro-Computational Model to the Psychic Instance of the Person System in Dimensional spaces. To facilitate understanding we rely on the scientific studies of Franco Lo Presti Seminério and Barbel Inhelder. The two treatises described in this report serve as an instrument for research, analysis, comprehension, study of problem phenomena and solution of scientific complexity for computer modeling, besides helping other studies, motivating the exploration of other areas and the contribution of new research.

**Keywords:** Complex computational systems. Distance education. Cognitive internal structures learning.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Lista de Entidades.....	50
Tabela 2: Lista de Processos da Educação a distância.....	56
Tabela 3: Subsistemas.....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de um Sistema Complexo.....	9
Figura 2: Elementos e Subsistemas.....	10
Figura 3: Os quatros agrupamentos das ciências segundo Piaget.....	10
Figura 4: Domínio Epistemológico Interno.....	11
Figura 5: Domínio Epistemológico Derivado.....	11
Figura 6 - Elementos, subsistemas e estruturas.....	12
Figura 7: Ilustração representativa do conjunto de questões da estrutura epistêmica.....	12
Figura 8: Fato e Observáveis.....	13
Figura 9: O sistema complexo e o ambiente “externo”.....	14
Figura 10: Processos e Níveis.....	15
Figura 11: Sistemas Abertos.....	15
Figura 12: Situação de equilíbrio.....	16
Figura 13: Troca com o meio externo.....	16
Figura 14: Subsistemas no sistema cognitivo.....	20
Figura 15: Processo de criação de esquemas de ação.....	23
Figura 16: Assimilação e acomodação.....	24
Figura 17: Relação de estrutura e material empírico com o processo cognitivo.....	24
Figura 18: Estágios.....	25
Figura 19:Períodos estruturantes.....	26
Figura 20: Períodos estruturantes.....	27
Figura 21: Modelo de elementos do sistema epistemológico.....	28
Figura 22: Diagrama de subsistemas do sistema cognitivo.....	28
Figura 23: Quebra de fenômenos complexos em componentes simples.....	29
Figura 24: Sistema Complexo Adaptativa.....	32
Figura 25: Esquema de Sistema baseado em agente.....	33
Figura 26: Agregação.....	34
Figura 27: não linearidade.....	34
Figura 28:Fluxos.....	35
Figura 29: Diversidade.....	36
Figura 30:Rótulos.....	36
Figura 31: Blocos de construção.....	37
Figura 32:Modelo interno.....	37
Figura 33: Processo de identificação dos componentes principais do sistema.....	38
Figura 34: Processo de identificação dos componentes principais do sistema.....	39
Figura 35: Processo heterogêneo da complexidade das ações e, interações.....	39
Figura 36: Protótipo 1- Sistema Complexo Computacional EICA.....	40
Figura 37: Diagrama da Máquina EICA.....	41
Figura 38: Diagrama de causalidades entre variáveis dos Esquemas.....	42
Figura 39: Detalhamento dos esquemas.....	43
Figura 40: Diagrama Máquina EICA- contato com affordances.....	44
Figura 41: Processo de funcionamento de uma máquina aprendente.....	45
Figura 42: Diálogo e análise do discurso em tempo real.....	45
Figura 43: Processamento em tempo real.....	46

Figura 44: Pólos do CEDERJ.....	49
Figura 45: Diagrama de Entidades.....	50
Figura 46: Diagrama Geral de Processos Sistema CEDERJ.....	54
Figura 47: Diagrama Detalhado do Processo de Criação do Material Didático.....	55
Figura 48: Diagrama de subsistemas.....	63
Figura 49: Diagrama de laços causais com variáveis do sistema.....	66
Figura 50: Impacto nos subsistemas no incidente de criação de um novo curso.....	68
Figura 51: Impacto nas variáveis no incidente de criação de um novo curso.....	69
Figura 52: Impacto nos subsistemas do incidente de roubo das provas.....	70
Figura 53: Impacto nas variáveis do sistema causadas pelo roubo das provas.....	71
Figura 54: Impacto nos subsistemas do acidente.....	73
Figura 55: Impacto nas variáveis do sistema causadas pelo acidente.....	73



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	10
2.1 SISTEMA COMPLEXO .....	10
2.2 SISTEMA COMPLEXO ADAPTATIVO .....	17
2.3 A CONSTRUÇÃO DO SUJEITO EPISTÊMICO NA CONCEPÇÃO DE ROLANDO GARCIA.....	18
2.3.1 Introdução epistemologia e teoria do conhecimento.....	18
2.3.2 Proposta construtivista do problema do conhecimento.....	19
2.3.3 O conhecimento como sistema complexo .....	19
2.3.4 Construção do sistema cognitivo.....	21
2.4 CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE.....	29
2.4.1 As relações de parte e a teoria da complexidade.....	30
<b>3 PROPOSTA DE MODELAGEM DE SISTEMA COMPLEXO COMPUTACIONAL PARA O ENTENDIMENTO DA ESTRUTURA PROCESSUAL COGNITIVA</b> .....	38
3.2 PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA EICA .....	45
<b>4 PROPOSTA DE UM MODELO DE SISTEMAS COMPLEXO NA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA- CEDERJ</b> .....	47
4.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	47
4.2 MODELAGEM DO CEDERJ COMO SISTEMA COMPLEXO.....	48
4.3 ANÁLISE DE IMPACTO E PLANO DE CONTINGÊNCIA .....	65
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	73
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74

## 1. INTRODUÇÃO

A análise dos sistemas homem-máquina é uma preocupação constante da neurociência cognitiva computacional. Percebemos a necessidade de criar modelos da máquina cognitiva que incorporem o funcionamento e a sua interação para compreender o comportamento desse importante Sistema Complexo Computacional.

Este trabalho considera o sujeito do conhecimento<sup>1</sup> universal, para isso traçamos articulações entre modelos do pensamento organizacional e o paradigma da complexidade a fim de entender que o sujeito do conhecimento considera as suas singularidades e a universalidade para a construção do conhecimento. O Pensamento organizacional avança na investigação da cognição (resolução de problemas e conflitos).

É explícita a necessidade de discutir problemas no âmbito educacional que levem em conta o cotidiano e a diversidade já que atualmente a educação se baseia numa cognição reduzida e fragmentada.

Considerando a universalidade do sujeito do conhecimento imerso num ambiente em constante evolução e que o leva a se adaptar continuamente caracterizamos a construção do conhecimento como um Sistema Complexo Adaptativo. Para descrever tal afirmação, são descritos neste relatório o fragmento de dois problemas educacionais que envolvem a modelagem e o projeto de Sistemas Complexos Computacionais complexos.

Um destes fragmentos aborda o problema dos ambientes de Educação a distância - EaD, que podem ser vistos como uma ferramenta de apoio ao processo cognitivo e, por isso, sujeito à evolução constante, sendo assim um Sistema Complexo Adaptativo. Na realidade, podemos considerar que a necessidade de evolução constante neste tipo de ambiente apresenta desafios mais complexos que os existentes nas ferramentas de aprendizagem presencial. Pois nos parece que a EaD, além da complexidade inerente aos ambientes presenciais, acrescenta a necessidade de adaptação aos diferentes contextos em que se insere, por atender à diferentes contextos sociais.

Para isso, contamos com o trabalho de alguns pesquisadores sobre educação à distância, sistemas complexos e complexidade, como: Bielschowsky, Bergman, Martinazzo, Prado Júnior, Eliasquevice, Guimarães, Dourado, Santiago, Morin, Holanda, Pinheiro, Pagliuca, Laguardia, Casanova, Machado, Griebeler, Palazzo, Vargas, Trindade, Gouveia e Farias e também para o entendimento da cognição humana seguimos no campo de Marques, Seminério, Inhelder. Tais autores são fundamentais para justificar os modelos propostos. O relatório se divide em 4 Capítulos resumidamente descritos: Capítulo 1, Introdução, Capítulo 2 Fundamentação Teórica, Capítulo 3, Capítulo 4, Capítulo 5, Conclusões.

---

<sup>1</sup> Sujeito do conhecimento é o sujeito onde recaem as ações de percepção e memória que designa a capacidade do conhecimento de modo geral. A consciência reflexiva diz respeito ao nível de conhecimento sobre os fatos de eventos e objetos que estão à nossa volta.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura realizada sobre os pontos discutidos no Capítulo 1 Introdução, ou seja, pesquisas que apresentam um estudo abrangente de Modelagem e Projeto de Sistemas Computacionais Complexos.

### 2.1 SISTEMA COMPLEXO

Segundo Rolando García (García, 2006), um sistema complexo é uma representação de um recorte da realidade complexa, conceituado como uma totalidade organizada (sistema), na qual os elementos não são separáveis e, portanto, não podem ser estudados isoladamente pelas diversas disciplinas envolvidas. A Figura 1 nos mostra uma representação de como pode ser visto um sistema complexo.

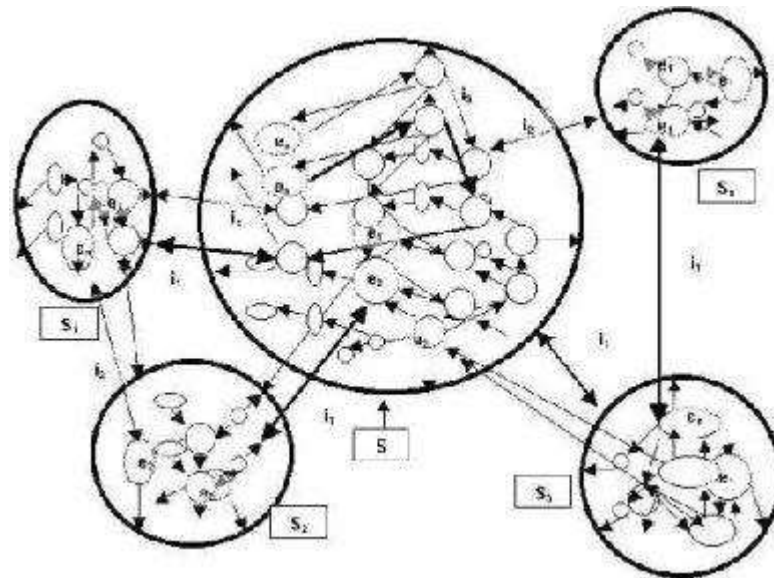


Figura 1: Representação de um Sistema Complexo.

Estes elementos são heterogêneos que interagem e geralmente constituem “unidades” também complexas, os subsistemas. Estes não são independentes, mas que se definem, interagem entre si e pertencem aos “domínios materiais” de disciplinas muito diversas. A Figura 2 nos mostra um sistema complexo, com seus subsistemas e elementos.

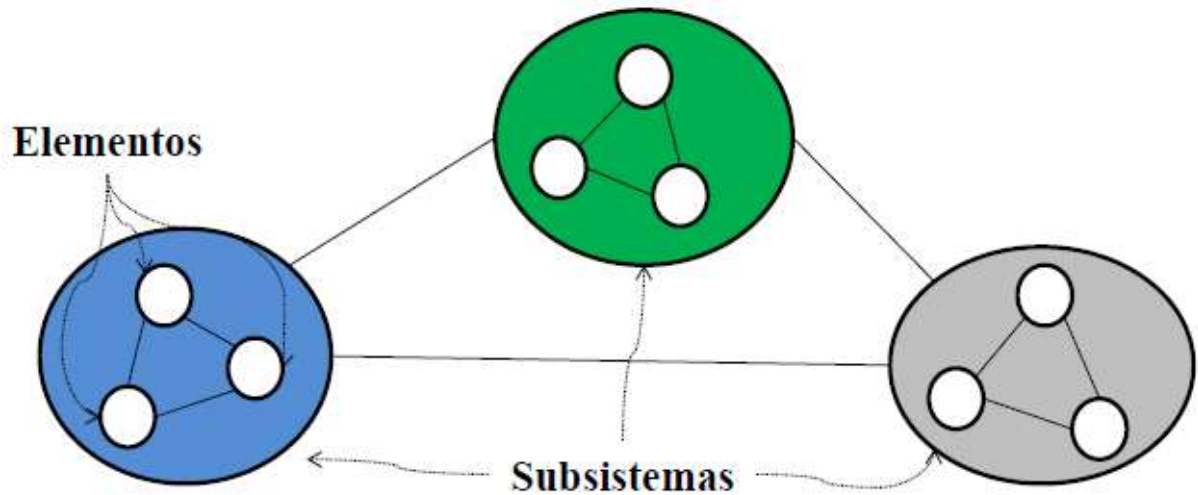
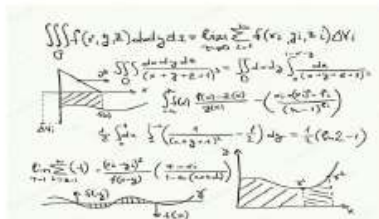
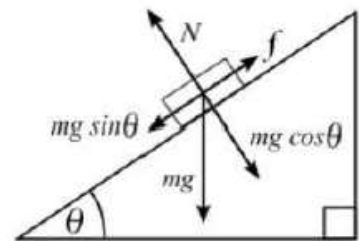


Figura 2: Elementos e Subsistemas.

As disciplinas são domínios de conhecimentos científicos produzidos pelo homem e que, segundo Piaget, são organizadas em 4 agrupamentos:



Ciências Lógico-Matemáticas



Ciências Físicas



Ciências Biológicas



Ciências Psico-Sociológicas.

Figura 3: Os quatros agrupamentos das ciências segundo Piaget.

Os agrupamentos mostrados na Figura 3 compreendem 4 grandes domínios ou níveis: material, conceitual, epistemológico interno e epistemológico derivado. O domínio material é o conjunto de objetos referentes a cada disciplina, por exemplo, números, funções, objetos físicos ou biológicos, energia, operações mentais, classes sociais, etc. O domínio conceitual é o conjunto de teorias ou conhecimentos sistematizados elaborados por cada ciência sobre o seu domínio material. O domínio epistemológico interno é a análise dos fundamentos de cada disciplina, isto é, a crítica ao aparato conceitual e as teorias do seu domínio conceitual.



Figura 4: Domínio Epistemológico Interno

Na figura 4, o domínio epistemológico interno é mostrado como um processo de feedback para melhoria dos resultados obtidos. E o domínio epistemológico derivado é a análise das relações entre o sujeito e o objeto de conhecimento, ou seja, é o marco epistemológico mais geral dos resultados obtidos por cada disciplina, comparando-as com as de outras ciências.

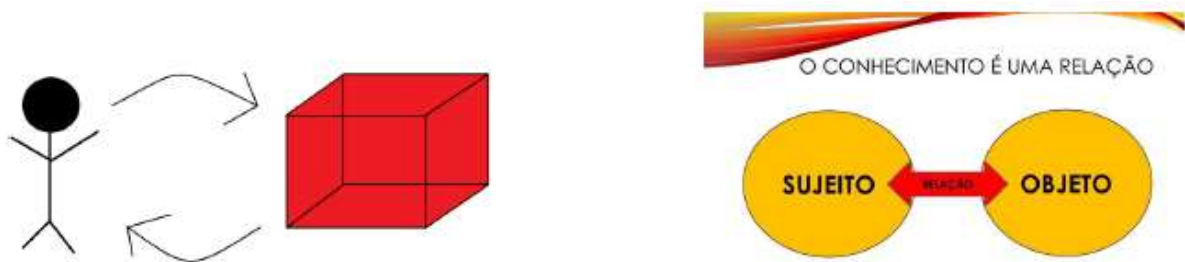


Figura.5: Domínio Epistemológico Derivado

A figura 5, nos mostra que a relação entre o sujeito e o objeto de conhecimento representa o conhecimento construído, portanto neste domínio são realizadas as análises destes conhecimentos. As relações entre os subsistemas de um sistema complexo adquirem importância fundamental não apenas porque, elas determinam a estrutura do sistema complexo, mas também porque o sistema deve incluir os elementos entre os quais as relações mais significativas foram detectadas. Um grande número de propriedades de um sistema é determinado por sua estrutura e não por seus elementos. As propriedades dos elementos determinam as relações entre eles e, conseqüentemente, a estrutura. Mas as propriedades dos elementos e as propriedades da estrutura correspondem a dois níveis diferentes de análise.

A estrutura de um sistema complexo é o conjunto de relações de um sistema organizado que é mantido em condições estacionárias (para certas escalas de fenômenos e escalas de tempo), através de processos dinâmicos de regulação. São as propriedades estruturais do sistema que determinam a sua estabilidade ou instabilidade com relação a certos tipos de distúrbios. A instabilidade é, por sua vez, associada aos processos de desestruturação e reestruturação do sistema. São esses processos, e não a própria estrutura, que constituem o objetivo fundamental da análise. A figura 6, mostra os principais componentes de um sistema complexo, entre as quais sua estrutura.

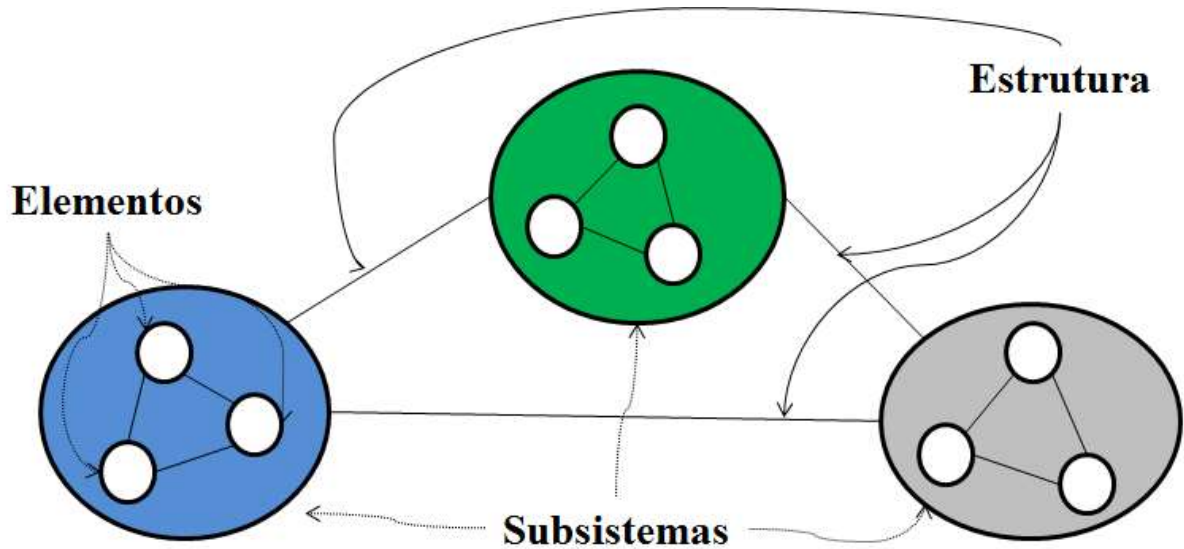


Figura 6: Elementos, subsistemas e estruturas

O estudo de um sistema complexo envolve suas partes, suas inter-relações e suas interações com outros fenômenos ou processos, além dos elementos que intervêm nele (processos sociais, econômicos, políticos, etc). A estrutura epistêmica é uma concepção de mundo expressa por um conjunto de questões relacionadas com o domínio da realidade estudado e que definem os objetivos da pesquisa. A figura 7, é uma representação ilustrativa do conjunto de questões da estrutura epistêmica e demonstra o seu possível caráter coletivo.



Figura 7: Ilustração representativa do conjunto de questões da estrutura epistêmica.

A definição adequada de um sistema complexo só pode surgir no decorrer da própria investigação. Ela é obtida através da observação dos seguintes elementos: dados, observáveis e fatos. Os dados são objetos puros, sem um contexto social, captados pela observação sensorial. Os observáveis são objetos contextualizados. São formas de organização dos dados das experiências elaboradas em níveis anteriores. E os fatos são as relações entre os observáveis. Na figura 8, são apresentados exemplos de observáveis (distância e tempo) e uma relação entre eles (velocidade média).



Figura.8: Fato e Observáveis.

Enquanto alguns observáveis são organizados como tais muito cedo e são a base da experiência comum de todos os indivíduos, outros são organizados posteriormente, e outros requerem um alto grau de sofisticação das teorias científicas. Denominamos de domínio empírico a delimitação do campo empírico, isto é, os dados da experiência que serão privilegiados ou destacados pela pesquisa. E o papel desempenhado pelas teorias não se limita à sua relação com os observáveis e fatos. Sua função consiste em tornar inteligíveis os fatos, organizá-los, hierarquizá-los e “explicá-los”, estabelecendo relações causais entre eles.

Investigar um sistema complexo significa estudar um “pedaço da realidade” que inclui aspectos físicos, biológicos, sociais, econômicos e políticos. Sendo assim, existem várias formas de abordar esses sistemas, dependendo dos objetivos de cada pesquisa. Porém, uma vez estabelecidos os objetivos de uma pesquisa, não é uma tarefa fácil definir com precisão o sistema complexo envolvido. Eles carecem de limites precisos, tanto em sua extensão física quanto em sua problemática. Portanto, é inevitável que limites mais ou menos arbitrários sejam estabelecidos para o seu estudo. Isso levanta dois problemas relacionados: a definição dos limites de forma a minimizar a arbitrariedade no corte adotado; o modo de levar em conta as interações do sistema, assim definidas, com o “ambiente externo” ou, em outras palavras, a influência do que permanece “de fora” sobre o que está “dentro” do sistema, e reciprocamente.

O termo “limite”, assim como seus correlativos “dentro” e “fora”, inclui também a problemática que será estudada e o aparato conceitual que é tratado, bem como o tipo de fenômenos com suas escalas espaciais e temporais. Eles podem ser estabelecidos entre formas de produção, organização econômica ou culturas que coexistem, algumas das quais não são relevantes para o estudo ou são menos relevantes e, portanto, podem ser deixadas de “fora”. Deixar de “fora” dos limites do sistema não significa necessariamente deixar fora de consideração. Nos casos em que o que estava “de fora” interage de alguma forma com o que estava “dentro”, sua ação é levada em conta através das condições de contorno ou condições nos limites. Tais condições são especificadas na forma de fluxos (de matéria, energia, créditos, informação, etc.). O fator mais importante que deve ser levado em conta no estudo desses fluxos é a velocidade de mudança. Na Figura 9, nós exemplificamos um sistema complexo interagindo com o ambiente “externo”.



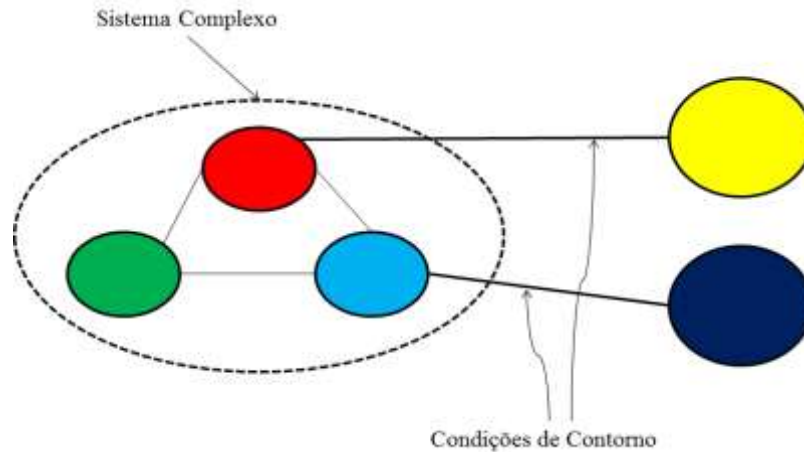


Figura 9: O sistema complexo e o ambiente “externo”

A velocidade da mudança está intimamente relacionada com a escala de tempo dos fenômenos que desejamos estudar. Mudanças nas condições nos limites que são muito lentas com relação a essa escala de tempo podem ser representadas, inicialmente, como constantes. Se, pelo contrário, as condições variam ou flutuam significativamente dentro dessa escala, é necessário estudar cuidadosamente essas variações, pois elas podem determinar reorganizações mais ou menos profundas do sistema como um todo.

Os processos descrevem as mudanças que ocorrem em um sistema complexo e são fundamentais para a análise da dinâmica destes sistemas. Certos processos podem ser chamados de básicos ou de primeiro nível. Eles geralmente constituem o efeito local no ambiente físico ou na sociedade que o habita e explora, de processos mais amplos que ocorrem em outros níveis. A identificação dos processos que serão classificados como básicos em uma determinada pesquisa, depende fundamentalmente do arcabouço epistêmico que a orienta (pesquisa), bem como a delimitação do seu domínio empírico. Em geral, os estudos correspondentes ao primeiro nível constituem análises complexas de natureza diagnóstica, que buscam descrever a situação real e suas tendências. Tais análises incluem observações, medições, pesquisas, entrevistas, etc., dependendo das áreas de trabalho e da metodologia particular das diferentes disciplinas envolvidas no estudo. Um segundo nível corresponde a processos mais gerais que chamaremos de meta-processos e que governam ou determinam os processos básicos. Os meta-processos podem, por sua vez, ser determinados por processos de terceiro nível. Na figura 10, processos dos 3 níveis são demonstrados a partir de relações causa-consequência. Neste contexto, o processo de erosão (1º nível) é mostrado como uma consequência de técnicas agrícolas defasadas (2º nível), que por sua vez seria empregada devido à uma política agrícola nacional errada.



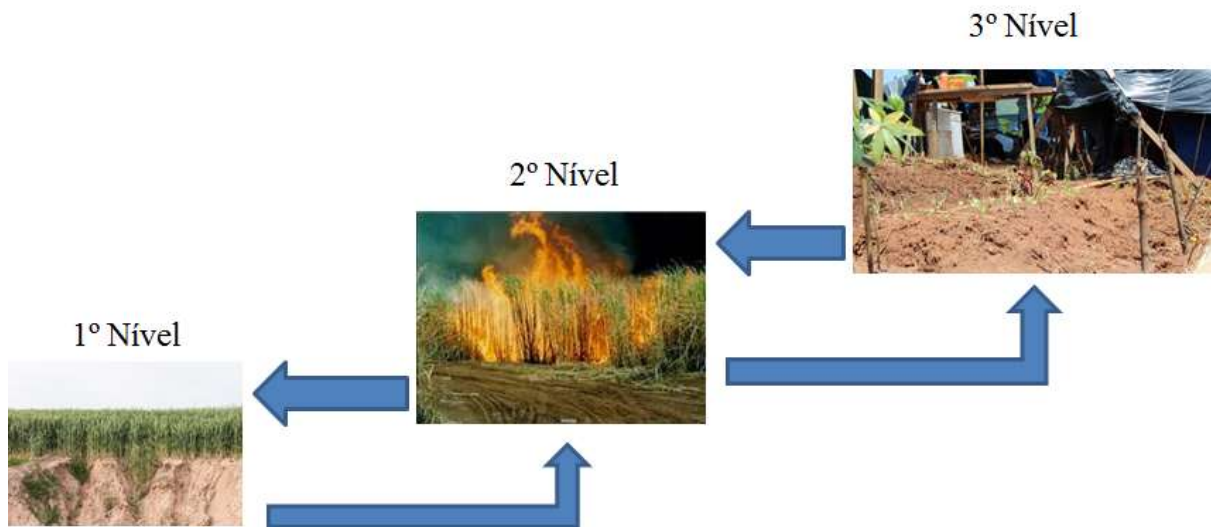


Figura 10: Processos e Níveis

Sistemas complexos são sistemas abertos, ou seja, não são estáticos, não têm estrutura rígida, não têm limites bem definidos e fazem trocas com o ambiente externo. No entanto, quando as condições de contorno sofrem pequenas variações em relação a um valor médio, o sistema permanece estacionário, isto é, as relações entre seus elementos flutuam, sem que a sua estrutura seja transformada. Na figura 11, temos a representação de um sistema aberto e suas trocas com o meio externo.

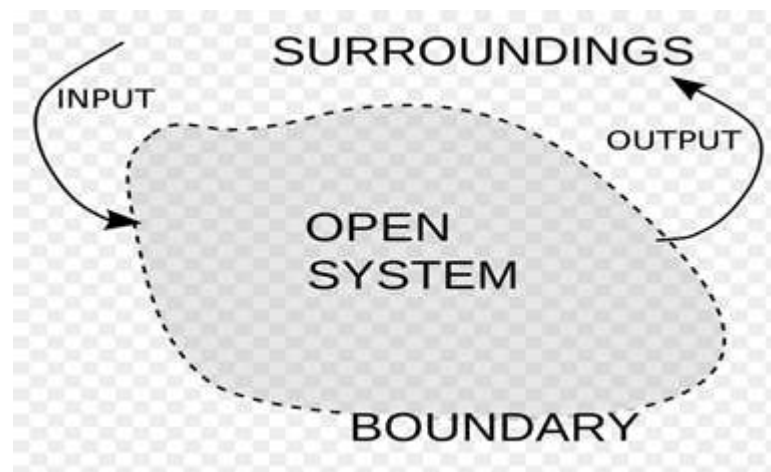


Figura 11: Sistemas Abertos

Os estados estacionários são importantes devido a natureza unificadora de sistemas que pertencem aos domínios de diferentes disciplinas, sem no entanto, reduzir os estudos dos fenômenos de um domínio aos dos outros domínios. É, pelo contrário, estudar os fenômenos dentro de seu próprio domínio, com suas características específicas. Mas permite que mecanismos comuns aos diversos sistemas e que correspondem às propriedades estruturais sejam descobertos. Esses mecanismos comuns permitem compreender o estudo da evolução de sistemas complexos, considerados como um todo, apesar da heterogeneidade de sua composição que inclui elementos físicos, químicos, biológicos e sociais. Assim, as tentativas

de integração interdisciplinar dos estudos adquirem novas possibilidades. Dois tipos de estados estacionários devem ser distinguidos: aqueles que correspondem a situações de equilíbrio e aqueles que, longe do estado de equilíbrio, permanecem estacionários devido às ações de trocas com o meio. As figuras 12 e 13 mostram exemplos de estados estacionários citados.

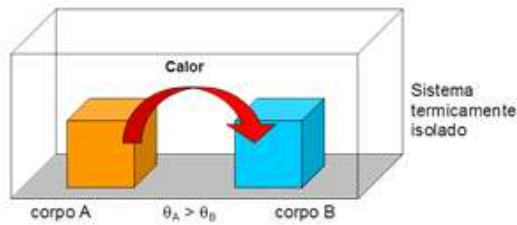


Figura 12: Situação de equilíbrio

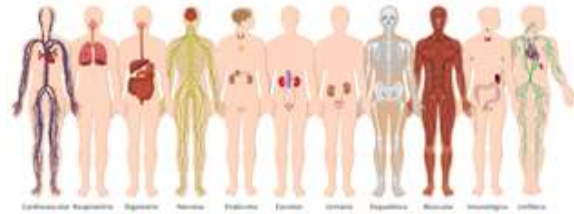


Figura 13: Troca com o meio externo

Na figura 12, nós temos um exemplo de sistemas isolados em equilíbrio termodinâmico. O fato de estarem isolados significa que não existem trocas com o meio externo e, portanto, trata-se efetivamente de uma situação de equilíbrio. E na figura 13, são mostrados diversos sistemas que compõem o corpo humano. Para se manterem estacionários, esses sistemas precisam realizar trocas com o meio externo.

Todo sistema aberto (auto-organizado) está sujeito a perturbações que podem ser de escalas muito diferentes. Essas perturbações podem ser de natureza exógena que são traduzidas em modificações nas condições de contorno, ou de natureza endógena que são modificações de alguns dos parâmetros que determinam as relações dentro do sistema. Se, para certa escala de perturbações, estas modificações oscilam dentro de certos limites sem alterar a estrutura do sistema (resiliência), o sistema é dito estável em relação à referida escala de perturbações. Nestes casos, os distúrbios são amortecidos ou incorporados ao sistema, mas quando nenhuma das duas alternativas ocorre, o sistema não pode absorver a perturbação, por isso, torna-se instável e ocorre a perturbação de sua estrutura e este processo é chamado de desestruturação. A evolução dos sistemas complexos, após ultrapassar o limiar de instabilidade, pode variar de maneiras diferentes. Uma situação importante ocorre quando a instabilidade é desencadeada por uma ação que corresponde a uma modificação das condições de contorno. Sob essas novas condições de contorno, o sistema se reorganiza até adotar uma nova estrutura que permanece estacionária enquanto não forem alteradas por uma nova perturbação.

## 2.2 SISTEMA COMPLEXO ADAPTATIVO

A complexidade oferece uma nova forma de olhar e vislumbrar os sistemas que possuem comportamentos perplexos (os quais muitas vezes rotulam-se por caos e desordem), porém através do olhar complexo, assumem formas incertas que remetem e convidam adaptações – por isso a não-linearidade e interações contínuas, permitindo assumirem uma conotação de incompletude.

Para a compreensão e a existência dos sistemas complexos, os relacionamentos tornam-se primordiais. Os elementos (ou agentes) que os constituem são independentes, porém

interligados a outros agentes (por exemplo, colméias de abelhas). Tais agentes podem ser uma pessoa, uma célula ou uma organização, onde suas reações, muitas vezes imprevisíveis e subestimadas, influenciam todo o sistema, uma vez que a interligação se faz presente. Desta forma, as interligações são essenciais, pois permitem um vasto sistema de resposta adaptativa em um curso, proporcionando que as interconexões tornem o aprendizado e co-evolução possíveis [CHAFFEE, 2007] e criativos.

Em um sistema complexo adaptativo regido por regras simples não existe a possibilidade de controle por uma autoridade central, pois se caracteriza por auto-organização, assumindo um movimento não-linear e dinâmico que oportuniza a manifestação de comportamentos emocionantes e inovações, oferecendo assim múltiplos caminhos criativos para a realização das ações.

As fronteiras entre os elementos são porosas e encontram-se mal definidas; portanto, permitem troca, interação [MINAS, 2005]. Neste comportamento, emergem fenômenos imprevisíveis, resultantes das interações e da auto-organização dos agentes que o constituem. Estas relações estabelecem-se entre os agentes e entre suas interações com o ambiente.

## 2.3 A CONSTRUÇÃO DO SUJEITO EPISTÊMICO NA CONCEPÇÃO DE ROLANDO GARCIA.

Segundo Garcia (2002), a construção do sujeito epistêmico depende, não somente de fatores biológicos e psicológicos, citados até então por Piaget, mas também de fatores sociais em mesmo grau de interferência das estruturas cognitivas, o tornando um sistema complexo.

Rolando percebeu a necessidade de trabalhar a teoria da epistemologia como ciência, uma vez que o tema passou a ser tratado como instrumento de explicação causal de acontecimentos históricos, físicos e matemáticos.

Em sua literatura, Rolando descreve a construção do sujeito epistêmico como um sistema complexo, que possui fatores Endógenos e Exógenos colaboradores de sua desestruturação e reestruturação. Uma vez que o sistema entra em equilíbrio, ele pode à qualquer momento sofrer uma perturbação causada no ser humano pelo contato com um novo objeto de conhecimento, até que essa perturbação atinja um grau de desequilíbrio do sistema, provocando a assimilação e uma nova acomodação da estrutura.

### 2.3.1 Introdução epistemologia e teoria do conhecimento

As explicações elaboradas pela filosofia especulativa perderam força frente às explicações das ciências o que o autor chama de “colapso epistemológico”. Piaget concorda com os empiristas que a filosofia não tem poder de elucidar os problemas de fundamentação do conhecimento, mas discorda da proposta empirista e particularmente da teoria do significado sobre a qual aquela se baseia. Segundo Piaget o empirismo não pode mostrar empiricamente a sua posição.

O empirismo entrou em crise em meados do século 20. A crise foi declarada do próprio coração da escola empirista. Ninguém pode ignorar as extraordinárias realizações da escola

empirista. O autor chama isso de segundo colapso epistemológico do século 20. Assim como a filosofia teve que renunciar, no princípio do século 20, a ser quem explicaria os conceitos básicos da ciência, da mesma forma, o empirismo científico teve que renunciar a ser aquele que fundamentaria as bases do conhecimento comum.

Piaget propõe o estudo dos mecanismos de desenvolvimento dos conhecimentos. A teoria do desenvolvimento cognitivo levantada a partir da epistemologia e baseada nos resultados empíricos da investigação psicogenética e a análise histórico-crítica dos conceitos e teorias se constituiu na primeira teoria do conhecimento, científica e integrada, na história do pensamento.

### **2.3.2 Proposta construtivista do problema do conhecimento**

**Conceito de complexo cognitivo:** Designa uma totalidade relativa, constituída por uma seleção (recorte) de elementos que a sociedade vincula com a noção (vagamente concebida) de conhecimento e que se expressa tanto na linguagem comum no meio educativo e acadêmico.

**Continuidade funcional:** O rechaço das posições empiristas e aprioristas implica, portanto, renunciar à busca de um “ponto de partida” absoluto para o conhecimento. Se não há um fator específico (intuições, sensações) a partir do qual se elabora o conhecimento, tampouco se pode estabelecer um momento preciso em que “começa” a atividade cognitiva.

Se não há ponto de partida, tampouco pode haver ponto de descontinuidade funcional nos processos cognitivos da criança ao adolescente, do adolescente para o adulto pré-científico (que se utiliza de linguagem comum) deste para o adulto que atua nas mais altas esferas das teorias científicas.

**Generalidade dos mecanismos construtivos:** Decorre da continuidade funcional que os mecanismos de aquisição do conhecimento devem ser comuns a todas as etapas de desenvolvimento, em crianças, adolescentes, adultos e adultos nos níveis mais altos de ciência.

**Significados de estrutura e lógica para Piaget:** Para se ter uma compreensão completa da epistemologia construtivistas, é preciso ressignificar “estrutura” e “lógica”. Lógica significa a “lógica do sujeito” e não a lógica formal.

### **2.3.3 O conhecimento como sistema complexo**

Sistemas complexos são sistemas não decomponíveis ou semi decomponíveis onde as partes interagem de maneira que não se pode separá-las. Não pode ser descrito ou explicado pela mera adição de enfoques parciais provenientes de estudos independentes de cada um de seus componentes.

O estudo de um complexo empírico não analisa todos os elementos do complexo. Faz-se abstrações onde se consideram alguns aspectos do sistema e outros não. A observação se baseia em dados, observáveis (interpretação do dado) e processos (série de mudanças que constituem o curso de ação de relações que designam como “causais” entre eventos naturais ou produzidos pela intervenção humana, relações estas estabelecidas sobre a base de inferências).

Sistema: construção conceitual produzida pelo pesquisador, com a qual representa o que considera ser as atividades mais significativas incluídas no complexo empírico (neste caso, o complexo cognitivo). Construir um sistema significa escolher os elementos abstraídos do material e identificar (inferir) um certo número de relações entre esse conjunto de elementos. O conjunto de relações constituirá a estrutura do sistema.

Com os mesmos elementos, diferentes sistemas podem ser construídos. Em geral, se trata de sistemas cujas estruturas diferem à medida que é diferente o conjunto de relações considerado. A relação depende dos objetivos da pesquisa e estará determinada pelas perguntas específicas formuladas sobre o tipo de situações estudadas.

As perguntas não surgem de um pesquisador neutro, mas envolvem sua concepção do mundo e da sociedade, que é denominado “marco epistêmico”.

### **Princípios de organização:**

**1. Estratificação:** A forma característica dos sistemas complexos responde ao que se chama de “o princípio de estratificação”, ao apresentar uma disposição de seus elementos em níveis de organização com dinâmicas próprias, mas interatuantes entre si.

**2. Interação entre níveis:** Para determinado nível, as interações com os outros níveis podem ser representadas como fluxos de “entrada” e “saída”, não necessariamente materiais. As condições de contorno não determinam, necessariamente, os processos que ocorrem no nível de referência, mas têm papel decisivo em condicionar a geração e as modalidades de evolução dos processos de mudança. O fato de que cada nível tenha sua dinâmica própria responde às características dos elementos que integram cada um deles. Dinâmica própria não significa completa autonomia. Essa semi-autonomia é chamada de desacoplamento de níveis.

**3. Articulação interna:** em cada nível os elementos podem-se agrupar em “subsistemas” constituídos por aqueles elementos que têm maior grau de interconexão entre si com os demais. Esses subsistemas funcionam como “sub-totalidades” que se articulam por relações cujo conjunto constitui a estrutura do nível.

Os elementos que constituem a base do sistema (variáveis do sistema) com suas estruturas características durante um determinado período de tempo não são estáticos, mas flutuam permanentemente sob a influência de elementos que ficaram “fora do sistema” (condições de contorno do sistema). O sistema pode sofrer dois tipos de influências: flutuações de pequena escala que induzem pequenas mudanças, mas não alteram as relações fundamentais que caracterizam a estrutura e flutuações que produzem quebra da estrutura (a quebra da estrutura depende da magnitude da flutuação e das propriedades intrínsecas da estrutura designadas como condições de estabilidade do sistema).

### **Propriedades estruturais de um sistema complexo:**

- Estabilidade
- Instabilidade
- Vulnerabilidade
- Resiliência

Princípios de continuidade do sistema: ajuste mútuo das escalas espaciais e temporais dos fenômenos que têm lugar nos diversos níveis e a totalidade deve ter mais estabilidade que as partes.

### 2.3.4 Construção do sistema cognitivo

Piaget reconheceu que sua teoria da equilibração precisava ser revisada. A nova proposta de Piaget está restrita ao nível da psicogênese infantil e que a validade das conclusões não parece ser imediatamente generalizável a outros níveis. Por outro lado, a fundamentação mesma dos mecanismos deixa muitas dúvidas.

Não se trata de fazer uma transposição literal dos resultados das equações diferenciais não-lineares aos processos cognitivos. Mas sim, explorar, com esses instrumentos de análises, sistemas que pertencem a campos físicos, químicos, biológicos, sociais, econômicos e que admitem modelizações com certa precisão.

O sistema geral do conhecimento (sistema cognitivo) pode-se considerar constituído por três subsistemas: biológico, psicológico e social. O sistema assim integrado entra na categoria de sistema complexo semi decomponíveis: cada um dos três subsistemas corresponde a um nível de organização com sua dinâmica própria, semi-autônoma, no sentido de que o funcionamento de cada nível pode estar condicionado ou modulado pelos dois outros níveis.



Figura 14: Subsistemas no sistema cognitivo

### Os processos cognitivos

O ponto de partida no nascimento do ser humano como organismo (totalidade biológica estruturada) como um sistema aberto cuja perduração (conservação) depende das interações com o meio. Esse organismo tem certas possibilidades de atuar sobre o meio bastante limitadas. O exercício dessas atividades Piaget chamou de esquemas de ação. Os esquemas são engendrados pela repetição da ação (ações elementares são: olhar, pegar, chupar e se movimentar). Os movimentos, inicialmente de aparência caótica, vão se ordenando paulatinamente. Logo se regularizam e vão se repetindo de forma coordenada. Esses movimentos já organizados com um determinado objetivo constituem os esquemas de ação.

O processo cognitivo mais básico e geral é a assimilação de objetos aos esquemas de ação. Frente a diversos objetos, a assimilação aos próprios esquemas requer, por sua vez, a acomodação dos esquemas às propriedades dos objetos. Por outro lado, os esquemas não permanecem isolados, e as coordenações de esquemas conduzem a novas assimilações. Assim, as assimilações cognitivas envolvem tanto a construção de novos esquemas como a acomodação dos anteriores e de suas coordenações.

A epistemologia construtivista encontra aqui sua base: a raiz biológica, puramente orgânica; a raiz orgânico-psicológica (as coordenações das ações) e a raiz empírica (o “mundo” em que se exercem as ações), conforme mostra a figura 14.

O grande progresso cognitivo que realiza uma criança, e que a psicologia genética tratou de decifrar, consiste em poder passar do “empurrei e se mexeu” a “se eu empurro, se mexe”. No primeiro caso trata-se de uma constatação, posterior a ação, que consiste em relacioná-la com uma observação (o que virá a ser a relação causal). No segundo, se estabelece uma relação entre ações, sem que haja uma observação correspondente, o que se constitui uma inferência.

As relações causais conduzirão à geração das ciências empíricas. As relações lógicas se desenvolverão até serem independentes de todo o conteúdo e chegarão a constituir a lógica formal e as matemáticas.

A atividade cognitiva do sujeito consiste, desde o começo, na organização de suas ações, na “construção” de formas organizativas de suas próprias ações, que lhe permitam ir incorporando novos elementos do entorno, os quais irão adquirindo novas significações.

A organização pela criança das interações com novos objetos e situações que se apresentam em sua experiência se realiza através de transferências de formas (esquemas de ação que se desprendem dos conteúdos). Isso evidencia alguns aspectos da atividade do sujeito que serão a base de toda futura construção cognitiva e o embrião ou os elos iniciais da cadeia que levará aos altos níveis de conceitualização, como postula a tese de continuidade.

Dado um conjunto de cinco objetos, o sujeito pode concentrar sua atenção numa propriedade física, como a cor ou o tamanho, e considerá-la separadamente das demais propriedades, o que é uma abstração de tipo empírico. Mas contar os objetos do conjunto, e concluir que são cinco, é agregar ao conjunto uma propriedade que não está nos objetos, mas resulta de uma operação do sujeito que consiste em pôr os objetos em correspondência biunívoca com a série de números (ou com os dedos da mão), o que é uma abstração reflexiva. A reflexiva é mais complexa pois aplica-se em dois sentidos diferentes: reflexiva (forma uma imagem de algo em uma superfície) e reflexionante no sentido de refletir (considerar detidamente uma coisa).

Generalização por sua vez pode ser indutiva ou extensional que é o processo que se baseia em constatação de observáveis referidos a objetos externos ao sujeito, de que, por abstração empírica, se extrai a propriedade que será objeto de extrapolação de alguns a todos ou de até agora para sempre. E a generalização construtiva ou completiva que consiste em progressiva substituição de constatações de fatos e de seus resultados obtidos através de abstrações empíricas, por reconstruções que implicam inferências e põem em jogo novas formas de organização que resultam num conjunto de relações encadeadas dedutivamente. É feita com base na abstração reflexiva.

Tal desenvolvimento supõe um processo de sucessivas diferenciações e integrações.

Os processos construtivos podem resumir-se em atividades inter-relacionadas: comparar e transformar.

Comparar é estabelecer correspondências, mas a correspondência não é uma simples relação. A comparação requer que a ação seja repetida.

Por outro lado, a atividade assimiladora do sujeito que confere significação ao objeto, os compara e estabelece correspondências, consiste em atuar sobre eles e, portanto, os modifica, os transforma.

Um primeiro momento consiste em comparação de objetos através de constatações empíricas. Em um segundo momento as transformações ligadas às ações materiais podem ser inferidas, e a relação se inverte no sentido de que as correspondências se explicam (ou se tornam evidentes) a partir das transformações.

O exemplo clássico é a tábua de Mendeleiev (tabela periódica), resultando da ordenação laboriosa de dados empíricos sobre elementos químicos e que pôde ser explicada pela teoria atômica. A teoria não só permitiu deduzir a ordem de outros elementos que ainda não tinham sido descobertos e que ocuparam logo os lugares vazios na tabela.

O estudo do desenvolvimento cognitivo requer distinguir dois tipos de processos que vão se diferenciando e terminam por constituir fases construtivas com dinâmicas particulares: fases organizativas, que, em níveis superiores, serão fases estruturantes e fases organizadas, que correspondem a períodos nos quais se podem reconhecer estruturas mais ou menos estabilizadas (fases estruturadas). O processo de criação dos esquemas de ação como síntese dessas fases pode ser visto na figura 15.

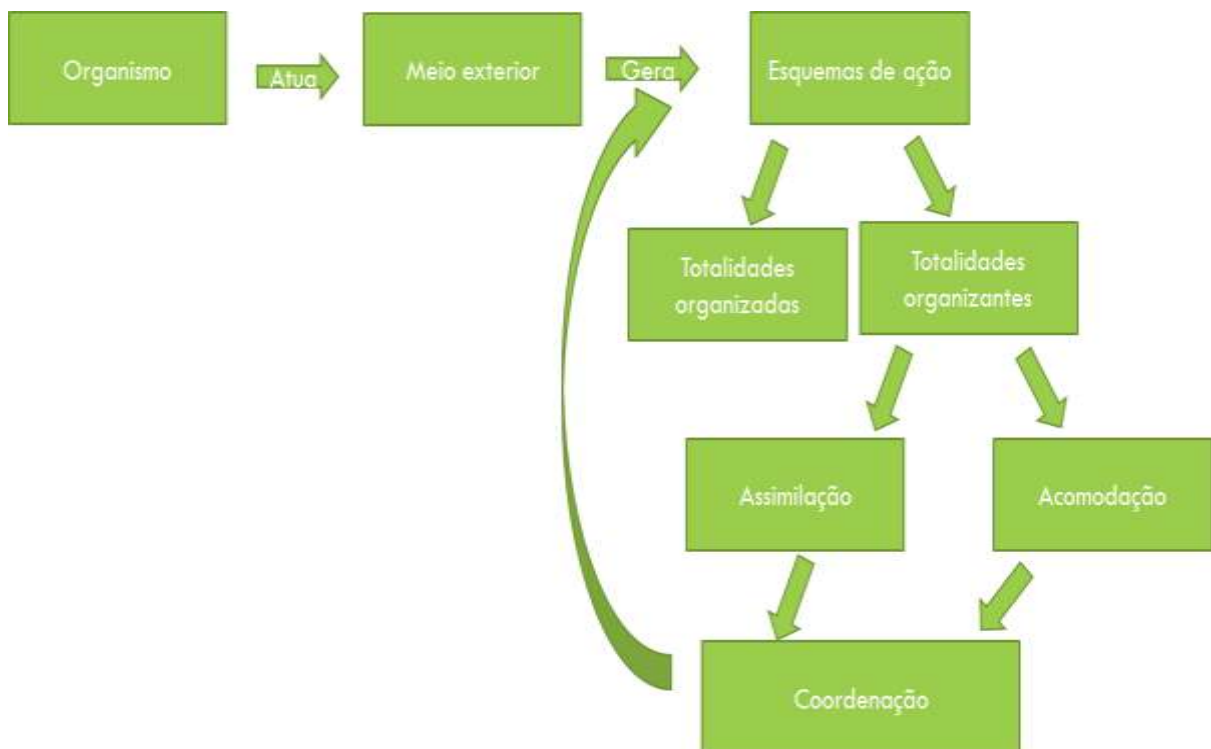


Figura 15: Processo de criação de esquemas de ação



O desenvolvimento do conhecimento consiste, portanto, em duplo processo construtivo:

- A organização das próprias atividades do sujeito, que começa com a coordenação de suas ações, continua com o desenvolvimento dos mecanismos construtivos do conhecimento e culmina na lógica, isto é, nas formas dedutivas e os reforças.
- A organização do material empírico, que começa com a atribuição de significados, continua com comparações que conduzem a correspondências e transformações elementares e culmina na interpretação de fenômenos estabelecendo relações causais.

Esse desenvolvimento pode é mostrado nas figuras 16 e 17.

### Dinâmica dos processos construtivos

Nenhum deles (elementos inatos de origem biológica, provenientes da experiência, os que dependem da influência do meio social), segundo Piaget, são suficientes para explicar o desenvolvimento cognitivo e embora sejam irredutíveis e interdependentes dependem de um quarto fator também irredutível: o fator de equilíbrio, mais geral que os primeiros, mas que os condicionam.

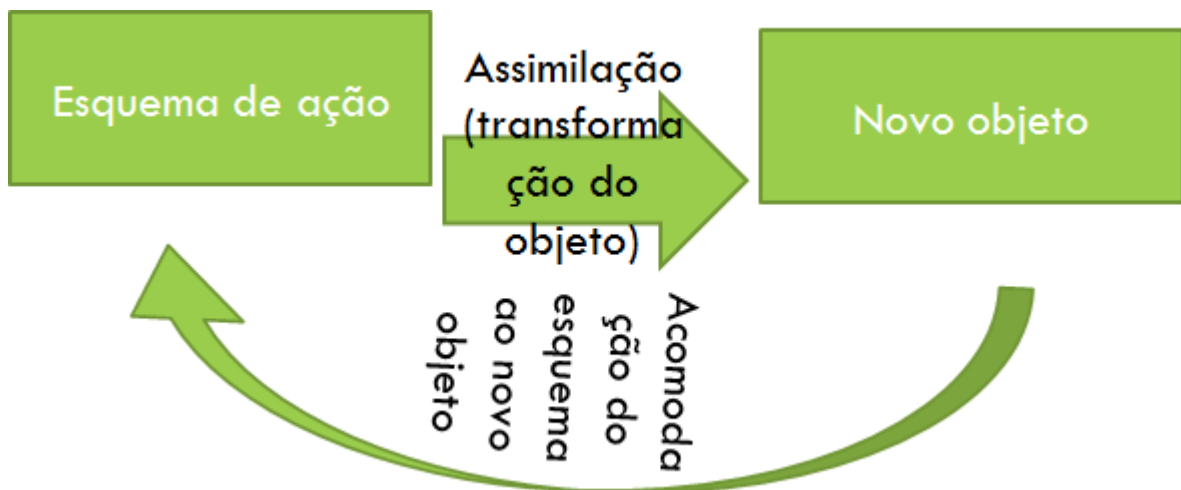


Figura 16 - Assimilação e acomodação

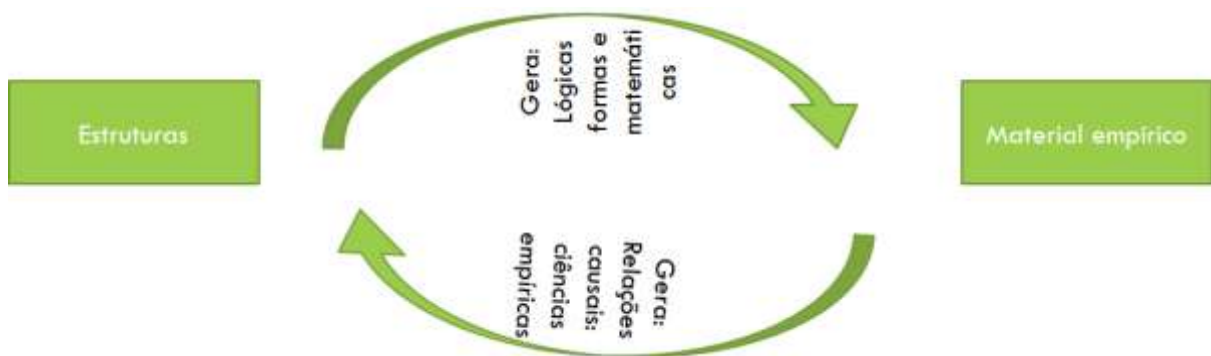


Figura 17: Relação de estrutura e material empírico com o processo cognitivo

A equilibração se apresenta como resultante de um jogo de regulações, definidas como compensações parciais que têm por efeito moderar as transformações, por retroação ou antecipação.

Se utilizamos a designação genérica de “estrutura” para os tipos de organizações que começam incipientes como formas e se desenvolvem até chegar às estruturas lógicas e lógico-matemáticas, podemos designar os dois tipos de períodos como “estruturados” e “estruturantes”, respectivamente. A transição de um tipo de período a outro se produz por processos de desestabilização ou desequilíbrio e processos de estabilização e reequilíbrio.

Em níveis mais avançados, a partir do momento em que se pode considerar organizações “estruturadas”, e daí até as teorias científicas, os processos de ambas as categorias (estruturantes e estruturadas) se sucedem alternadamente e apresentam modalidades bem diferentes.

Os processos de mudança (períodos estruturantes, processos de reequilíbrio) ocorrem em contraposição com os processos de permanência (períodos estacionários, organizações estáveis).

As reorganizações que constituem o processo geral do desenvolvimento do conhecimento ficam claramente divididas em dois tipos de etapas ou fases:

a) fases estabilizadas, nas quais o sistema interno de relações é interpretável em termos da lógica formal. Há por conseguinte dedutibilidade entre as partes do sistema. Isso é óbvio no nível de teorias científicas, logo, a psicologia genética o evidenciou com os famosos estádios piagetianos, como é mostrado na figura 18.

b) fases de desenvolvimento construtivo, nas quais os raciocínios envolvidos são constituídos por inferências dialéticas.

Os Obs O surgem em cada nível do processo de assimilação. Esse processo consiste em incorporar os dados provenientes dos objetos (no sentido amplo de “objetos de conhecimento”) aos esquemas de ação e esquemas conceituais, com acomodação desses esquemas às propriedades do objeto. Essa é a primeira forma de equilibração, entre os “fatos” obtidos por abstração empírica e generalização indutiva de formas exógenas, por um lado, e atividade endógena, por outro, consistente nas coordenações inerentes à formação e acomodação dos esquemas do sujeito. Até aqui, o processo está centrado nas propriedades do objeto e constitui-se na etapa intra-operacional (Ia).

A etapa seguinte é caracterizada por abstrações reflexivas e generalizações completivas. As propriedades dos objetos são compreendidas como invariantes de transformações. Geram-se novos esquemas que entram em processos de assimilação recíproca e constituem no que podemos chamar de “subsistemas”, como formas mais ou menos estáveis de coordenações e transformações. A equilibração dos subsistemas leva à etapa Interoperacional (Ir).

Na terceira etapa, passamos do ato de compreender as propriedades como invariantes de transformações à concepção de uma estrutura total que as integra. Estamos na etapa Transoperacional (T) na qual o sistema de transformações é equilibrado como um jogo de variações intrínsecas dentro de uma totalidade caracterizada por processos puramente endógenos.

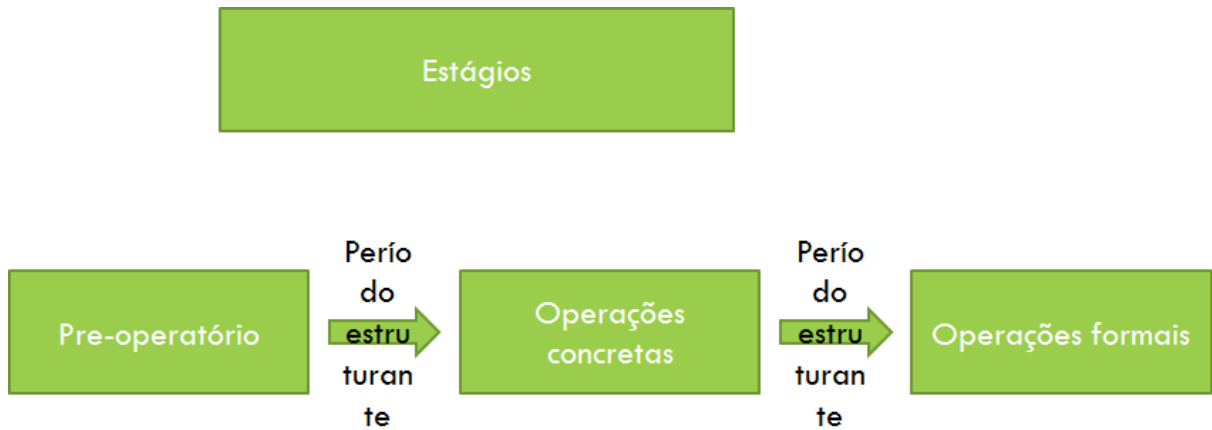
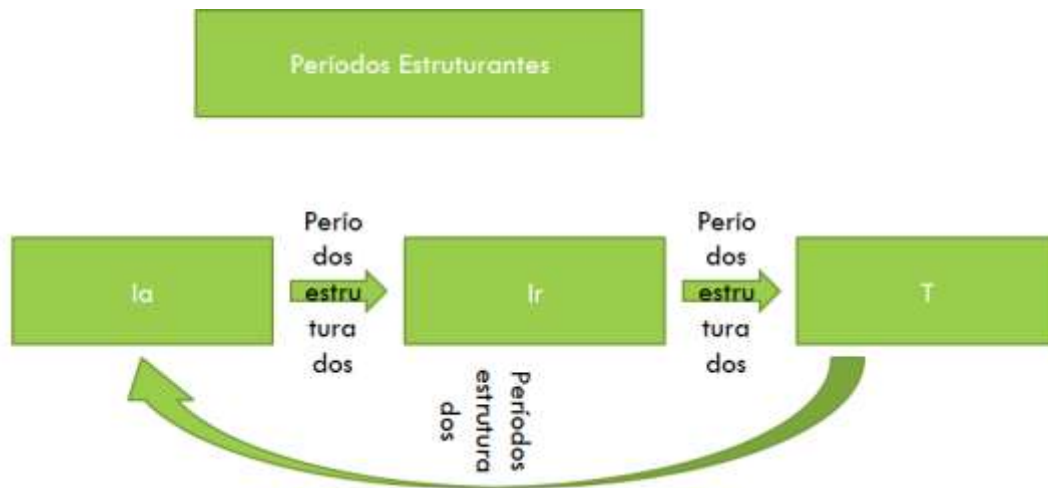


Figura 18: Estágios

A figura 19 mostra as fases envolvidas nos períodos estruturantes.



Ia => Consiste em incorporar os dados provenientes do objeto (propriedades

Ir => Abstração reflexiva e generalizações completivas. As propriedades do objeto são compreendidas como invariantes de transformações (transformação)

T => Concepção de estrutura total que a integra (estrutura)

Figura 19: Períodos estruturantes

O desenvolvimento pode assim ser visualizado como uma progressão que começa numa fase construtiva de fonte exógena (intra) e chega a ser endógena (trans), passando por uma fase de transição que pode-se chamar de exoendógena (inter). Essa progressão corresponde à passagem de propriedades a transformações e destas a estruturas, que constituem as sucessivas formas de organização dos conhecimentos.

A figura 20 mostra as fases envolvidas nos períodos estruturados.

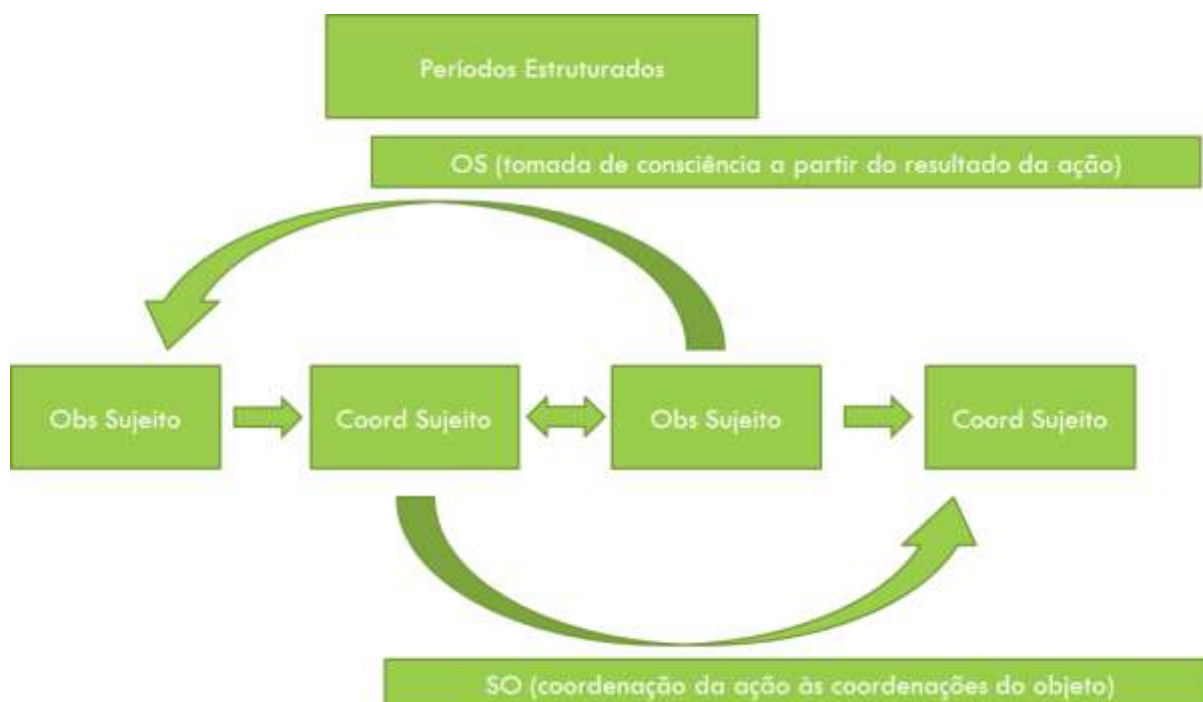


Figura 20: Períodos estruturados

O que se chamou “geometria dos fractais” não é uma raridade, mas se encontra normalmente nos fenômenos naturais. Não parece descabido, portanto, considerar que a sobreposição de etapas e subetapas das tríades IaIrT apresenta certa analogia com objetos fractais.

Piaget mostra como o sujeito (como sujeito do conhecimento) gera as estruturas lógicas a partir das coordenações de suas próprias ações, como formas de organização de suas interações com o objeto (como objeto do conhecimento) e como essas formas (estruturas), produto de ditas interações, se tornam independentes dos conteúdos, se coordenam entre si gerando novas formas em novas interações e se aplicam a novos conteúdos.

A teoria pode ser interpretada, então, como evidência de que a construção do conhecimento é o resultado de um equilíbrio entre as formas de implicação lógica que utiliza o sujeito em suas inferências e as relações causais atribuíveis aos objetos.

Os mecanismos de passagem são comuns à psicogênese e à história da ciência. A conclusão foi que havia dois grandes mecanismos gerais “que não são senão a mesma coisa, quanto à significação geral: a passagem do intra ao inter e senão daí ao trans, por um lado e, por outro, o mecanismo geral da equilibração”.

Em resumo, os elementos (agentes) que constituem a construção do conhecimento podem ser vistos na figura 21. A figura 22 mostra o diagrama de subsistemas do sistema cognitivo.

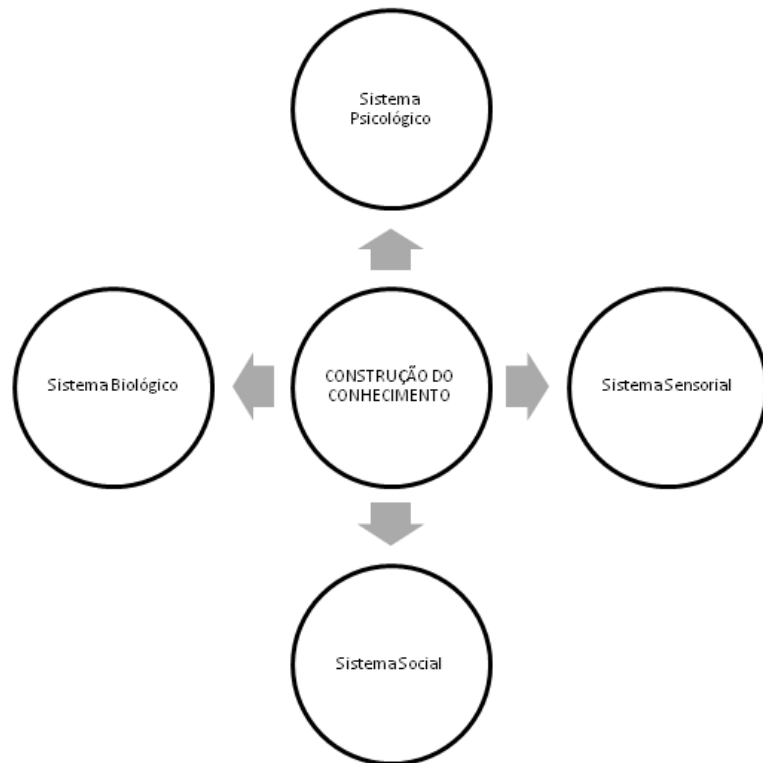


Figura 21: Modelo de elementos do sistema epistemológico

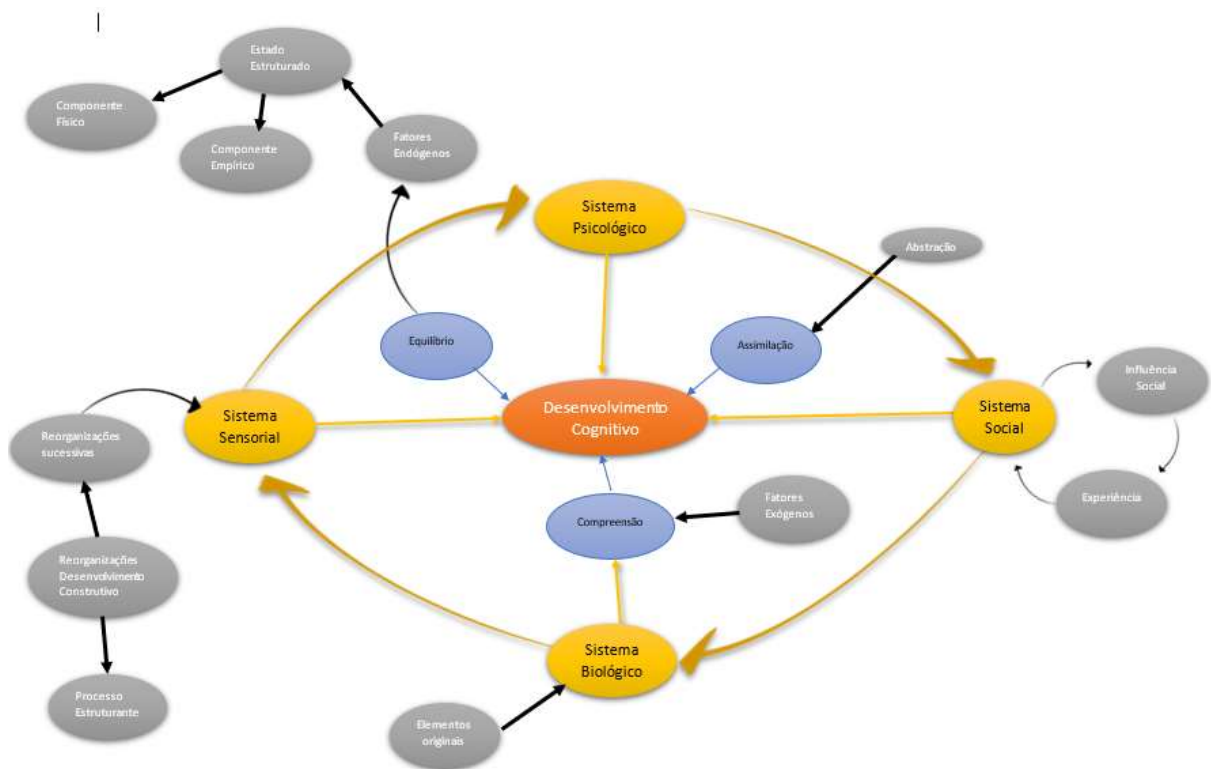


Figura 22: Diagrama de subsistemas do sistema cognitivo

## 2.4 CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE

É a forma tradicional de pesquisa. A investigação do mundo que nos rodeia em oposição a outras áreas como arte e religião que se baseiam em estética ou revelação. O método de investigação científica afirma ser baseado em princípios de dados empíricos, fatos. Ela transforma o mundo excessivamente mecânico. Para demonstrar, toma-se como base um quadro sistemático desenvolvido pela Física Newtoniana.

### **Dados + Hipóteses + Predição = Lei da Natureza**

O paradigma Newtoniano nos faz compreender que agora tudo é linear e padronizado. Esta é uma maneira de ver o mundo que descreve fenômenos como produtos das interações lineares de causa e efeito entre objetos isolados que são determinados por leis matemáticas. Resultando em um mundo mecânico. O MUNDO DO UNIVERSO RELÓGIO. Tal paradigma originou o método de investigação reducionista.

O reducionismo é o processo de quebrar fenômenos complexos em componentes simples que podem ser modelados usando equações lineares, conforme observado na figura 23, reunindo esses componentes individuais podemos entender todo sistema como simplesmente a soma de suas partes individuais.

$$X = Y+Z+H$$

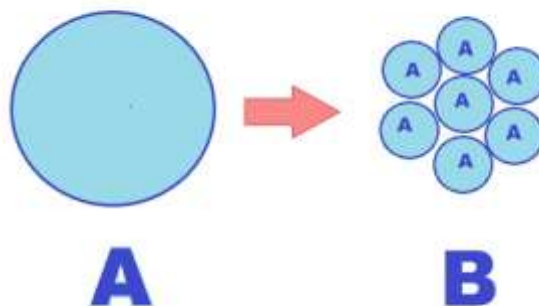


Figura 23: Quebra de fenômenos complexos em componentes simples

Na modelagem reducionista e hamiltoniana há a incapacidade de entender o todo, na questão instrumental, o instrumento muda a partir do pensamento, ou seja, o que o sujeito considera dentro e o que considera fora, são incorporados. Existem dois movimentos importantes o holismo e reducionismo que fazem trocas entre eles. Para tomar uma decisão dentro do sistema complexo há variáveis endógenas ou exógenas que coexistem a partir da relação de distância entre os dois.

A ciência reducionista tradicional usa principalmente modelos lineares e equações como base teórica. A ciência da complexidade, usa conceitos como adaptação, teoria de rede, auto-organização e evolução.

O novo quadro teórico está baseado em novos métodos como modelagem baseada em agente. Ao contrário de descrever os fenômenos que observamos pelas leis da natureza através de equações, a modelagem baseada em agentes possui uma abordagem de baixo para cima descrevendo-os como fenômenos emergentes da interação do nível local de agentes regidos por regras simples.

Ainda que para resolver um caso pontual, o sistema torna-se complexo ao passo que possui outros sistemas, com relações diretas e indiretas. É difícil trabalhar inicialmente com métodos, antes de pensar em sistemas complexos.

- **Sistemas não ordenados:**

Um conjunto de coisas sem estrutura específica ou ordem que possamos descrever simplesmente listando um conjunto com todos os elementos e propriedades. Não há padrão ou ordem.

- **Sistemas ordenados:**

Partes ordenadas de uma forma específica funcionando juntas como um conjunto.

Esses padrões geram uma propriedade multidimensional, compostos de muitos elementos em diferentes escalas com níveis afetando uns aos outros. Quando os elementos funcionam em conjunto é obtido um novo nível de organização.

- Sinergia
- Síntese

#### 2.4.1 As relações de parte e a teoria da complexidade

Propriedade multidimensional compostos de muitos elementos em diferentes escalas com os níveis afetando uns aos outros

Relações entre as partes dão origens a comportamentos coletivos de um sistema e como sistema interage

- Sinergia - Interações sinérgicas entre as partes que adicionam ou subtraem valor do todo organizacional
- Síntese - A combinação de elementos/componentes para formar um todo conectado.

**Emergência = emergir:** Exemplo Trânsito: várias pessoas dirigindo desordenadamente na ponte. Emerge o caráter de adaptabilidade. Uma vez que, ao deparar-se com um problema, o fluxo de trânsito sofre um impacto direto, cada motorista sofre impactos diretos e indiretos, a postura de direção sofre modificação (impacto), cria-se um novo fluxo para resolução do problema (adaptabilidade).

Não existem regras globais que regem todo sistema e sim regras locais que dão origem a uma organização emergente

### Sistemas

- Sistemas Abertos - Há troca de energia e recursos entre o sistema e o seu ambiente
- Sistemas Isolados – Não interagem com seu ambiente

Os sistemas se desenvolvem através da entrada e saída de energia /recursos, processam essa energia transformando para criar uma saída se essa saída for de algum valor positivo para seu ambiente ela pode ser denominada energia, se for negativa pode ser denominada entropia, entropia é falta de ordem desordem, desperdício.

Alinhamento/Encapsulamento - Podemos modelar sistemas em várias escalas, assim os elementos podem fazer parte de sistemas que são eles próprios parte de sistemas maiores. Nos ajuda a analisar o sistema em vários níveis.

### Características comuns a todos sistemas complexos adaptativos

**Inexistência de um sistema ótimo:** o que existe é uma grande variedade de organismos com diferentes comportamentos, que interagem uns com os outros, ocupando diferentes nichos. Organismos maiores não são necessariamente os melhores, um jaguar é bem maior do que uma bactéria, porém as bactérias compõem 90% de toda floresta.

**Nunca atingem um equilíbrio estável:** Adaptação e Aprendizado estão ocorrendo o tempo todo, como consequência esses sistemas nunca atingem um equilíbrio estável, estão constantemente evoluindo. A novidade é perpétua, qualquer que seja a escala de tempo em que o sistema está operando. Esses sistemas não buscam atingir o equilíbrio ou estabilizar-se; pelo contrário, estão sempre inventando novidades. Quando um sistema atinge a estabilidade, significa a morte.

**Capacidade de Antecipação:** O sistema segue regras que o levam a agir de determinada forma.

### Adaptação

- Não existe centralizador, elementos se adaptam.
- Auto-organização
- Com autonomia e adaptação vem a capacidade de respostas diferentes para qualquer fenômeno.
- Sistemas complexos são heterogêneos com alto nível de diversidade.
- Sistemas complexos se desenvolvem em macro escala através de um processo de evolução
- Elementos estão sujeitos a força evolutiva da seleção, aqueles que são mais adequados para o ambiente são selecionados e replicados.
- Quanto maior for a autonomia e capacidade de adaptação dos elementos maior é a complexidade do sistema.



Para Holland, o conceito de adaptação é empregado essencialmente como equivalente a aprendizado. Diferentes sistemas adaptam-se (ou aprendem) em escalas de tempo muito diferentes. A adaptação não otimiza, não leva ao melhor resultado possível. O que a adaptação procura é o melhoramento.

Um sistema que se adapta tem de fazer uma escolha dentre um conjunto de possibilidades. Um sistema complexo adaptativo se situa entre os dois extremos: Aproveitamento e Pesquisa Exploratória

- Aproveitamento – Quando o sistema supõe que todas as regras são corretas e as emprega de todas as maneiras possíveis.
- Pesquisa Exploratória – Quando todo o tempo é empregado em procurar regras novas, mas sem jamais testá-las, sem aproveitar os novos conhecimentos adquiridos.

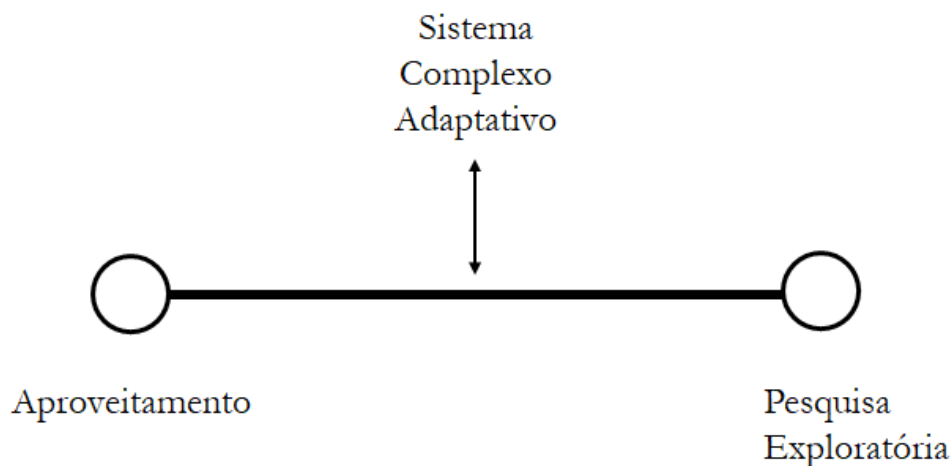


Figura 24: Sistema Complexo Adaptativa

**Modelagem Baseadas em Agentes:** A principal característica do agente adaptativo é que ele muda seu comportamento com o tempo, em função do que aprende com a experiência.

- Unidades “autônomas” de decisão
- Unidades Heterogêneas
- Influência mútua, possivelmente também heterogênea
- Impactam e são impactadas pelo meio
- Regras de tomada de decisão
- Interação ao longo do tempo



Figura 25: Esquema de Sistema baseado em agente

Componentes Básicos que formam um agente adaptativo:

- 1) **Sistema de Desempenho:** Conjunto de regras que ditam ao sistema como deve comportar-se num determinado instante. Assim, o sistema de desempenho corresponde a tudo aquilo que o agente seria capaz de fazer, caso parasse de aprender naquele instante.
- 2) **Sistema de atribuição de créditos:** Esse sistema atribui crédito elevado às regras que funcionam bem, indicando aquelas que devem ser usadas com frequência, e atribui baixo crédito às que não funcionam tão bem.
- 3) **Descoberta de novas regras:** Se existem regras que não funcionam bem, não se deve conservá-las. Deve-se substituir por outras de melhor desempenho. Nesse caso convém encarar as regras como um conjunto de hipóteses sobre o mundo. Em lugar de considerá-las como fatos, pensamos como hipóteses.

### Propriedades e Mecanismos dos Sistemas Complexos

Para Holland (XXXX) a teoria dos sistemas complexos pode ser categorizada em propriedades e mecanismos. As propriedades são 4: agregação; não-linearidade; fluxos e diversidade, enquanto os mecanismos são 3: Rótulos; Blocos de Construção e Modelos Internos.

#### Propriedades

**Agregação:** Coletar uma variedade de objetos e tratá-los como entidade única.

Identificamos um objeto, por exemplo uma árvore, sendo que esse objeto é o resultado de diversos elementos, no caso da árvore existem os galhos, folhas etc. E fazemos isso sem nos preocuparmos com o processo. (Unidades do Gilford)

De alguma forma subdividimos o mundo em elementos familiares, reutilizáveis. Isto nos permite entrar numa sala que nunca vimos antes e antecipar toda uma série de propriedades a seu respeito, tais como um plano de evasão pelas portas numa emergência, ou entender a maneira como uma cidade funciona.

E o mecanismo usado por um cientista para construir regras, leis e modelos. É indispensável saber que elementos desprezar e quais devem ser guardados, para tornar isso possível.



Figura 26: Agregação

**Não-Linearidade:** o todo é maior do que a soma das partes do sistema. A não-linearidade pode surgir através de loppings de retro-alimentação, um mesmo processo é integrado com a saída e alimenta de volta como entrada. Quando olhamos para o mundo natural ao nosso redor vemos poucas linhas retas contudo elas estão presentes em diversas coisas que criamos. As linhas retas parecem sempre ser a opção padrão

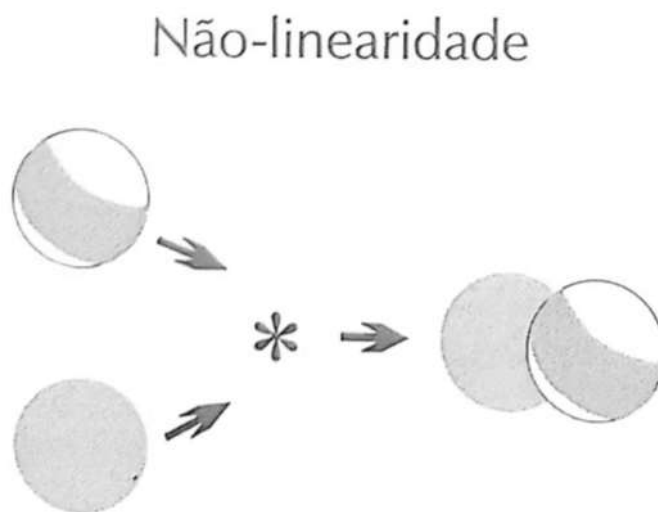


Figura 27: não linearidade

De Euclides a newton a ciência tem se concentrado nos sistemas ordenados de triângulos e retângulos perfeitos e relações lineares de causa e efeito, assim descrevemos o mundo real através dessas formas.

Não-Linearidade desses sistemas decorre de duas características:

- 1) Capacidade de aprendizagem
- 2) Interação.

Surge sempre que existe uma relação entre elementos dentro do sistema que pode ser:

- 1) Sinérgica tornando a saída do sistema maior do que suas partes
- 2) interferência tornando a saída menor que a soma dos seus componentes individuais.

**Fluxos:** Possuem de entrada e saída energética, transformando um objeto em outro, por exemplo o fluxo de uma fábrica processa recursos que recebe insumos e converte em produtos para consumo.

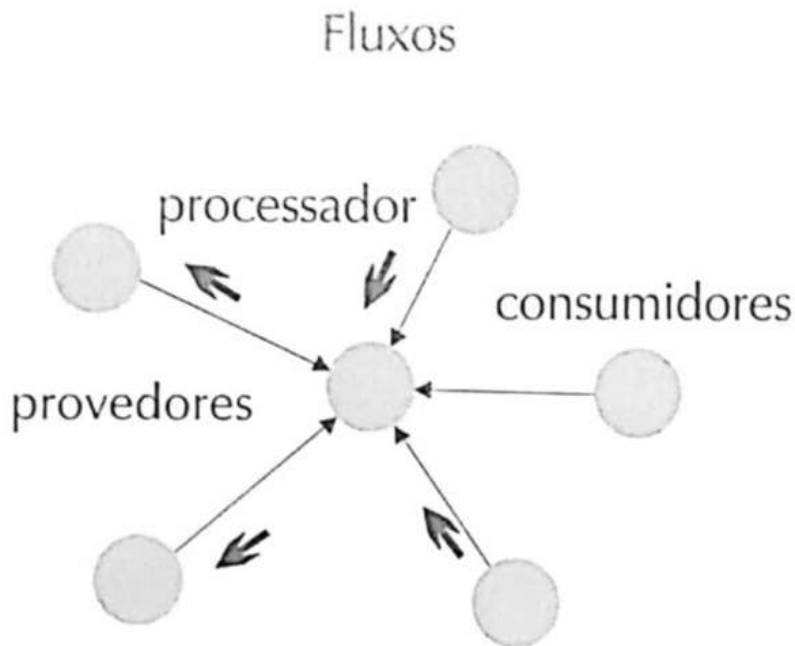


Figura 28: Fluxos

**Diversidade de agentes:** Sem diversidade o sistema fica andando no mesmo lugar. O melhoramento constante da natureza em prol das suas espécies, novas espécies ou artimanhas para se proteger de caçadores são criadas a todo tempo, fazendo com que a diversidade seja parte do melhoramento.

## Diversidade



Figura 29: Diversidade

## Mecanismos

**Rótulos:** Como uma marca registrada. A cauda de um pavão, o cabeçalho de uma mensagem de correio. Rótulos são um método para quebrar simetrias. Geralmente a quebra de simetria aumenta a complexidade de um sistema.\*

- Rótulos tem uma relação direta com Agregação: Representam um modo eficiente de agregar
- Rótulos quebram a simetria, conduz a um aumento da diversidade, introduzindo novos nichos.

## Rótulos

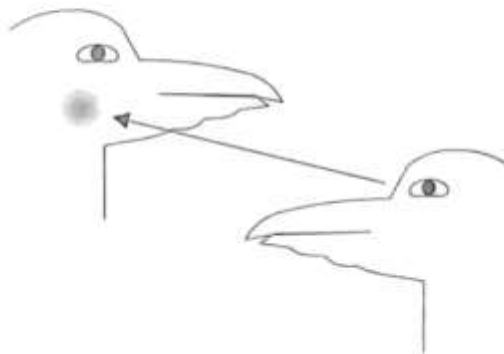


Figura 30: Rótulos

**Blocos para Construção:** Um número pequeno de elementos pode construir objetos variados. Empregando o menor número possível desses blocos – que eles nos permitem descrever toda a diversidade da natureza. Permite gerar grande variedade a partir de um número pequeno de características.

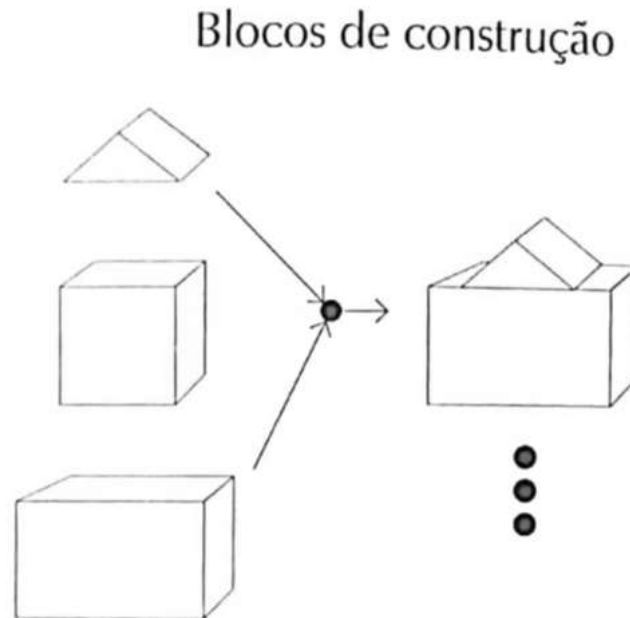


Figura 31: Blocos de construção

**Modelos Internos:** Permitem a antecipação pelo sistema. Quando dirigimos um carro, regressando do trabalho para casa, temos em nossa cabeça um modelo interno do percurso; se uma das ruas estiver bloqueada, sabemos como tomar um caminho alternativo.

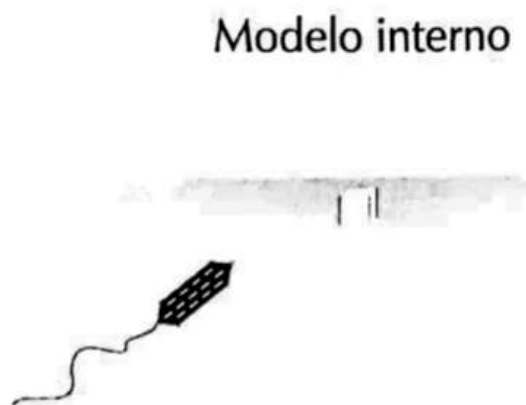


Figura 32: Modelo interno

### 3. PROPOSTA DE MODELAGEM DE SISTEMA COMPLEXO COMPUTACIONAL PARA O ENTENDIMENTO DA ESTRUTURA PROCESSUAL COGNITIVA

O cérebro é considerado um sistema complexo, por possuir estruturas internas que trabalham de forma autônoma e interativa. No processo epistêmico, após o contato do ser humano com o objeto de aprendizagem, os estados que fazem parte do processo de construção do conhecimento podem, ou não, ser ativados, bem como o ser humano pode, ou não percorrer um ou mais desses estados.

Com a finalidade de mapear o processo de construção do conhecimento, baseado no modelo de Estruturas Internas Cognitivas Aprendentes -EICA, iniciou-se o processo de construção da modelagem desse sistema computacional complexo.

As figuras 33 e 34, representam o processo inicial de modelagem, onde procurou-se identificar e representar os principais componentes do processo, com base na fundamentação teórica em questão:

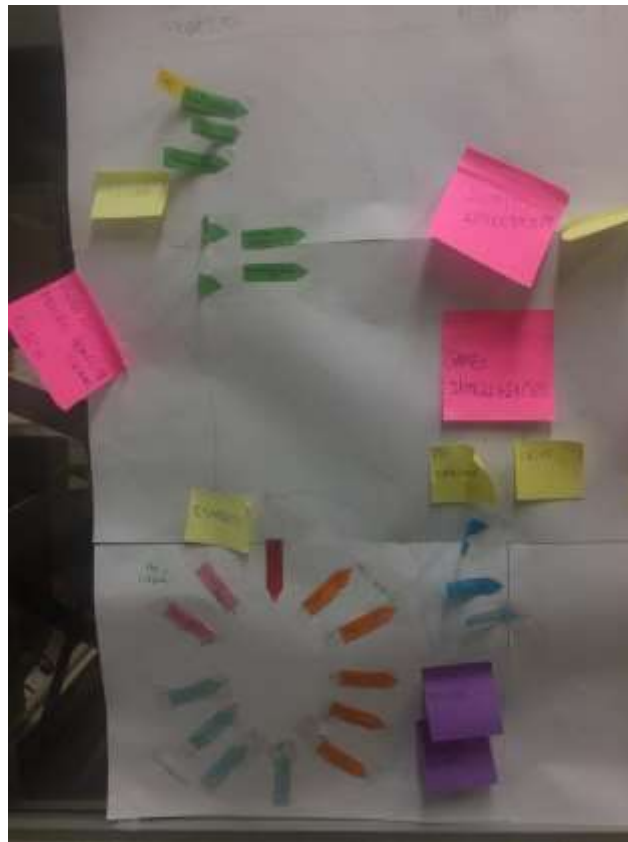


Figura 33: Processo de identificação dos componentes principais do sistema



Figura 34: Processo de identificação dos componentes principais do sistema

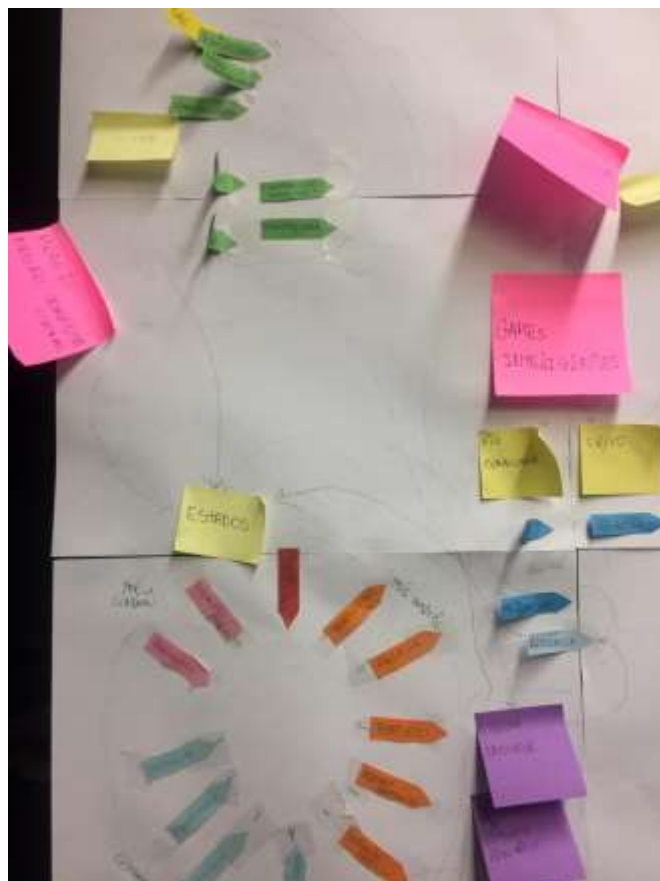


Figura 35: Processo heterogêneo da complexidade das ações e, interações



A investigação do arcabouço conforme figura 36, possibilitou apontar entidades e componentes que atuam no processo imprescindíveis para a construção do modelo e definir o propósito do sistema.

O modelo foi gerado na plataforma yEd, disponível em: <<https://www.yworks.com/yed-live/>>, aplicativo para gerar diagramas, conforme abaixo:

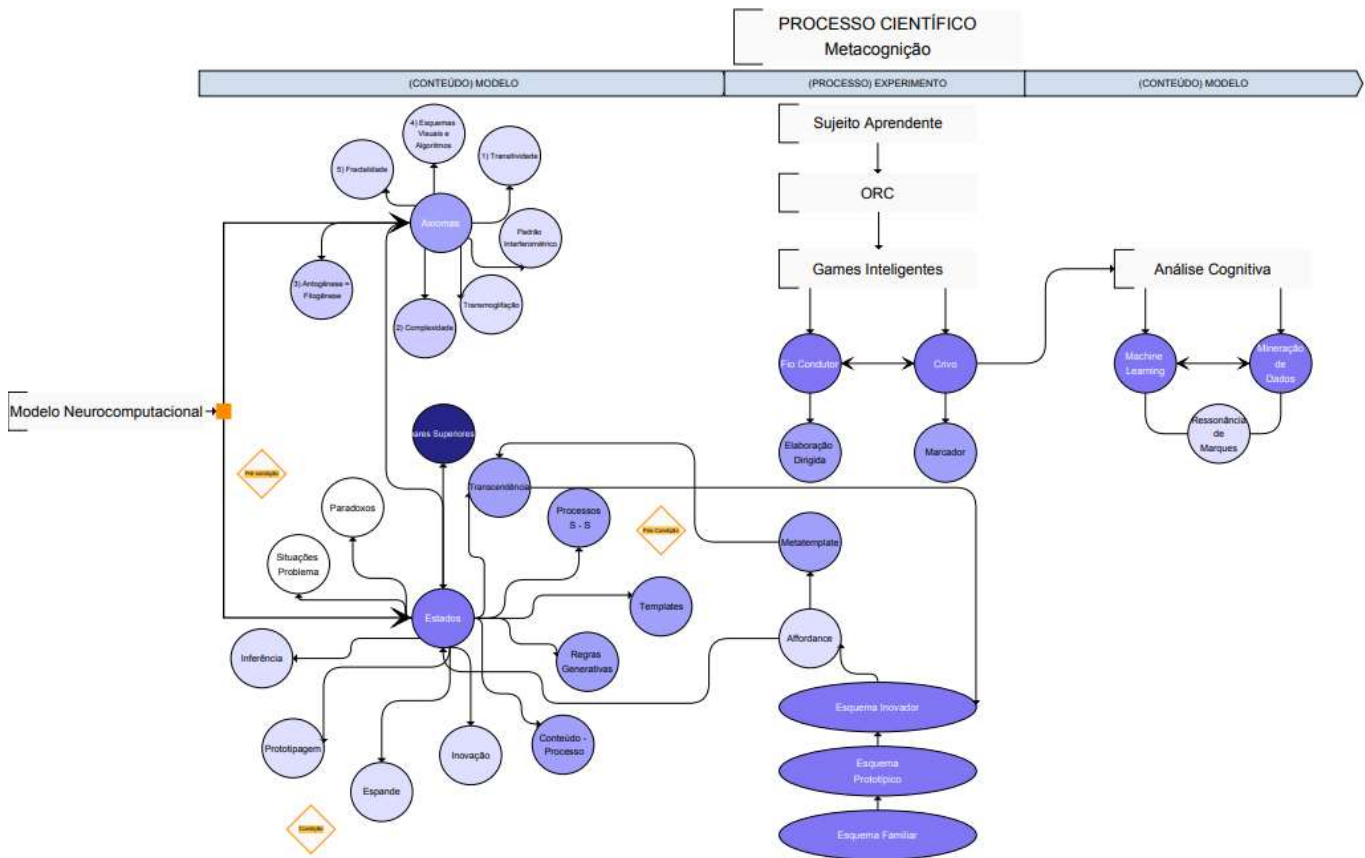


Figura 36: Protótipo 1- Sistema Complexo Computacional EICA

O modelo, figura 36, é o primeiro protótipo, ou seja, modelagem a partir do processo de identificação dos componentes principais do sistema. Para que o modelo se aproxime do ideal buscamos o entendimento e a construção do conhecimento proposto pelo modelo EICA e assim chegar ao Processo científico - Metacognição. Nesse contexto, foi necessário segmentar a estrutura em três estágios Conteúdo (modelo), Processo (Experimento), Dados.

Analisando o primeiro segmento Conteúdo (Modelo), é possível observar os estados do processo de construção do conhecimento e os axiomas explorados no modelo EICA. No segundo segmento Processo (Experimento), foram alocados os esquemas epistêmicos responsáveis por determinar as próteses cognitivas, o processo de intervenção metacognitivo, bem como, todos os elementos que os compõem. No terceiro segmento Dados, o modelo computacional aponta para componentes de retorno responsáveis pela análise cognitiva, entre



O fluxo metodológico pode ser percebido ao fazer a divisão entre os conteúdos, processo e saída, então é possível que exista um paralelo entre a lógica metodológica do trabalho científico e a lógica metodológica por quem aprende. Para isso toma-se como base a questão do conteúdo, do processo e a saída de quem está aprendendo, confirmando que existe ali um paralelo entre esses componentes.

A afirmação de que a filogênese repete a ontogênese explica que a forma como o ser humano aprende está intrinsecamente relacionada com a maneira como a humanidade desenvolveu a cognição ao longo dos tempos. Esse paralelo acontece na pesquisa de Marques e agora demonstrado no diagrama da figura 37.

Outras fontes literárias foram utilizadas para o entendimento do funcionamento do sistema complexo e sua metodologia de modelagem. Uma fonte importante para a pesquisa foi o livro *System Dynamics Models* do autor Erik Pruyt, que apresentou a referência dos CLDs Causal Loop Diagrams, diagramas para modelagem qualitativa. Os diagramas representam as influências causais entre variáveis de um sistema. A partir dele, foi possível realizar-se a modelagem do diagrama que representa as causalidades entre variáveis dos Esquemas, conforme observado na figura 38 e no detalhamento dos esquemas na figura 39.

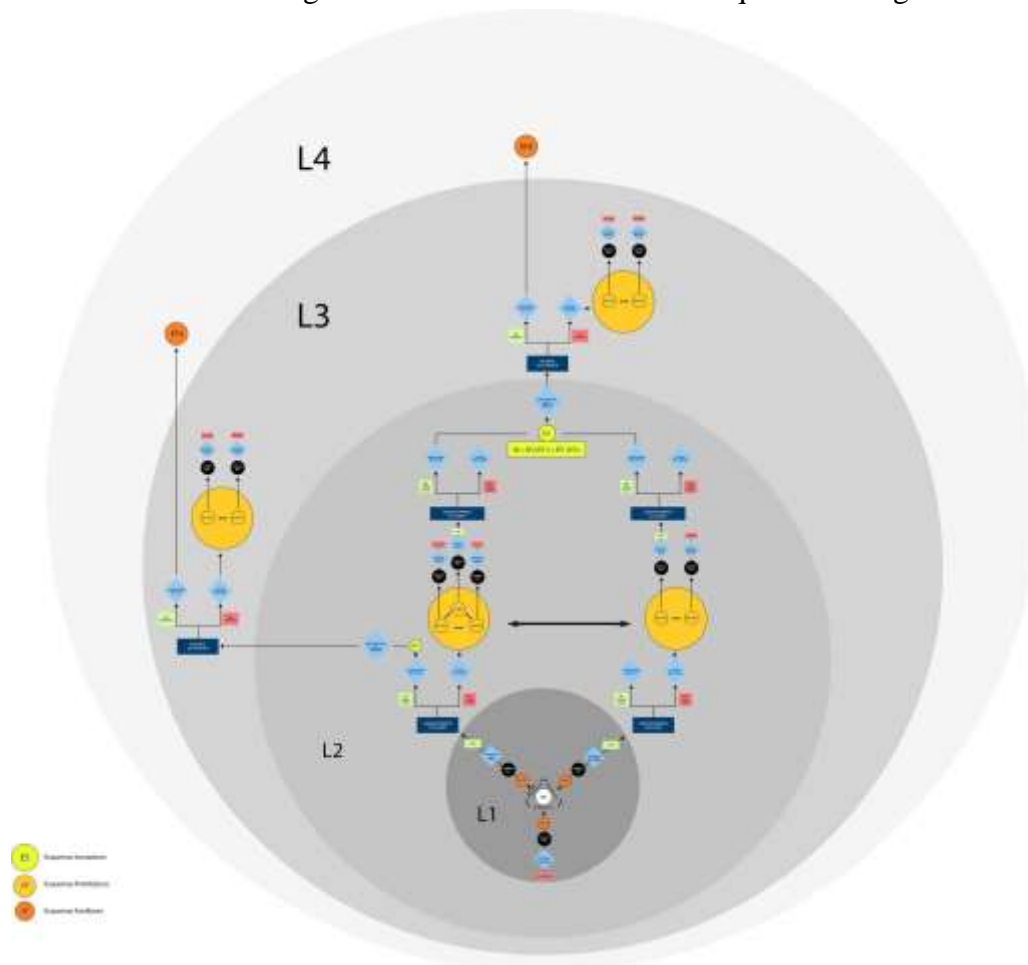


Figura 38: Diagrama de causalidades entre variáveis dos Esquemas

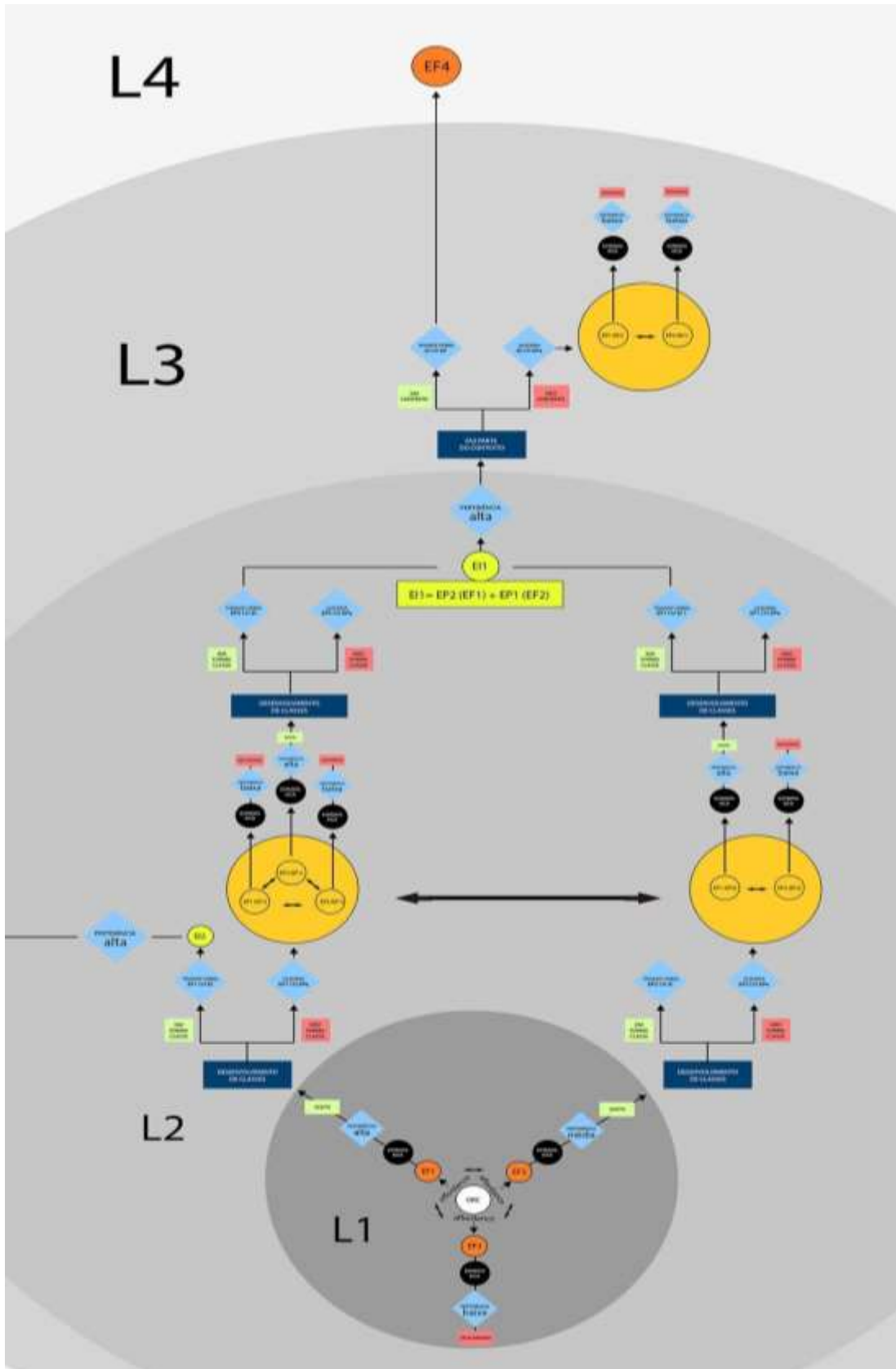


Figura 39: Modelo Computacional do Conhecimento

O modelo do funcionamento de uma máquina aprendente pode ser visto no diagrama da figura 40. Considera-se neste caso que são várias máquinas em ação, que operam em níveis diferentes (L1, L2, L3, L4), conforme Seminário. O modelo de funcionamento de uma máquina é relativamente simples, a complexidade acontece na medida em que são várias delas, processando o Objeto Real de Conhecimento - ORC em tempo real.

Causal Loop Diagram -  
Máquina EICA dado o  
contato com os  
*affordances* de um ORC

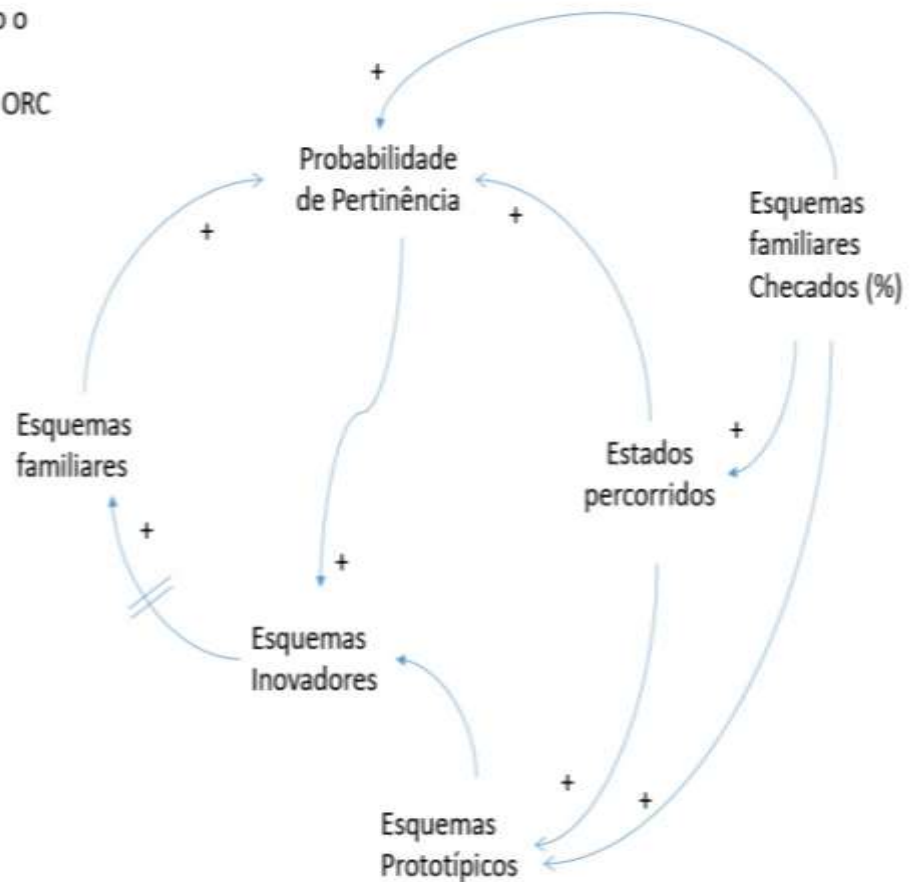


Figura 40: Diagrama Máquina EICA- contato com affordances

### 3.2 PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA EICA

PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA APRENDENTE

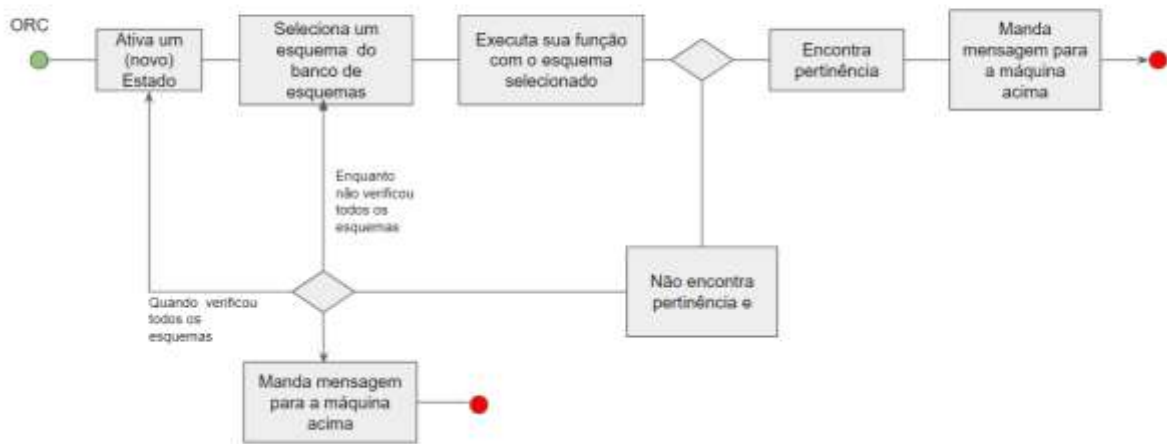


Figura 41: Processo de funcionamento de uma máquina aprendente

Ao entrar em contato com o Objeto Real do Conhecimento, a máquina em questão ativa um dos estados, seleciona um esquema do seu banco de esquemas familiares, executa a função daquele estado com o esquema selecionado. Em seguida ela checa a pertinência entre a operação realizada com o esquema e o objeto real do conhecimento, se há um alto grau de pertinência, ela manda a mensagem para a máquina acima. Quando não há pertinência, ela pode buscar um outro esquema para realizar a mesma operação, ativar um novo estado ou mandar a mensagem incompleta para a máquina acima. Tomemos por exemplo o seguinte diálogo:



Figura 42: Diálogo e análise do discurso em tempo real

Para representar como a interlocutora da Carla, na medida em que escuta a frase, faz o processamento em tempo real, a frase foi dividida em 15 partes, ou passos (steps). Em cada um dos steps há um Objeto Real do Conhecimento (ORC) que se trata de uma pequena parte da frase que está sendo ouvido naquele exato momento. Nesse caso, foi analisado apenas os três primeiros passos.

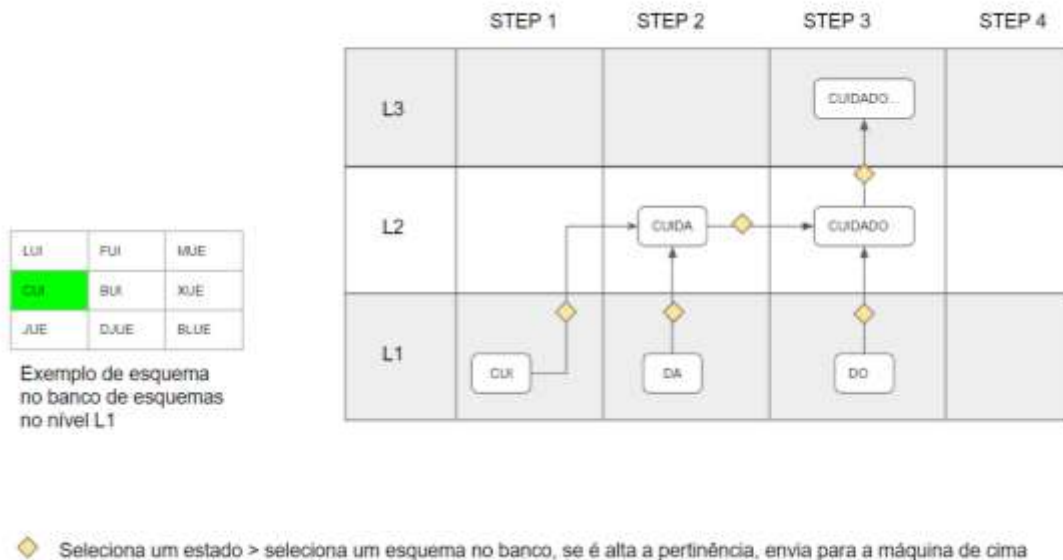


Figura 43: Processamento em tempo real

No step 01, em L1, a moça escuta o trecho “cui”, ela ativa um estado mental, seleciona um esquema no banco de esquemas e checka a pertinência. Quando ocorre a pertinência, ela o envia para o L2.

Em L2, no step 02, o “cui” é recebido junto com o “da” que acabou de ser verificada a pertinência. Os dois trechos são combinados formando a possível “palavra “Cuida” que é verificada no banco de esquemas a nível de L2, que, semanticamente, trata ao nível das palavras.

No step 03, a máquina L1 encontra pertinência e envia o trecho “do” para o L2, que encontra pertinência e por sua vez o envia “cuidado” para L3. Em L3, os esquemas se dão a nível semântico das frases, portanto, a palavra cuidado se converte em uma possível frase iniciada com a ideia de cuidado, exemplo: “cuidado com a chuva”, “cuidado com o cão” etc. Contudo, no step 3 ainda não é possível entender o conteúdo da mensagem, e para isso é necessário esperar os próximos passos.



## **4. PROPOSTA DE UM MODELO DE SISTEMAS COMPLEXO NA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA- CEDERJ**

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) têm contribuído para a evolução da educação a distância (EaD) nos últimos anos. Essas tecnologias servem como infraestrutura para o ensino a distância bem como, proporcionam possibilidades de inovações no processo de aprendizagem. Tais inovações são apresentadas em objetos de aprendizagem e ambientes virtuais de aprendizagem na forma como estes são planejados, projetados, desenvolvidos e ofertados aos estudantes. As TICs propiciam um alto poder de interação entre os participantes rompendo com barreiras geográficas, financeiras e temporais (HOLANDA; PINHEIRO; PAGLIUCA, 2013), atendendo a grandes demandas de profissionais que necessitam de qualificação, possibilitando a aprendizagem formal nos espaços de trabalho e estreitando os laços entre a ação educacional e a ação laboral (LAGUARDIA; CASANOVA; MACHADO, 2010).

De acordo com Vargas, Trindade, Gouveia e Farias (2016), cursos a distância, respaldados em propostas pedagógicas que favoreçam ambientes cooperativos e construtivistas de aprendizagem, oportunizam a formação de redes colaborativas de aprendizagem e interação, reconhecendo o educando como sujeito ativo no seu processo de aprendizagem e favorecendo o desenvolvimento de habilidades de raciocínio crítico.

O CEDERJ (Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro) foi criado no ano 2000 e tem, desde então, o objetivo de disponibilizar cursos de graduação com alto nível de qualidade e de forma gratuita a todo o Estado do Rio de Janeiro. Ele é um consórcio formado por oito instituições públicas de ensino superior: UNIRIO, UFRRJ, UFRJ, UFF, UERJ, UENF, IFF, CEFET). E atualmente conta com 45 mil alunos matriculados em 15 cursos de graduação a distância (BIELSCHOWSKY, 2017).

### **4.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Sistemas complexos são sistemas formados por subsistemas ao contrário dos sistemas lineares que são sistemas formados por partes interdependentes. Ao se retirar uma parte de um sistema linear, este poderá parar de funcionar como sistema. Em um sistema complexo, a supressão de um elemento não faz com que o sistema pare de funcionar, mas se organize para suprir a falta do elemento retirado (GARCIA, 2002).

Morin (1990) atribui a diferentes razões a utilização do conceito de complexidade. Dentre as várias razões, ele diz que a nossa incapacidade de uma visão crítica dos nossos modelos mentais é a maior delas. Dessa forma, a complexidade é um conjunto de elementos heterogêneos inseparavelmente relacionado às ações, interações, retroações, determinações e acaso dos fenômenos (Morin, 1990).

Através da teoria de sistemas complexos, Morin (1996) aponta que a ciência clássica tomou o mundo como campo de conhecimento passível de ser medido tornando tudo simplificado. Ele diz que a complexidade não deve ser encarada como uma receita para programar e esclarecer (assim como a simplificação) ou como um inimigo da ordem e da clareza, mas sim como um desafio que a realidade nos oferece como uma motivação para pensar.



Segundo Palazzo (1999), os processos dinâmicos tendem a seguir os caminhos de menor consumo de energia até que o sistema encontre um ponto de equilíbrio onde permanecerá enquanto não sofrer perturbação. Além disso, Palazzo (1999) ressalta que as estruturas de 'feedback' são estruturas físicas ou processos dinâmicos que, além de se manterem, a si próprias, são agentes do seu próprio desenvolvimento.

As interações localizadas que ocorrem entre os componentes do sistema produzem a estrutura global, que independe da estrutura interna dos componentes individualmente.

Um fator relevante dentre os processos que caracterizam a auto-organização é a capacidade que os sistemas apresentam de se adaptar ao meio em que se encontram. Isto significa que os sistemas são capazes de alterar suas funções internas de processamento de informações. Sistemas que apresentam tal característica são denominados sistemas complexos adaptativos.

De acordo com Martinazzo e Griebeler (2018), a não-linearidade é uma característica dos sistemas complexos. Ela é evidenciada pelo fato de que uma resposta a um estímulo não é, proporcional a intensidade e extensão desse estímulo. Não existe ordem linear de causa e efeito uma vez que o *feedback*, quebra a linearidade de forma que a causa age sobre o efeito e vice-versa. O carácter recursivo dos sistemas complexos faz com que elementos sejam causa e efeito dependendo do referencial adotado e do momento da observação.

Segundo Guimarães, Dourado e Santiago (2016) as interações fazem emergir uma auto-organização, uma vez que a interação entre pessoas e recursos é direcionada pelos alunos e estes se organizam e se reorganizam a partir de novos conteúdos que são apresentados ou problemas que se interpõe no processo de aprendizado.

Além disso, a imprevisibilidade dos processos de interação, comunicação e estabelecimento de tendências podem ser entendidas como consequência das interações estabelecidas pelo comportamento humano, imprevisíveis por natureza (ELIASQUEVICI e PRADO JUNIOR, 2008).

O processo de ensino-aprendizagem não é tarefa simples de transmissão e recepção de conhecimentos, de acordo com Bergman e Martinazzo (2017), mas uma relação complexa dialética entre ensinar e aprender que se estabelece nas trocas de saberes entre estudantes e professores.

## 4.2 MODELAGEM DO CEDERJ COMO SISTEMA COMPLEXO

No CEDERJ, os cursos são semipresenciais, de forma que os alunos recebem material para autoinstrução, impresso, e realizam provas online e nos pólos. Eles (alunos) contam com o auxílio de tutores online e presenciais, nos pólos, chamados de mediadores (onlines e presenciais), sendo que alguns cursos exigem um número mínimo de presença nos polos para execução de aulas práticas. Para isto, eles possuem a infraestrutura necessária para atender aos alunos presencialmente, como laboratórios, por exemplo.

A administração do CEDERJ se divide em diretorias: planejamento, tutoria, de polos, administração e acadêmica. A diretoria acadêmica é responsável pela gestão dos cursos e disciplinas oferecidas aos alunos. Cada curso possui um coordenador que é chamado de articulador.

A confecção de material é realizada por uma equipe multidisciplinar que conta com profissionais da área pedagógica, *design* gráfico, revisão e publicação. Essa equipe recebe o conteúdo e as recomendações de professores e produz material que pode ser impresso, *online*, ou em mídias digitais. A equipe responsável pela infraestrutura (de Tecnologia da Informação e Administrativa) trabalha para que o funcionamento dos pólos, a comunicação e disponibilização de material estejam sempre prontas para atender os alunos.

Os mediadores e os alunos participam de uma avaliação institucional e através dela, a direção pode tomar decisões e realizar mudanças que visem a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Além disso, o CEDERJ segue as avaliações, legislações, ementas e recomendações do Ministério da Educação.

Pólo de educação a distância, ou polo de apoio presencial, é o local devidamente credenciado pelo MEC, no país ou no exterior, próprio para o desenvolvimento descentralizado de atividades pedagógicas e administrativas relativas aos cursos e programas ofertados a distância. É no polo que o estudante terá as atividades de tutoria presencial, biblioteca, laboratórios, teleaulas, avaliação (provas, exames, etc.) e poderá utilizar toda a infraestrutura tecnológica para contatos com a instituição ofertante e/ou participantes do respectivo processo de formação. Na Figura 4.1 são mostrados os pólos existentes no Estado do Rio de Janeiro



Figura 44: Pólos do CEDERJ

No processo de modelagem do CEDERJ como um sistema complexo, criou-se um diagrama de entidades envolvidas na realidade do CEDERJ, que pode ser visto na figura 45.

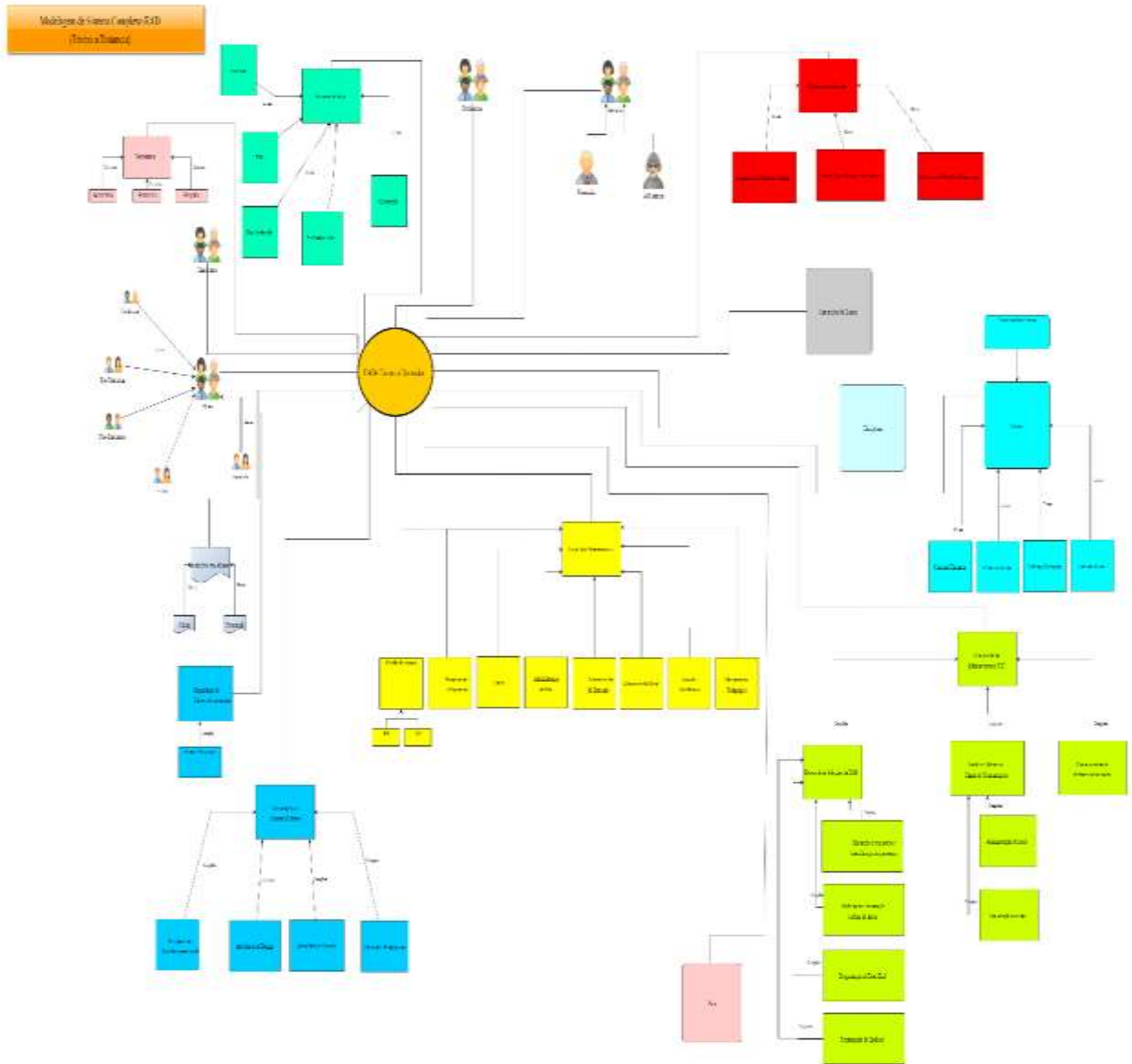














Figura 45: Diagrama de Entidades

Este diagrama foi construído utilizando-se o editor de gráficos yEd e foi criado para nos dar uma ideia do tamanho deste sistema complexo e quais processos iríamos destacar. E através dele identificamos as seguintes entidades, como pode ser visto na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1:Lista de Entidades

<b>Entidades com suas informações: Entradas e Saídas do Sistema</b>	
<b>Entidades</b>	<p>As <b>Entradas</b> são informações enviadas pelas entidades para o sistema.</p> <p>As <b>Saídas</b> são informações geradas pelo sistema direcionadas às Entidades</p>
<p><b>Alunos</b></p>  <p>Alunos</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pedido de matrículas</li> <li>- Solicitação de documentos</li> <li>- Troca de status de usuário</li> <li>- Respostas a questionários</li> <li>- Sugestões para melhoria</li> <li>- Realização de provas</li> <li>- Solicita notas de provas</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boletim</li> <li>- Material de estudo</li> <li>- Perguntas sobre avaliação de curso</li> <li>- Troca de senha</li> <li>- Número de Protocolo</li> <li>- Documentos Solicitados</li> <li>- Aluno Matriculado</li> </ul>
<p><b>Candidatos</b></p>  <p>Candidatos</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitação de Inscrição em processo seletivo</li> <li>- Participação da seleção</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Edital de seleção</li> <li>- Comprovante de Inscrição</li> <li>- Resultado da Seleção</li> </ul>
<p><b>Coordenadores</b></p>  <p>Coordenadores</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitam ajustes no Sistema</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ordem de Serviço realizado</li> </ul>

<p><b>Diretores</b></p>  <p>Diretores</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações dos cursos</li> <li>- Informações de Edital de Concurso</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações dos cursos</li> <li>- Informações de Edital de Concurso</li> </ul>
<p><b>Diretor de Pólo</b></p>  <p>Diretor de Polos</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitação de manutenção no polo</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resposta da solicitação</li> </ul>
<p><b>Equipe Pedagógica</b></p>  <p>Equipe Pedagógica</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material de apoio ok</li> <li>- Elaboração de perguntas para avaliação do curso</li> <li>- Revisão de Material</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material para revisar e confeccionar</li> </ul>
<p><b>Instituição de Ensino</b></p>  <p>Instituição de Ensino</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Envia dados de cursos (Criação, manutenção, desempenho e exclusão de cursos)</li> <li>- Ajuda na elaboração de Editais</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recebe dados de cursos (Criação, manutenção, desempenho e exclusão de cursos)</li> <li>- Ajuda na elaboração de Editais</li> </ul>
<p><b>Professores</b></p>  <p>Professores</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conteúdo das disciplinas</li> <li>- Parecer sobre conteúdo revisado</li> <li>- Questões de prova</li> <li>- Material ok</li> <li>- Recebimento e correção de provas</li> <li>- Solicitação de mudança de status de usuário</li> <li>- Status de usuário</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados da turma gerada</li> <li>- Recebimento e correção de provas</li> <li>- Solicitação de mudança de status de usuário</li> <li>- Parecer sobre conteúdo revisado</li> <li>- Recebimento e lançamento de notas</li> <li>- Status de usuário</li> </ul>

<p><b>Profissional de TI</b></p>  <p>Profissional de TI</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Situação Ordem de Serviço( pode ser vários tipos de serviços que o setor de TI presta ao sistema)</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Receber Ordem de Serviço( pode ser qualquer serviço relacionado a área de TI)</li> </ul>
<p><b>Tutores à Distância</b></p>  <p>Tutores</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recebimento e lançamento de notas</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material(Aulas) para explicar a distância ok</li> </ul>
<p><b>Tutor Presencial</b></p>  <p>Tutores</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recebimento e lançamento de notas</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material(Aulas) para explicar a presencial ok</li> </ul>
<p><b>Usuários</b></p>  <p>Usuários</p>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitação de acesso</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resposta de solicitação</li> <li>- Solicitação ok- Abertura de página do sistema</li> </ul>

De acordo com esta abordagem, foram criados diagramas de processos, para identificar os processos cujos às entidades descritas na Tabela 1 participam e que podem ser vistos nas figuras 46 e 47.

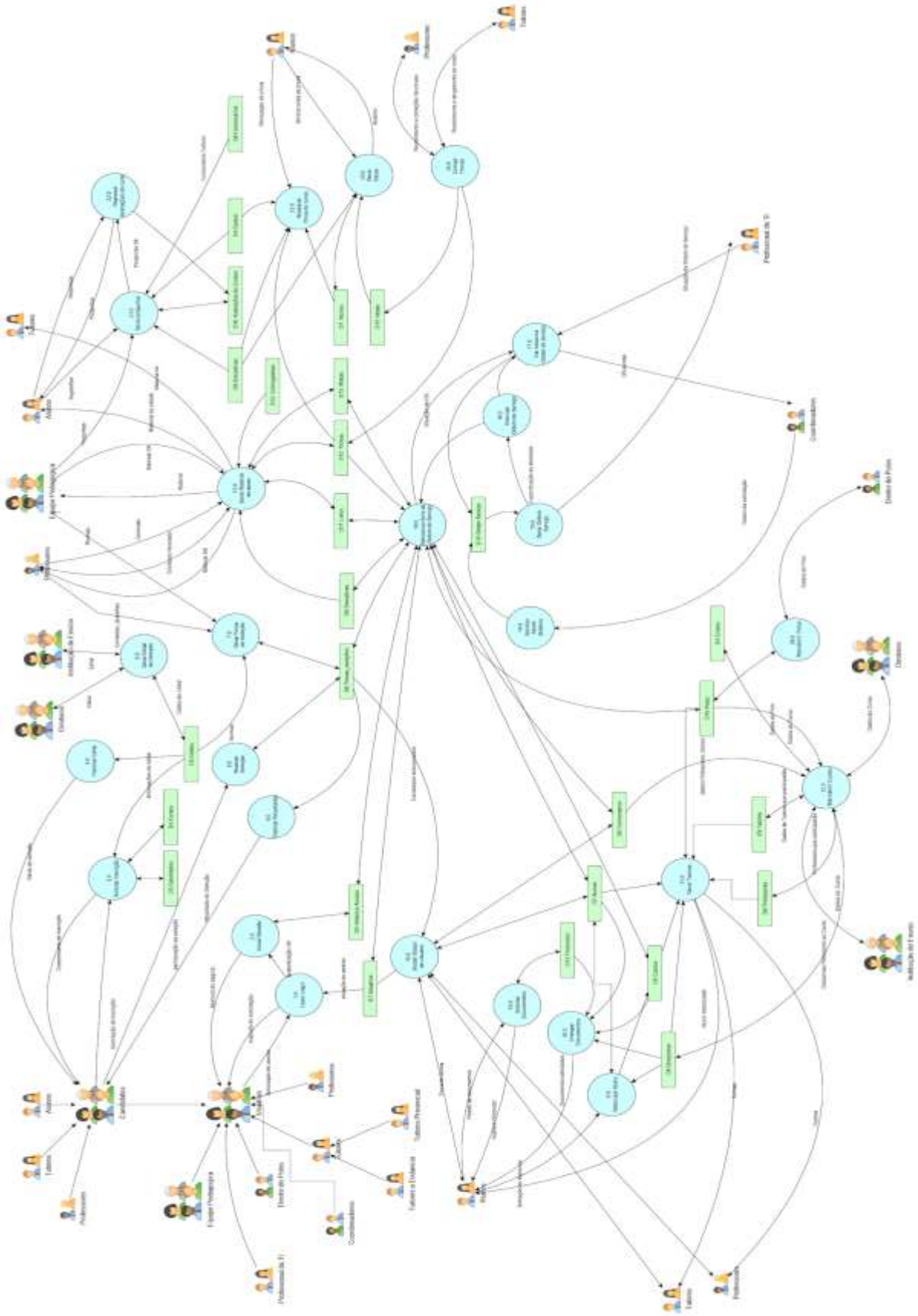


Figura 46: Diagrama Geral de Processos Sistema CEDERJ



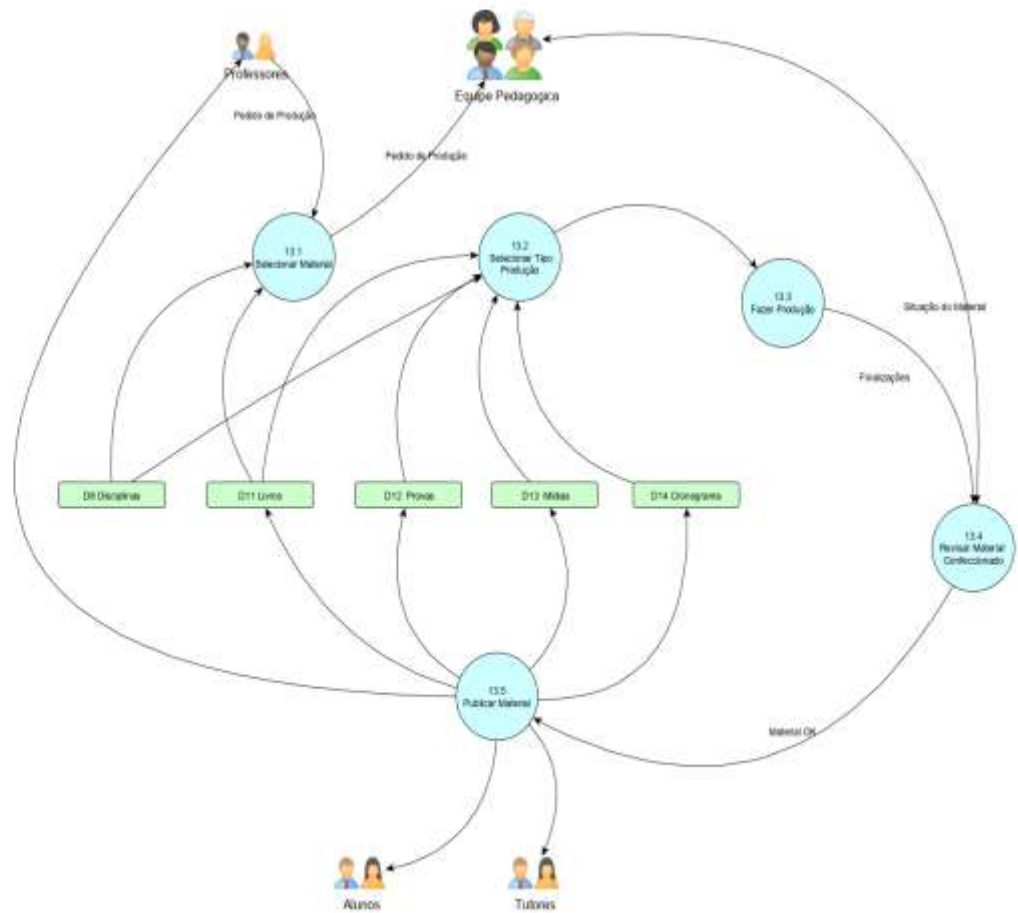
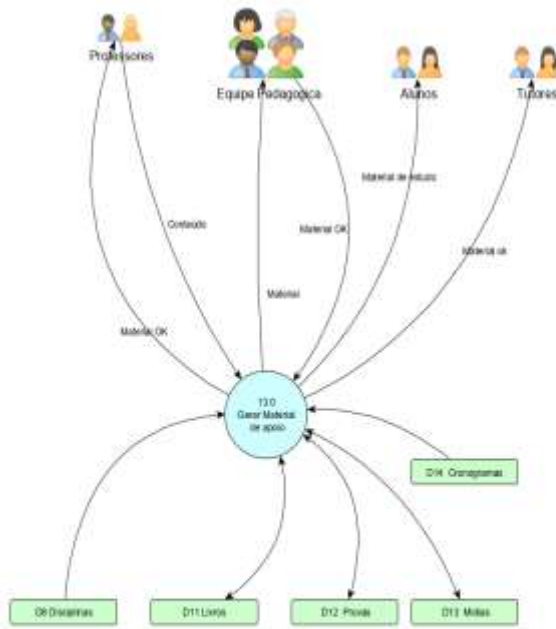




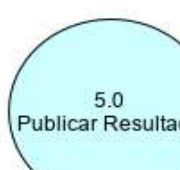








Figura 47: Diagrama Detalhado do Processo de Criação do Material Didático












A Tabela 2, apresenta os processos mostrados nos diagramas acima.






**Tabela 2: Lista de Processos da Educação a distância**

<b>Processos do Sistema Complexo</b>	
<b>Número</b>	<b>Nome</b>
<b>1.0</b> 	Fazer login
<b>2.0</b> 	Iniciar sessão
<b>3.0</b> 	Solicitar inscrição
<b>4.0</b> 	Publicar edital
<b>5.0</b> 	Publicar resultados
<b>6.0</b>	Gerar edital de seleção

	
<b>7.0</b> 	Gerar prova de seleção
<b>8.0</b> 	Realizar seleção
<b>9.0</b> 	Matricular aluno
<b>10.0</b> 	Mudar status de usuário
<b>11.0</b> 	Gerar turma

<p><b>12.0</b></p> 	Manutenir cursos
<p><b>13.0</b></p> 	Gerar Material de Apoio
<p><b>13.1</b></p>	Selecionar material
<p><b>13.2</b></p>	Selecionar tipo produção
<p><b>13.3</b></p>	Fazer produção
<p><b>13.4</b></p>	Revisar material confeccionado
<p><b>13.5</b></p>	Publicar material
<p><b>14.0</b></p> 	Solicitar Ajuste Sistema
<p><b>15.0</b></p> 	Gerar Ordem de Serviço
<p><b>16.0</b></p>	Executar ordem de serviço

	
<b>17.0</b> 	Dar baixa na ordem de serviço
<b>18.0</b> 	Selecionar itens da ordem de serviço
<b>19.0</b> 	Solicitar documentos
<b>20.0</b> 	Entregar documentos
<b>21.0</b> 	Gerar perguntas
<b>22.0</b>	Realizar avaliações de curso

	
<p><b>23.0</b></p> 	Realizar avaliações de curso
<p><b>24.0</b></p> 	Corrigir provas
<p><b>25.0</b></p> 	Gerar notas
<p><b>26.0</b></p> 	Manutenir Polos

Com estes diagramas construídos através do editor de gráficos yEd e sugestões apresentadas, nos foi possível agrupar os processos em subsistemas, para então construir o diagrama de subsistemas e suas inter-relações, como pode ser visto na figura 48.

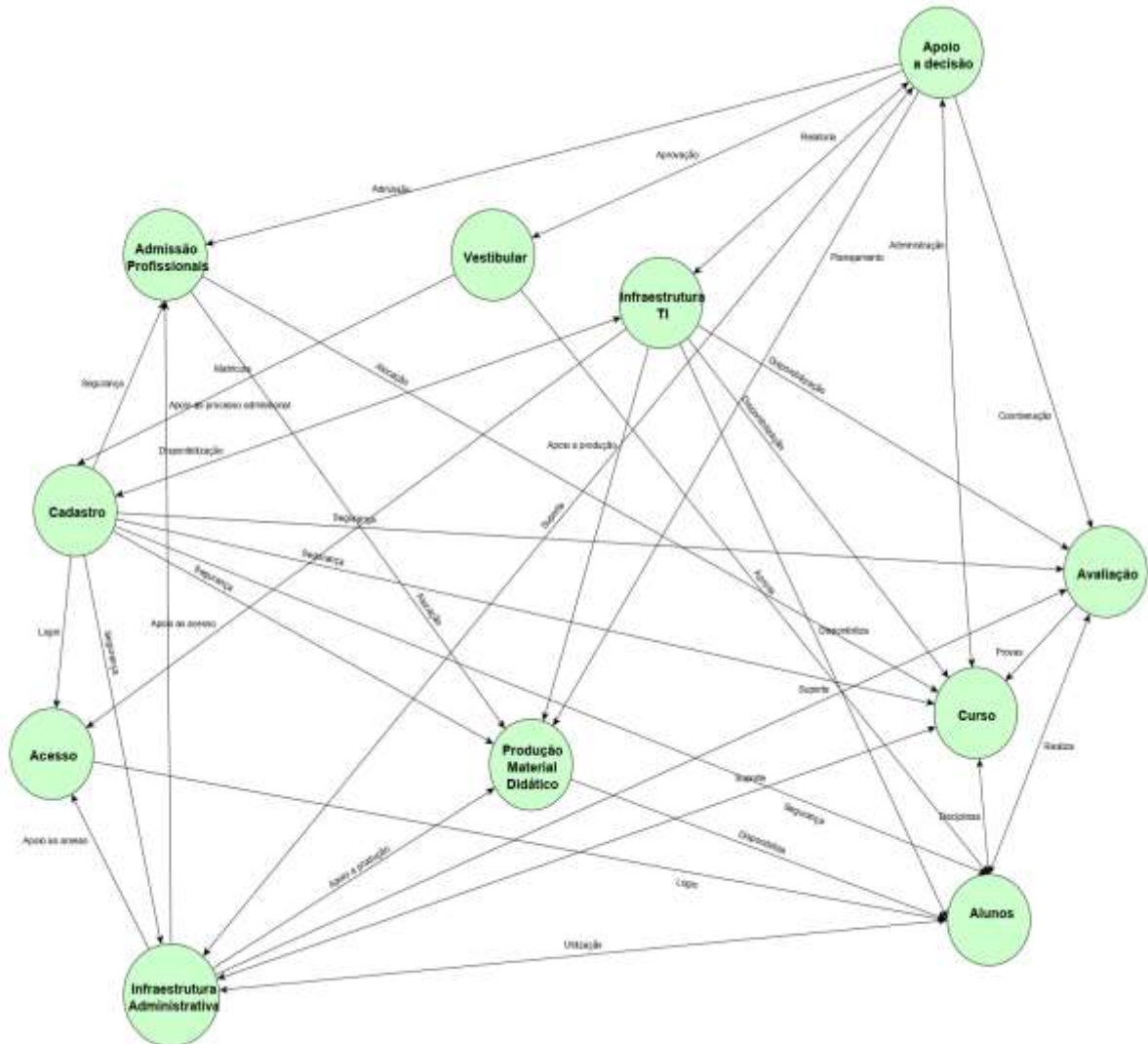


Figura 48: Diagrama de subsistemas

Este diagrama também foi construído com o editor de gráficos yEd e sua função neste trabalho é o de identificar os subsistemas que integram o sistema complexo, bem como uma falha em um destes subsistemas poderia impactar outros subsistemas e o sistema como um todo. Na Tabela 3, são descritos estes subsistemas e suas entradas e saídas.

Tabela 3: Subsistemas

<b>Subsistemas com suas informações: Entradas e Saídas do Sistema</b>	
<b>Subsistemas</b>	<b>As Entradas são informações enviadas para os subsistemas. As Saídas são informações geradas pelos subsistemas.</b>
<b>Admissão Profissionais</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Admissão</li> <li>- Apoio ao Processo Admissional</li> <li>- Segurança</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alocação</li> </ul>
<b>Acesso</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Login</li> <li>- Apoio ao Acesso</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Login</li> </ul>
<b>Cadastro</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matrícula</li> <li>- Disponibilização</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Login</li> <li>- Segurança</li> </ul>
<b>Infraestrutura Administrativa</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Segurança</li> <li>- Suporte</li> <li>- Utilização</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoio ao acesso</li> <li>- Apoio ao Processo Admissional</li> <li>- Apoio à Produção de Material Didático</li> </ul>
<b>Vestibular</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprovação</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Admissão</li> <li>- Matrícula</li> <li>- Aprova</li> </ul>

<b>Apoio à decisão</b>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatoria</li> <li>- Aprovação</li> <li>- Suporte</li> <li>- Administração</li> <li>- Coordenação</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprovação</li> <li>- Relatoria</li> <li>- Suporte</li> <li>- Planejamento</li> <li>- Administração</li> <li>- Coordenação</li> </ul>
<b>Infraestrutura de TI</b>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatoria</li> <li>- Disponibilização</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoio ao acesso</li> <li>- Disponibilização</li> <li>- Apoio à produção do material didático</li> </ul>
<b>Avaliação</b>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordenação</li> <li>- Disponibilização</li> <li>- Segurança</li> <li>- Suporte</li> <li>- Realiza</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Provas</li> <li>- Coordenação</li> </ul>
<b>Curso</b>	<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Provas</li> <li>- Disponibilização</li> <li>- Administração</li> <li>- Alocação</li> <li>- Segurança</li> <li>- Suporte</li> <li>- Disciplinas</li> </ul> <p><b>Saídas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suporte</li> <li>- Disciplinas</li> <li>- Administração</li> </ul>



<b>Alunos</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Login</li> <li>- Segurança</li> <li>- Disponibiliza</li> <li>- Realiza</li> <li>- Disciplinas</li> <li>- Utilização</li> <li>- Aprova</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disciplinas</li> <li>- Realiza</li> <li>- Utilização</li> </ul>
<b>Produção Material Didático</b>	<b>Entradas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento</li> <li>- Apoio à construção do material didático</li> <li>- Alocação</li> <li>- Segurança</li> </ul> <b>Saídas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibiliza</li> </ul>

E para finalizar esta etapa de modelagem, foi criado um diagrama de laços causais (PRUYT, 2013) para entender como as variáveis em nível macro que constituem o sistema se afetam. Este diagrama pode ser visto na figura

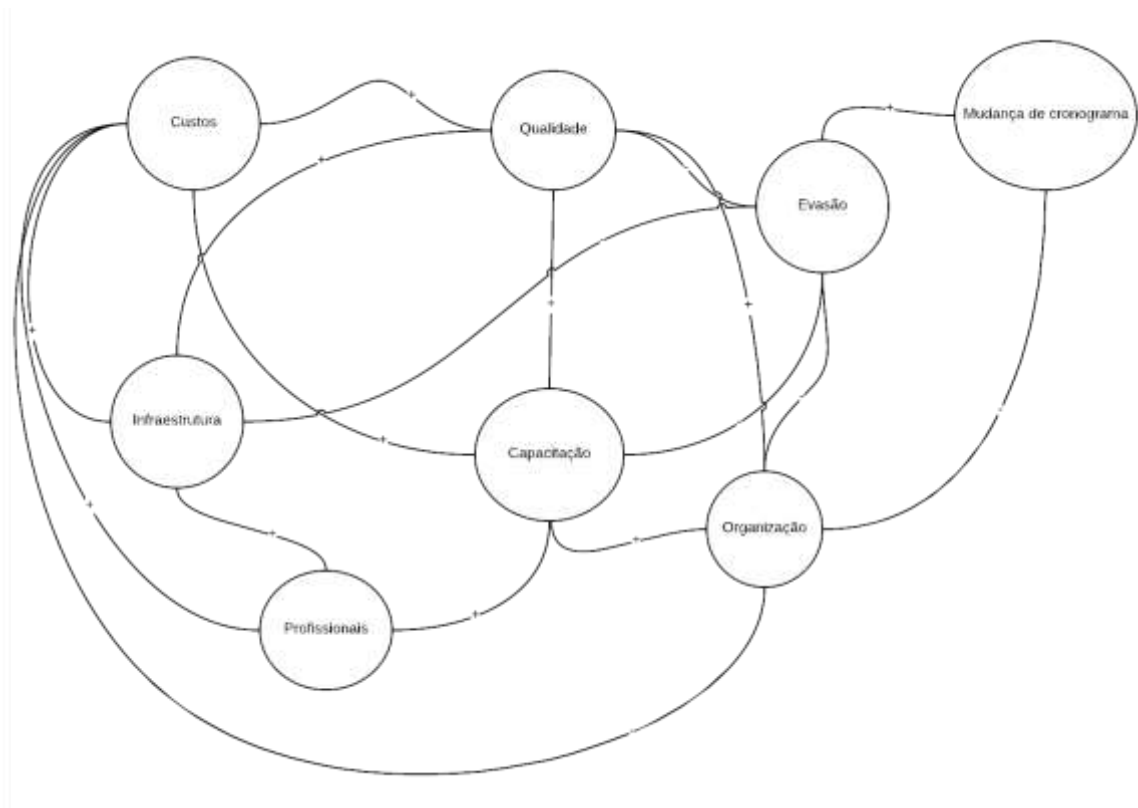


Figura 49: Diagrama de laços causais com variáveis do sistema

Com este diagrama, nós identificamos as principais variáveis que caracterizam este sistema complexo e que devem ser acompanhadas e analisadas para que saibamos qual a condição do sistema em um determinado momento. As principais variáveis deste sistema complexo são:

1. Custos;
2. Qualidade;
3. Evasão;
4. mudança de cronograma;
5. Infraestrutura;
6. Capacitação;
7. Organização;
8. Profissionais.

#### 4.3 ANÁLISE DE IMPACTO E PLANO DE CONTINGÊNCIA

Finalmente, foi realizada a análise de vulnerabilidades (pontos críticos) e o elaborado um plano de contingência.

Para a análise de impacto foram consideradas três situações problema:

1. Como o sistema se comporta ao ser criado um novo curso?
2. Como o sistema se comporta ao serem roubadas as provas?
3. Como o sistema se comporta com suspensão das bolsas, greve de profissionais e interrupção de infraestrutura?

##### **Como o sistema se comporta ao ser criado um novo curso?**

Os impactos causados por esse incidente são:

- O Número de alunos existentes é, atualmente, em torno de 104 mil, sendo 45 mil oriundos de graduação, o que gera em média 500 mil acessos/mês ao sistema. Recentemente houve uma mudança nos equipamentos da Fundação CECIERJ localizados no CBPF e com isso o acesso que era de 100 Mbps (megabits por segundo) passou para 1 Gbps (gigabits por segundo), um aumento de 10 vezes na velocidade de acesso. Com isso não teríamos impacto no acesso ao sistema por parte dos alunos.
- A produção de material é impactada porque será necessário criar material para o novo curso. Alguns cursos possuem disciplinas em comum o que diminuiria um pouco a carga de trabalho. Mesmo assim, todo o material de todas as disciplinas que não são comuns deverá ser construído. Deverá ser analisada a necessidade de contratação de mais profissionais.
- Impacto no custo de recursos e insumos (infraestrutura administrativa).
- Aumento no número de professores e mediadores. Impacto que também será sentido pela equipe de profissionais envolvidos na capacitação de mediadores e professores.
- Necessidade de novos pólos para atender aos alunos.

O diagrama a seguir mostra o impacto do incidente nos subsistemas.



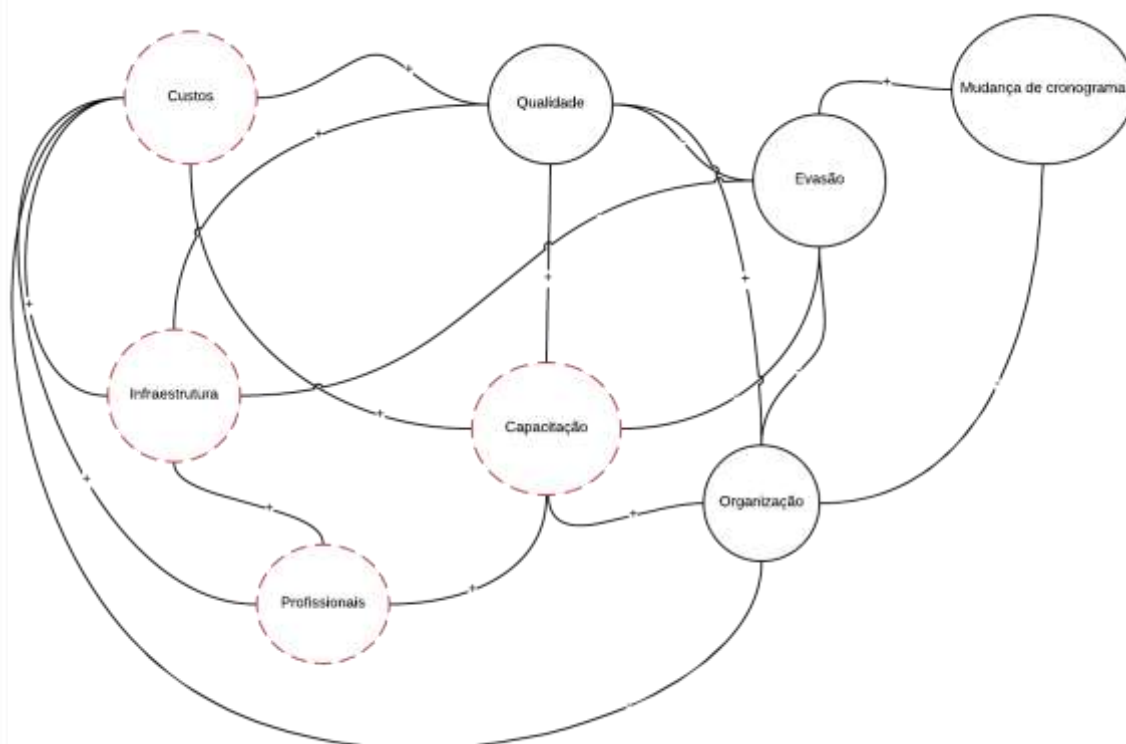


Figura 51: Impacto nas variáveis no incidente de criação de um novo curso

Como mostrado na figura 51, as seguintes variáveis são afetadas neste cenário: custos, infraestrutura, capacitação e profissionais. Com isso, um plano de contingência que poderia ser adotado seria formado por medidas que minimizem os impactos causados pela criação de um novo curso:

- Criação de um conselho para a definição de cronograma de trabalho para estabelecimento do novo curso
- Criação de fundo de apoio para custos de criação e manutenção de um novo curso
- Contrato temporário de profissionais para criação de material e capacitação de professores e mediadores.

#### **Como o sistema se comporta ao serem roubadas as provas?**

No CEDERJ existem avaliações a distância (AD) e avaliações presenciais (AP). As avaliações presenciais são realizadas nos polos, para onde são enviadas as provas. No dia 23 de maio de 2019 o veículo que transportava as provas da AP2 (segunda avaliação presencial) foi roubado e a avaliação teve que ser adiada. Os impactos desse incidente nos subsistemas do CEDERJ são os seguintes:

- A direção teve que refazer o cronograma de atividades. Teve também que replanejar a avaliação nos polos e criar condições para essa avaliação seja realizada.
- Os professores e a equipe responsável pela criação de material didático foi envolvida na construção de uma nova avaliação.
- Os mediadores e demais funcionários tiveram que se reprogramar para disponibilizar as avaliações nos polos depois da reorganização do cronograma.

- Os alunos foram impactados porque com a reorganização do cronograma, suas viagens para os polos precisaram ser remarçadas. Além disso, sua vida acadêmica precisou ser reformulada (novo cronograma de estudos).
  - Com a revisão do cronograma foi necessário um esforço da secretaria acadêmica para atender à reformulação de prazos dos alunos.
- O diagrama a seguir mostra qual é o impacto do incidente nos subsistemas.

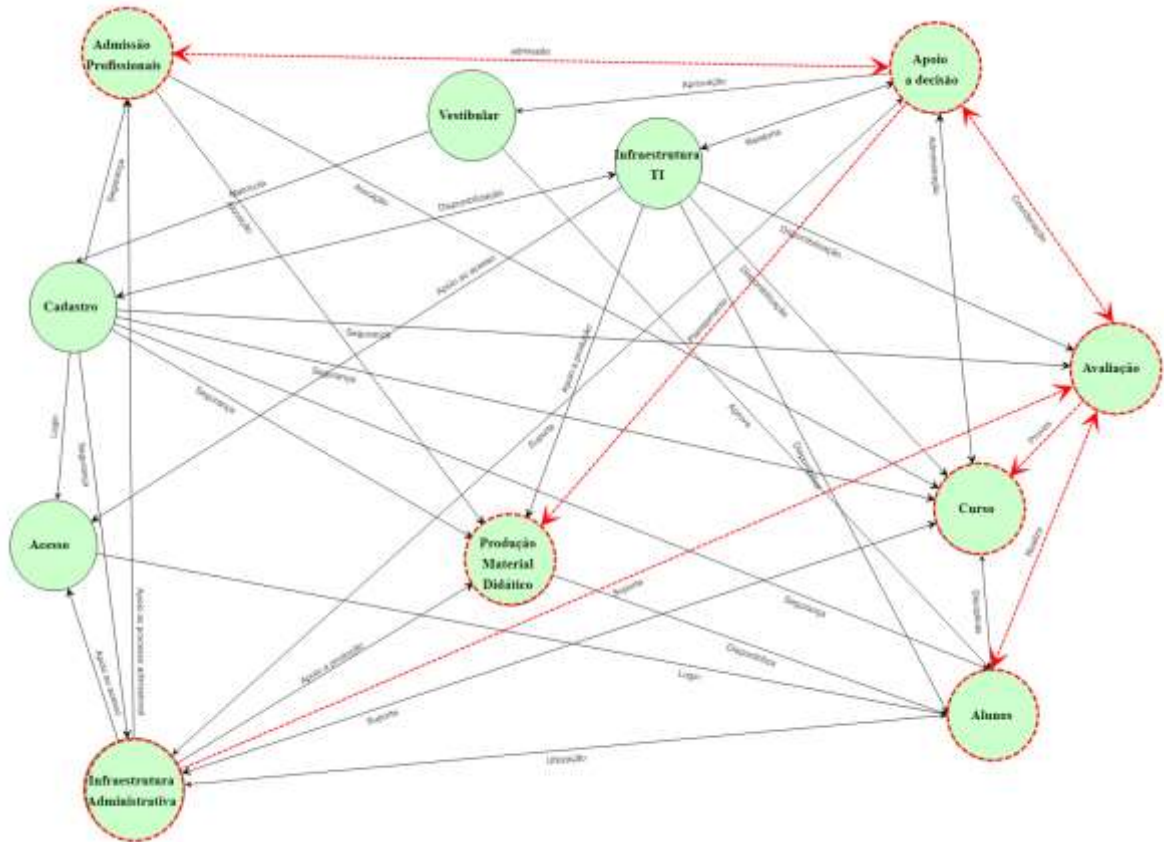


Figura 52: Impacto nos subsistemas do incidente de roubo das provas

Os subsistemas afetados neste cenário são os seguintes:

1. Admissão de profissionais;
2. Apoio à decisão;
3. Avaliação;
4. Curso;
5. Produção de material didático;
6. Alunos;
7. Infraestrutura administrativa.

De uma forma geral, os impactos atuam sobre os custos e organização do sistema complexo. O diagrama a seguir mostra a influência do incidente nas variáveis do sistema.

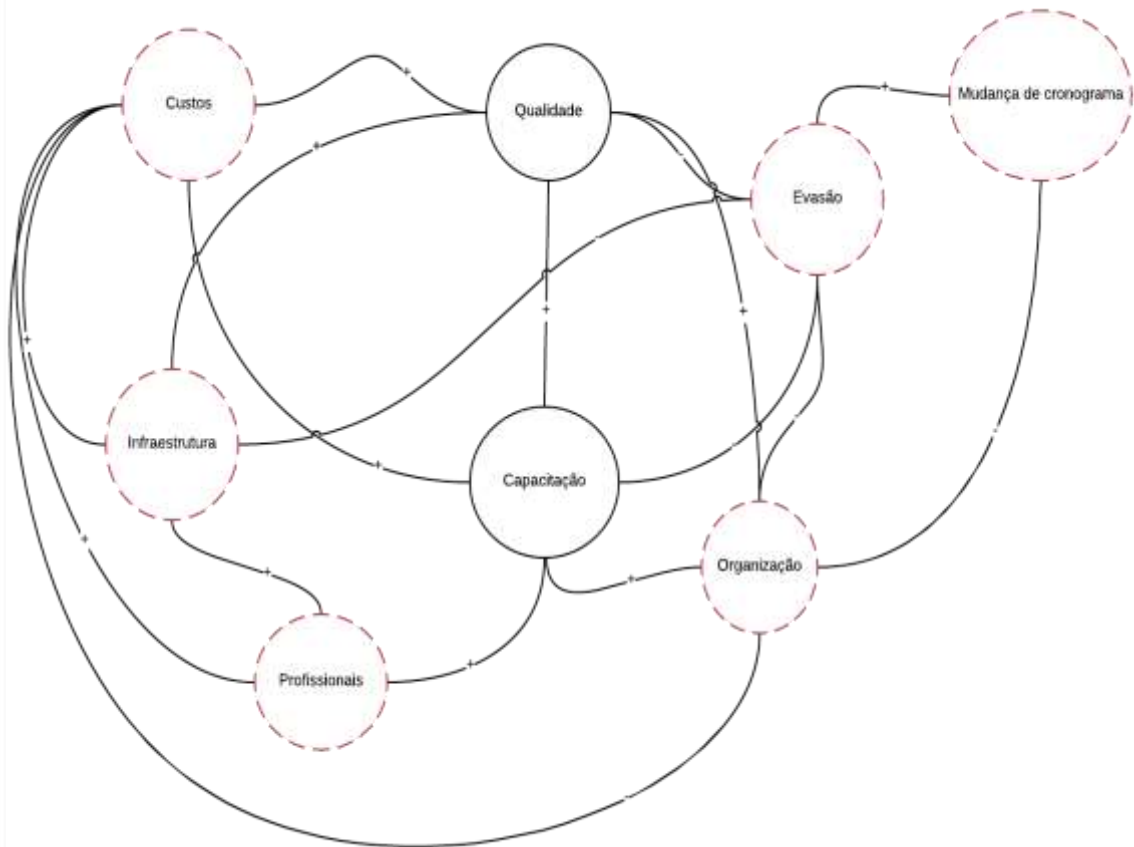


Figura 53: Impacto nas variáveis do sistema causadas pelo roubo das provas

De acordo com a figura 53, as seguintes variáveis seriam afetadas neste cenário: custos, evasão, mudanças no cronograma, infraestrutura, organização e profissionais. O plano de contingência para essa situação procurou criar condições para minimizar os impactos causados pelo incidente. As medidas formuladas foram as seguintes:

- Criar duas provas sendo que a segunda seria utilizada caso a primeira se extraviasse. Esta medida é difícil de implementar uma vez que demanda muito trabalho dos professores e da equipe de criação de material didático. Uma solução possível é fazer com que a prova sobressalente criada se torne a principal no próximo período correlato, por exemplo, avaliação 1 do 1º semestre sobressalente será utilizada como avaliação 1 do 1º semestre do ano seguinte.
- Criar um banco de questões dos quais as questões seriam sorteadas e fariam parte da prova. Assim uma nova prova pode ser criada em tempo menor. Essa solução demanda maior trabalho do professor que precisa criar um número de questões maior do que aquele utilizado por prova.
- Pedir escolta policial para distribuição de provas. É mais preventivo do que corretivo e demanda o apoio da polícia civil ou militar.
- Planejamento de dimensionamento do cronograma com folga para esse tipo de incidente. Nesse caso, o cronograma seria criado com datas alternativas às datas regulares para comportar a necessidade de adiamento de eventos como as avaliações

presenciais. Esse cronograma deve ser de conhecimento dos alunos e da secretaria acadêmica de forma a poderem se programar para eventuais mudanças.

- Planejamento de escala alternativa para mediadores e profissionais envolvidos na aplicação das avaliações. Assim, seria possível contar com uma equipe de apoio mesmo que a avaliação fosse remarçada.
- Criação de um fundo financeiro de emergência destinado para ser usado em casos emergenciais como este.
- Acompanhamento jurídico das investigações policiais sobre o caso, para determinar se são necessárias alguma ação interna para a melhoria da segurança do processo como, por exemplo, alteração nas rotinas de elaboração e distribuição de provas, punição de funcionários, colaboradores, estudantes, etc.
- Criação em caráter permanente de uma área de segurança da informação, abrangendo não apenas a área de TIC, mas também todos os ativos de informação da instituição, como as provas e suas questões. Esta estrutura ficaria responsável pelo acompanhamento e aplicação de novas políticas de segurança da informação definidas por órgãos/instituições voltadas para o assunto, bem como estabelecer políticas próprias baseadas na realidade do CEDERJ.
- Elaborar um plano de comunicação voltado para todos, mas especialmente para os alunos, sobre a possibilidade de ocorrerem atrasos na aplicação das provas presenciais de forma que todos estivessem preparados para eventuais incidentes. Neste plano, por exemplo, deveria constar as datas alternativas para a realização de uma prova.

### **Como o sistema se comporta com suspensão das bolsas, greve de profissionais e interrupção de infraestrutura?**

O corpo de profissionais do CEDERJ é formado por profissionais bolsistas (professores, articuladores e mediadores), profissionais contratados e servidores públicos (profissionais de apoio). Em uma situação de suspensão das bolsas os profissionais bolsistas não teriam condições de continuar trabalhando. Além disso, com uma greve de profissionais contratados e servidores públicos e interrupção na infraestrutura, os serviços de apoio seriam gravemente afetados acarretando na sua interrupção.

Como as consequências dessas situações determinariam uma parada no funcionamento do sistema, podemos dizer que isso se configura como um acidente. Como pode ser visto no diagrama a seguir, todos os subsistemas do CEDERJ seriam afetados ocasionando na interrupção do funcionamento do mesmo.



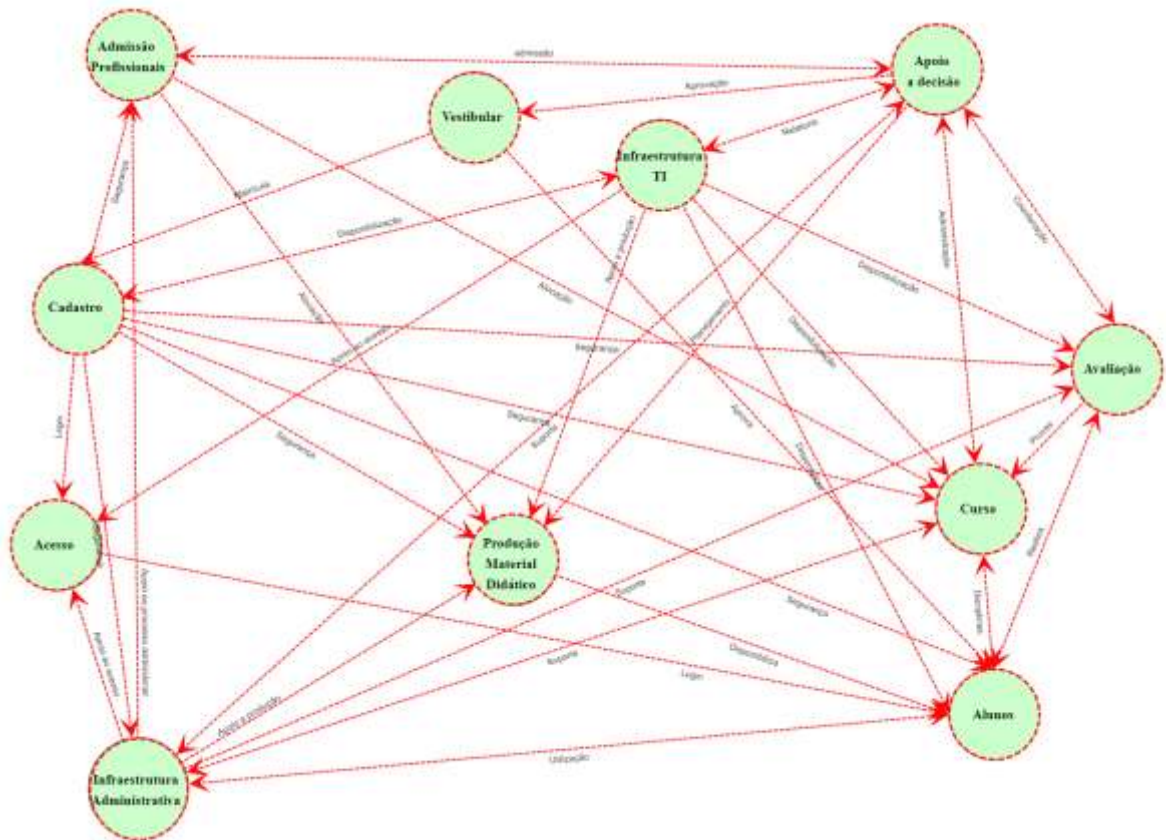


Figura 54: Impacto nos subsistemas do acidente

Dessa forma, todas as variáveis do sistema seriam afetadas como pode ser visto no diagrama abaixo.

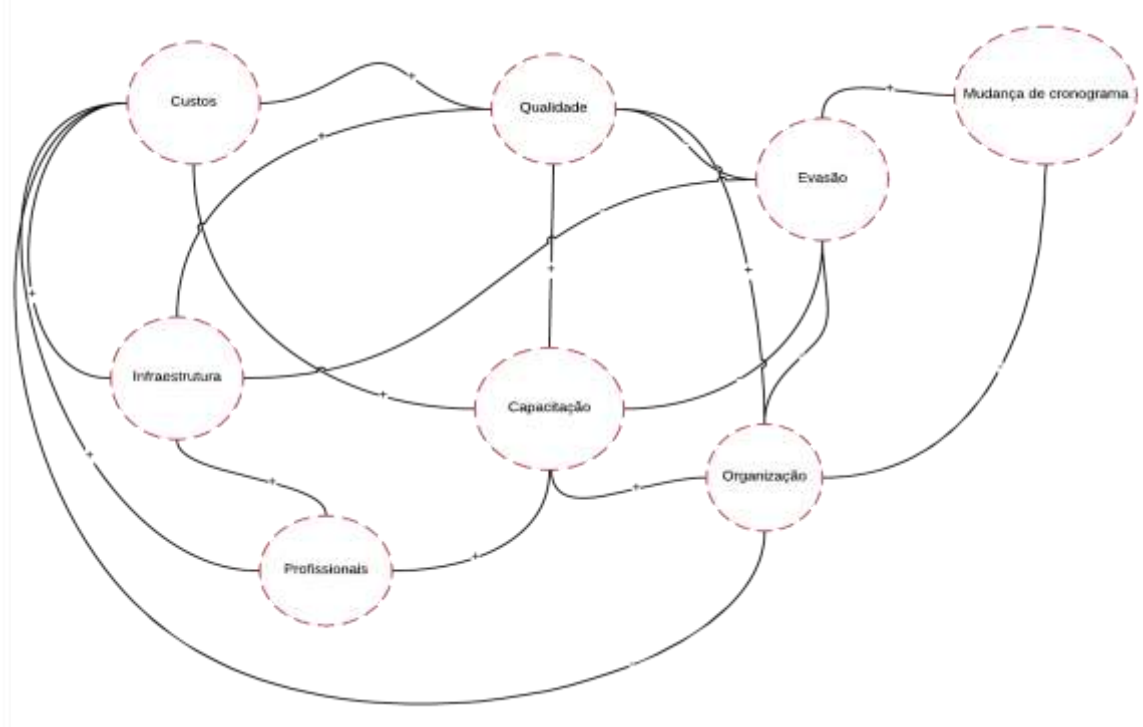


Figura 55: Impacto nas variáveis do sistema causadas pelo acidente



Como medidas preventivas e corretivas para um plano de contingências podemos citar as seguintes:

- Criação de fundo financeiro de emergência para provimento dos pagamentos das bolsas dos profissionais bolsistas.
- Acordo com os sindicatos e profissionais para que a greve seja feita de forma a manter os mínimo de serviços de apoio em funcionamento.
- Replicação de infraestrutura de forma a haver redundância no oferecimento de serviços de TI (rede e maquinário) e administrativos (pólos e fornecimento de materiais). No caso dos pólos, por exemplo, podem ser definidos locais de instituições que possam provisoriamente oferecer as mesmas condições dos serviços oferecidos pelos polos. Outro exemplo, que já é implementado, é a disponibilização de material didático na forma de DVDs servindo como um substituto do material *on-line*.
- Captação e formação de equipe de voluntários para suprir serviços de apoio e manter os pólos em funcionamento.
- Designação de carga horária para professores de curso presenciais atuarem como professores e mediadores do CEDERJ.

## 5 CONCLUSÃO

A luz da teoria da Complexidade, este trabalho tratou sobre a modelagem de sistemas complexos, particularmente aqueles chamados de adaptativos. O exercício de modelagem de um sistema, trata-se de uma tentativa de representação da realidade onde certos aspectos são valorizados em detrimento de outros, portanto, envolvendo a subjetividade daqueles que conduzem a investigação.

O primeiro problema abordado está relacionado ao funcionamento do processo cognitivo, dado o contato de um sujeito com um objeto real do conhecimento. Como explicado nos modelos apresentados, a produção do conhecimento acontece mediante a interação de incontáveis máquinas aprendentes que processam os dados captados e conversam entre si, articulando-se em níveis diferentes de complexidade. Dessa forma, processam desde pequenos fragmentos até complexas narrativas produzindo sentido na experiência do sujeito aprendente em questão.

Contudo, tal produção de conhecimento é diretamente influenciada por fatores exógenos as estruturas cerebrais, como os mecanismos de percepção do indivíduo e seu contexto que só pode ser entendido através de uma leitura interdisciplinar que articule múltiplos saberes. Esse conjunto de fatores também forma um sistema complexo que, por sua vez, sofre influência dos resultados cognitivos que emergem da coletividade de sujeitos aprendentes que populam o ambiente em questão.

O segundo problema abordado, investiga sobre um sistema de educação a distância, instanciado no caso do CEDERJ. Por tratar-se de um sistema sócio-técnico, como ponto de partida, são explicitados os atores e componentes que o constituem e mapeadas os processos presentes, agrupando-os em sistemas e subsistemas quando se faz pertinente.

Através de diagramas que explicitam as relações causais, foi possível explicitar como estes sistemas e subsistemas estão interconectados, e como problemas aparentemente isolados poderiam colocar todo o funcionamento do sistema de educação em distância em colapso. Portanto, como foi mostrado, a partir do uso de modelos com abordagem em complexidade, é possível entender os possíveis impactos negativos para consequentemente elaborar planos de contingência e ação que mitigariam os problemas.

Nos dois problemas abordados, a modelagem serviu como uma ferramenta que permite entender e tratar o fenômeno estudado, identificando variáveis que podem ser controladas dentro do universo de fatores que compõe o sistema. Em nenhum dos casos, se tratou de construir modelos com expectativas plenamente preditivas, antes porém modelos que permitam comunicar entre múltiplos saberes e viabilizar estratégias de intervenção para problemas reais que impactam a sociedade.

## REFERÊNCIAS

- BERGMAN, L. M.; MARTINAZZO, C. J. **Aprendizagem e educação a distância: reflexões sobre o olhar da complexidade**. VIII Colóquio Redes Estratégia e Inovação. Gestão do Conhecimento e Inovação. 2017.
- BIELSCHOWSKY, C. E. Consórcio Cederj: A História da Construção do Projeto. **Ead em foco**, [S.l.], v. 7, n. 2, set. 2017.
- CHAFFEE, M. W.; McNEILL M. M. A model of nursing as a complex adaptive system. **Nursing Outlook**, [S.l.], v. 55, n. 5, p. 232-241, 2007.
- ELIASQUEVICI, M. K.; PRADO JUNIOR, A. C. O papel da incerteza no planejamento de sistemas de educação a distância. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 309-325, 2008.
- GARCÍA, R. **Sistemas Complejos**: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Barcelona: Editorial Gedisa, 2006.
- GARCIA, R. **O conhecimento em construção**: das formulações de Jean Piaget à teoria de sistemas complexos. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- GUILFORD, J. P. Creativity. **American Psychologist**, v. 5, n. 9, p. 444–454, 1950.
- \_\_\_\_\_. **The nature of human intelligence**. New York: McGraw-Hill, 1967.
- GUIMARÃES, J.; DOURADO, M.; SANTIAGO, R. C. A complexidade da sala de aula. **Artefactum**: Revista de Estudos em Linguagem e Tecnologia, [S.l.], ano 8, n. 2, 2016.
- INHELDER, B. et.al. **O desenrolar das descobertas das crianças**: um estudo sobre as microgêneses cognitivas. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- INHELDER, B. et.al. **Working with Piaget**: Essays in Honour of Bär-bel Inhelder. Psychology Press. 2001. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Working\\_with\\_Piaget.html?id=z3I0Y1utdh0C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Working_with_Piaget.html?id=z3I0Y1utdh0C&redir_esc=y). Acesso em: 18 mai. 2019.
- HOLANDA, V. R.; PINHEIRO A. K. B.; PAGLIUCA L. M. F. Aprendizagem na educação online: análise de conceito. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, DF, v. 66, n. 3, 2013.
- LAGUARDIA, J.; CASANOVA, A.; MACHADO, R. A experiência de aprendizagem online em um curso de qualificação profissional em saúde. **Trab. Educ. Saúde**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, 2010.
- MARQUES, C. V. M. **EICA – Estruturas Internas Cognitivas Aprendentes**: um modelo neuro-computacional aplicado à instância psíquica do Sistema Pessoa em Espaços Dimensionais. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- MARTINAZZO, C. J.; GRIEBELER, J. G. A dinâmica não linear da educação a distância: um olhar a partir da complexidade. **Rev. Diálogo Educacional**, [S.l.], v. 18, n. 57, 2018.

MINAS, H. Leadership for change in complex systems. **Australas Psychiatry**, [S.l.], v. 13, p. 33-39, 2005.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.

\_\_\_\_\_. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

NUSSENZVEIG, H. M. **Complexidade e caos**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ/COPEA, 2003.

PALAZZO, L. A. M. **Complexidade, caos e auto-organização**. 1999. Disponível em: [http://algor.dcc.ufla.br/~monserrat/isc/Complexidade\\_caos\\_autoorganizacao.html](http://algor.dcc.ufla.br/~monserrat/isc/Complexidade_caos_autoorganizacao.html). Acesso em: 24 abr. 2019.

PRUYT, E. **Small System Dynamics Models for Big Issues: Triple Jump towards Real-World Complexity**. Delft: TU Delft Library, 2013.

VARGAS, F. M. A. et al. A educação a distância na qualificação de profissionais para o Sistema Único de Saúde: metaestudo. **Trab. Educ. Saúde**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, 2016.

SEMINÉRIO, F. L. P. **Elaboração dirigida: um caminho para o desenvolvimento metaprocessual da cognição humana**. Rio de Janeiro: FGV; ISOP, 1987.

SHIMAMURA A.; METCALFE, J. **Metacognition: knowing about knowing**. Cambridge: Massachusset Institute of Tecnology, 1992.

**Instituto Tércio Pacitti de  
Aplicações e Pesquisas Computacionais**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Cx. Postal: 2324 - CEP: 20001-970 - Rio de Janeiro - RJ  
Tel: (21) 2598-3212/2598-3130 - FAX: (21) 2270-8554