

# *Sistemas educacionais inteligentes*

Carla V. M. Marques, José Otávio P. Silva, Maira Monteiro Fróes, Priscila M. V. Lima, Claudia L. R. da Motta e Carlo E. T. Oliveira

Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais (NCE)

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Abstract:** Intelligent Educational Systems are computer environments where education is based and promoted by scientific principles. The intelligent education process encompasses the use of computational applications conveying metacognitive rules and interacting adaptatively with the student. Several intelligent processes collect individual and collective data from the students to compute their cognitive signature. This paper describes the specifications necessary to build intelligent educational systems. A dimensional model define measurements and requisits to build an educational system that will adapt and cater for the needs of each individual, preserving the neurodiversity of human kind.

**Resumo:** Sistemas Inteligentes educacionais são ambientes de computador onde a educação é baseada e promovida por princípios científicos. O processo de educação inteligente engloba o uso de aplicativos computacionais que transmitem regras metacognitivas, interagindo adaptativamente com o aluno. Vários processos inteligentes coletam dados individuais e coletivos dos alunos para calcular sua assinatura cognitiva. Este documento descreve as especificações necessárias para construir sistemas educacionais inteligentes. Um modelo dimensional define medidas e requisitos para construir um sistema educacional que vai se adaptar e atender às necessidades de cada indivíduo, preservando a neurodiversidade da espécie humana.

A educação é o grande desafio para o aumento do desenvolvimento e qualidade de vida no Brasil, uma dívida deixada em moratória pelo avanço tecnológico e em particular pela computação. Mesmo o recurso mais avançado disponível para cursos informatizados é uma adaptação da sala de aula tradicional para mídias eletrônicas. A maior parte da educação é um processo massificado e que não desenvolve as habilidades e competências de grande parte da população humana. Apesar de grandes avanços da neurociência e da psicologia cognitiva no entendimento do cérebro aprendente, a velocidade em que as descobertas chegam à educação é insuficiente para torná-la mais palatável eficaz e eficiente.

A educação ainda consome enormes quantidades de horas diárias e dezenas de anos moldando o indivíduo para um resultado em que seus potenciais não são usados plenamente. As soluções para os desafios da computação na educação perpassam por novos processos educacionais que levam em conta a individualidade de cada ser e forneçam a educação adequada para as suas necessidades específicas. Os altos custos inviabilizam alocar um professor para cada aluno e a contribuição da computação deve fornecer uma solução que multiplique a atuação de um único professor e ainda permita que ela seja personalizada para cada aluno. Assim surgem os sistemas educacionais inteligentes, capazes de executar esta paramediação entre professor de forma ágil e efetiva.

## **Conceituação**

Sistemas educacionais inteligentes são ambientes que dominam a experiência de aprendizado do aluno na totalidade ou grande parte do processo educacional. Estes sistemas se ocupam de monitorar e coletar todas as informações recebidas do aluno individualmente e socialmente. O

monitoramento deve resultar em ações imediatas que aproveitam janelas de oportunidade e criam as situações propícias de aprendizado.

Quando realizamos a análise heurística dos resultados de capturas cognitivo-linguísticas encontramos modelos refinados de ações psíquicas (operatividade observável). Diante dos desafios oferecidos pela *educação de base científica*, encontramos *clusters* de padrões decorrentes de perfis. Estes perfis são constituídos pela disposição de marcadores objetivos de respostas que se agrupam por semelhança. São formados pelo somatório de assinaturas cognitivas particulares dos jogadores em diferentes momentos de sua trajetória. Tais marcadores compilados como padrões, tornam-se passíveis de serem descritos e reconhecidos por intermédio de programas de *machine learning*. Marcadores são "indicadores" passíveis de serem analisados pela forma. E quando combinados, revelam também informações emergentes sobre processos cognitivo-linguísticos simultâneos e sucessivos não diretamente observáveis e que ainda são um limite para a ciência.

O modo personalizado de cada educando usar suas estratégias operativas para percorrer e decifrar as relações entre diferentes redes epistêmicas implícitas no jogo, viabiliza por meio da inteligência artificial, o entendimento da transitividade do pensamento em tempo real. Desta forma o processo educacional reage adaptativa e evolutivamente de acordo com as atitudes do educando quando este cria soluções previsíveis em conformidade com um gradiente matematizado de diferentes níveis e tipos. O encadeamento de procedimentos psicológicos e aplicações de esquemas formam um entrelaçamento de relações de regras generativas no pensamento e que se realizam através da migrações de invariantes transpostos entre diferentes áreas do conhecimento.

Desta forma homens e computadores interrelacionam-se, elevando-se mutuamente. Os computadores compreendem, interpretam, se adaptam e evoluem para responder em tempo real às intervenções e estímulos que recebe. Da mesma forma o cérebro humano desafiado, precisa se tornar incremental para continuar interagindo e criar desafios em novos patamares de complexidade para a máquina.

Descrever e conhecer os padrões mais sofisticados da mente humana, por conta de sua natureza dinâmica (Inhelder, 1996), permite o homem ser transformado pela máquina e dialeticamente modificá-la criando uma interação infinita: cérebro-mente humana e hardware-software computacional, isto significa identificar um emaranhamento quântico homem-máquina.

Com posse desses resultados, os sistemas educacionais inteligentes tornam-se máquinas aprendentes que paramediam interações autônomas com objetos reais de conhecimento e quando colaborativos, intensificam as interações entre educandos. A finalidade é provocar saltos cognitivos nos participantes. A paramediação interativa precisa ser dinâmica, buscando provocar a tomada de consciência das regras generativas implícitas nos games inteligentes. Isto significa tornar-se capaz de reaplicar operações lógico-gramaticais na forma de um grupo de estruturas canônicas constituídas por regras universais da cognição. Este processo torna o ser humano capaz de realizar a transitividade do pensamento utilizando padrões estruturais e algorítmicos entre os sistemas aplicados às diferentes linguagens do conhecimento. Por isso, um dos atributos mais relevantes dos games inteligentes é a interação evolutiva e adaptativa no desenrolar dos seus desafios (Marques, 2009).

A educação convencional consiste em aumentar o nível de informação dos conteúdos didáticos do educando. Já nos sistemas educacionais inteligentes, o educando enfrenta desafios calculados para interferir no processo de aceleração da cognição. As informações são capturadas de modo a possibilitar a visualização das dimensões da cognição, armazenando dados pertinentes e comparando-os com as teorias da mente pré-existentes (Marques, 2009).

Cada processo educacional inteligente é único em sua especificidade e arquitetura de construção. A perspectiva neuro-pedagógica respalda o processo de ensino-aprendizagem para uma abordagem lúdica e coerente com conteúdos didáticos interativos. O design metacognitivo é o principal diferenciador desta engenharia educacional, proporcionando oportunidades de disparar informações sobre os esquemas e representações mentais de alta complexidade (Marques, 2009, Inhelder, 1996).

Esta engenharia requer a construção de instrumentos de medida específicos e modelados para funcionar durante a execução dos games. São crivos matematizados que após tratamento dos dados que coletam possibilitam a identificação de um índice dinâmico qualitativo da metacognição. Mas não há fórmulas pré-concebidas de modelos para a criação de processos educacionais inteligentes, mas uma série de etapas sucessivas e simultâneas de tarefas que incluem várias áreas de conhecimento (Marques, 2009).

A proposta dos sistemas educacionais inteligentes é realizar em tempo real, duas fases: análise da assinatura cognitiva do educando e paramediação personalizada adaptativa e evolutiva para o salto cognitivo. A análise da assinatura cognitiva revela a natureza e funcionamento psíquico. Com essas informações colhidas durante o aprendizado podemos determinar que tipo de mediação deve ser utilizada para que o educando construa novos processos mentais para realizar um salto cognitivo (Marques, 2009, Puchkin, 1969).

A maneira mais prática de se criar um Sistema Educacional Inteligente é através da gamificação do processo educacional. Para isso, um processo de desenvolvimento específico é aplicado para construir um game que não só seja capaz de ensinar uma determinada competência mas também rastreie a interação segundo um modelo estabelecido. O processo visa garantir que o aprendizado não seja superficial e que o modelo do game seja capaz de se adaptar monitorando a evolução do aluno.

## **Processo de Criação de Sistemas Educacionais Inteligentes**

A construção de Sistemas Educacionais Inteligentes requer uma engenharia de desenvolvimento baseada em um modelo de pesquisa científica. O tema a ser aprendido é baseado em um sólido referencial teórico para que resulte em um modelo dimensional relevante. Com o espaço dimensional definido, o processo educacional pode ser inventado, levando em conta os preceitos determinados pelo estudo das bases científicas. Neste processo criativo, a arte inicial do processo educacional é pareada com os requisitos do modelo cognitivo, definindo os episódios de aprendizado. A pedagogia fica a cargo de um estudo das possíveis interações do educando e o significado das respostas dentro do conteúdo ensinável. Todas estas informações são reunidas para dar corpo final ao processo educacional, agregando as regras que serão estabelecidas para o educando e para o engenho que representa o modelo matemático da teoria.

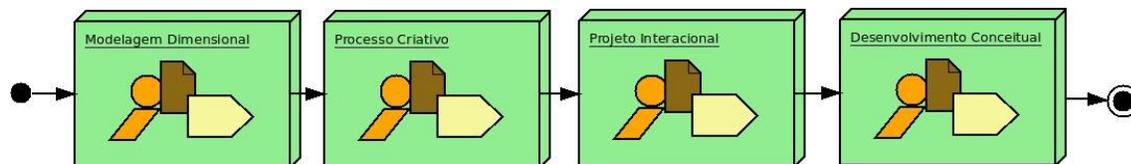


Figura 1 Processo de Criação do Sistema

## Esquema do Processo de Construção

Os documentos são gerados em diversas atividades envolvendo uma equipe interdisciplinar. As atividades iniciais são formalizações das teorias embasantes feitas por cientistas da educação e especialistas do tema abordado pelo processo educativo em particular. O especialista do tema, que pode ser um professor de sala de aula, leva os conceitos modelados para artistas traduzirem estes conceitos em linguagem, música e imagem. Profissionais de ensino estudam as potenciais respostas que se esperam dos educandos e ponderam a relevância destas respostas no escopo do conhecimento que está sendo estudado. O processo educacional poderá ser finalizado por uma equipe de designers, engenheiros e desenvolvedores.

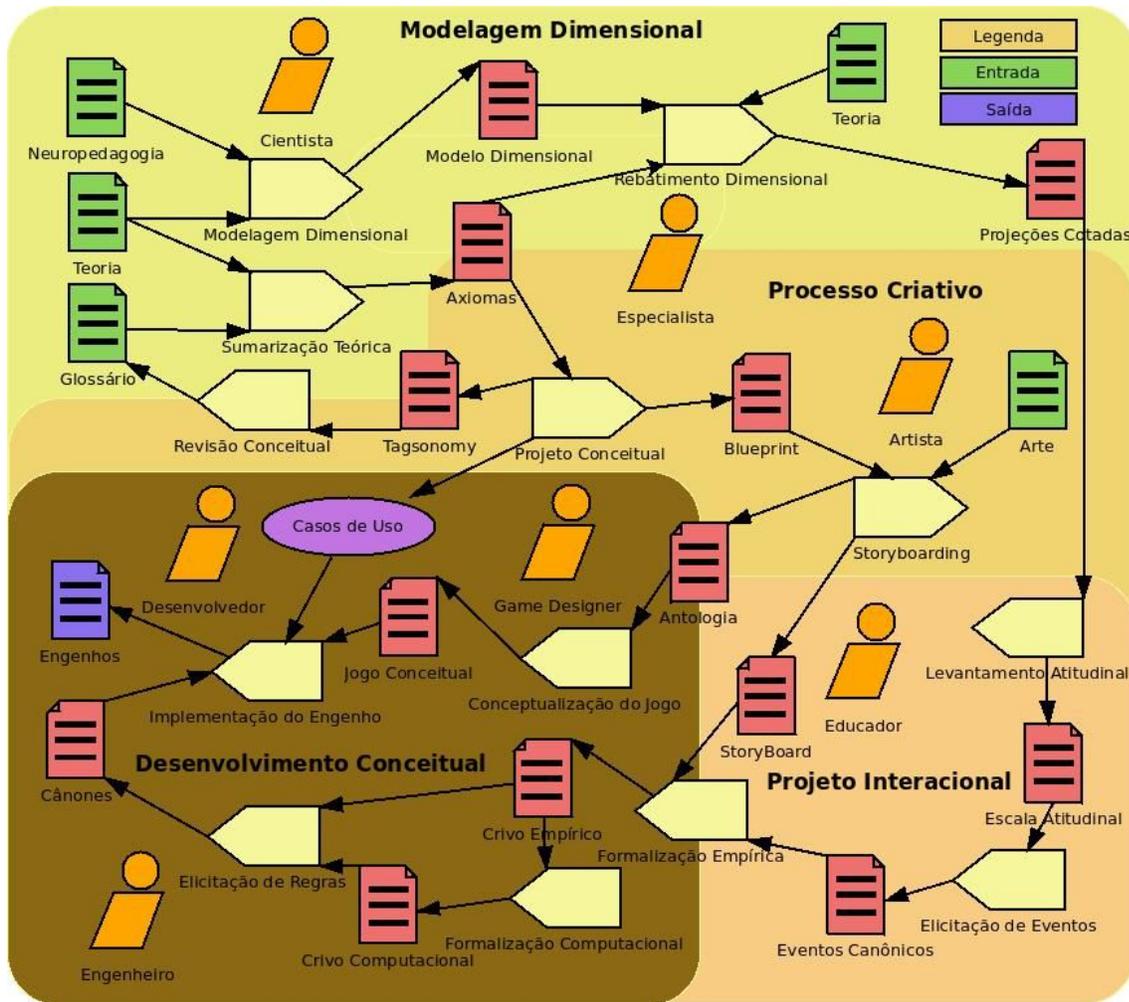


Figura 2. Processo Completo da Construção de um Sistema Educacional

## O Modelo Dimensional

Todo game é capaz de trabalhar a cognição humana em diversas dimensões. Estas dimensões devem ser consideradas dentro da visão cognitiva que se quer mensurar e intervir. O espaço dimensional deve ser projetado de modo a conter todas as dimensões relevantes e ao mesmo tempo deve reduzir ao máximo estas dimensões em uma simplificação de engenharia. O modelo dimensional é o espaço onde se desenvolve o itinerário do sujeito aprendente. Este espaço é coordenado pelos eixos ortogonais representando cada dimensão nas magnitudes previstas. Cada ponto no espaço representa a competência do indivíduo naquele momento. Os deslocamentos no espaço representa transições entre competências ou estados competentes.

Tabela 1 Modelo Dimensional do Domínio da Matemática

<b>magnitudes/dimensões</b>	<b>Descontínuo</b>	<b>Contínuo</b>
<b>números</b>	<b>Inteiros</b>	<b>Reais</b>
<b>operações</b>	<b>multiplicação</b>	<b>divisão</b>

Modelo dimensional deve ter domínio, ortogonalidade e grandeza. No exemplo se faz o recorte do domínio da matemática em duas dimensões ortogonais entre si, o contínuo e o descontínuo. As grandezas destas dimensões são competências a serem adquiridas na matemática. No exemplo é presente o recorte com apenas as duas grandezas números e operações.

Os desafios da modelagem dimensional é o extenso trabalho de criação necessário para cobrir a educação mínima e a adequação destes modelos para a criação de contrapartidas computacionais. O tamanho da tarefa propicia que ela seja abordada por diversos laboratórios e pesquisadores de áreas interdisciplinares. É uma tarefa que nunca será concluída, pois a medida que o conhecimento avança, novos modelos ou atualizações em modelos existentes irão surgir. A aderência do modelo à uma implementação computacional efetiva requer um estudo aprofundado de vertentes filosóficas, científicas e de engenharia. O modelo deve ser capaz de atender às expectativas de um Sistema Educacional Inteligente, possibilitando que o estudante seja compreendido em suas necessidades e paramediado adequadamente. A teoria e o processo que garanta isso é algo que precisa ainda ser pesquisado. Isto abrirá novas frentes de pesquisa dentro da área de computação aplicada e também na criação de uma especialidade da engenharia de software que tornasse uma engenharia educacional computadorizada.

## Processo Criativo

O modelo dimensional combina teoria da educação com a engenharia para formar a base de construção de um modelo conceitual. O modelo conceitual é um conjunto de especificações sob diversas visões delimitando um produto educacional contextualizado no modelo dimensional construído.

O modelo conceitual requer que se enumere um conjunto de axiomas definindo os aspectos do produto educacional em alto nível. Os principais axiomas se originam da área teórica subjacente à carga útil do produto educacional. Outras axiomas são de áreas mediacionais que vão garantir que a carga útil atinja o seu propósito. Os requisitos resultantes deste detalhamento definem as interações que o educando faz com o processo educacional e as reações que o processo pode apresentar. Um blueprint pode ser construído com um simples relato textual em parágrafos ou itens de tudo que se pretende construir no aprendizado. O modelo mais completo e formal do blueprint é o um modelo de casos de uso. O modelo feito em casos de uso podem ter diversos níveis de detalhamento segundo as necessidades de refinamento.

A antologia é uma coleção de histórias minimalistas ou microepisódios que descrevem cada um dos requisitos da planta baixa, relacionadas ao desenrolar dos episódios constituintes do enredo do processo educacional. O storyboard é uma amostra destas histórias contextualizada com a apresentação do ensinamento ao educando normalmente em uma forma de rascunhos gráficos. As micro histórias antológicas são selecionadas a partir de diversas histórias candidatas usando como critério a taxa de relevância que elas projetam nos eixos dimensionais. As histórias são relevantes e portanto antológicas na medida em que revelam estados e processos cognitivos pertinentes ao espaço de investigação e intervenção do processo educacional. Numa antologia os microepisódios são classificados usando uma tipologia folksonômica, ou seja, palavras-chave são atribuídas a cada um deles, e pareados com os axiomas de onde se originam.

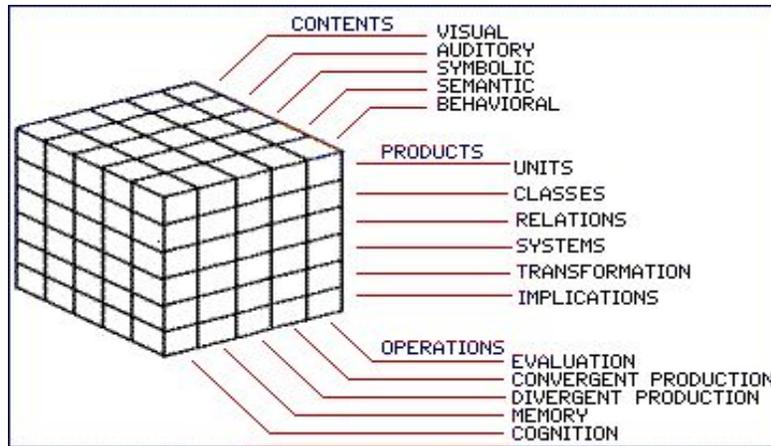
## **Projeto Interacional**

A construção de qualquer conhecimento humano é feita através de um conjunto de atitudes inconscientes e conscientes em um ciclo cognitivo-volitivo. Esta mecânica é conhecida como processo das microgêneses cognitivas. Estas atitudes estão dispersas ao longo de um escopo de funções cerebrais cognitivas apresentando diversos níveis de observabilidade. Estas atitudes pertencem a um módulo procedimental, que é uma sequência de operações requeridas para executar um ato cognitivo-volitivo intencional. A escala atitudinal relata conjuntos de atitudes pertinentes a cada módulo procedimental e as magnitudes que cada uma delas representa dentro do procedimento. Estas magnitudes representam a relevância de cada atitude para o reconhecimento da natureza do procedimento. A computação ponderada destas atitudes permite discriminar um conjunto de eventos que disparam a marcação de um registro em um ou mais eixos dimensionais.

Todas as interações observáveis do educando com o processo educacional são oportunidades de se registrar a sua assinatura cognitiva, a maneira como ele adquire conhecimento a partir do aprendizado. No entanto, o registro indiscriminado de todas as interações pode gerar uma massa de dados muito grande e de difícil interpretação. No projeto da planta baixa os requisitos referenciam os axiomas teóricos e determinam junto com o quadro de projeções a relevância de cada observação. O repertório de eventos canônicos é construído elencando eventos do educando ou ativados pelo processo que representam oportunidades de observação e intervenção. A coleção de eventos canônicos é a mínima coleção de eventos capaz de discriminar todos os módulos procedimentais requeridos na investigação e intervenção projetadas para um determinado processo educacional.

Em um sistema dimensional que lida com fatores humanos, nem sempre as dimensões são contínuas ou isotrópicas. As magnitudes nestas escalas muitas vezes são pontuadas por marcadores abstratos descritos por uma situação reconhecível e muitas vezes complexa. No modelo dimensional de Guilford (figura 3) vemos a dimensão de produto pontuada por magnitudes discretas como unidade, sistema, relação, transformação e implicação. O mapeamento axiomático normalmente já descreve um conjunto de marcadores que podem ser atribuídos a cada uma das dimensões pertinentes (projetadas). O crivo empírico deve relacionar conjuntos de eventos canônicos a cada uma das marcações arbitradas no modelo dimensional. O

crivo empírico deve conter então a relação da escala atitudinal com a marcação dos eventos canônicos nas respectivas dimensões pertinentes. O crivo empírico é o filtro que discrimina os diversos estados cognitivos observáveis descritos nos referenciais teóricos.



**Figura 3. Teoria de Guilford sobre a Estrutura do Intelecto**

Marcadores são descrições que podem definir pontos em uma ou mais dimensões. Alguns marcadores podem ser referenciados a uma dimensão e incorporar a escala atitudinal definindo pontos discretos que serão valorados no crivo empírico. Os marcadores podem ser conceitos abstratos e serem observáveis a longo prazo ou apenas por uma observação objetiva. Neste caso eles dificilmente podem ser transladados para o crivo computacional, mas servem como sistema de calibração do processo educacional quando aplicado em um ambiente controlado.

Com o avanço da neurociência e computação, novas possibilidades surgem para um tratamento mais refinado e introspectivo de todos os dados que emanam dos processos educacionais. O crivo computacional deve ser baseado na hipótese de que diversos estados e atitudes não observáveis podem ser inferidos em processos de mineração que vão além dos dados coletados. O crivo computacional avançado normalmente inclui um modelo matematizado da antologia baseado no mapeamento axiomático. Este modelo é norteado por estratégias conceituais do raciocínio ou gambitos mentais. Gambitos mentais são estruturas-processo que condensam a habilidade de raciocinar do cérebro pensante.

O principal conceito que norteia a construção e operação de sistemas educacionais inteligentes é a transitividade metacognitiva. Este conceito define a existência de uma cognição de alto nível que resume todos os conhecimentos e capacidades em metaregras universais. O cânone emissário representa o conjunto de regras e metaregras que o aprendizado consegue elicitar no educando. Estas regras devem estar embutidas na inteligência cibernética do sistema educacional e no seu design metacognitivo para que desperte as regras correspondentes na cognição do educando. O cânone tributário ou afluyente é construído quando o propósito da educação é de prótese cognitiva. O sistema educacional deve ser criado para que seja o excipiente de um conjunto de regras ou metaregras que devam ser implantadas na cognição do educando.

O cânone emissário é um conjunto de regra que tentam mapear aquelas que o educando já deve saber. O esforço de construção deste cânone está focado na formalização das regras que o

aprendizado pode suscitar no educando. Estas regras devem ser enunciadas de modo que um algoritmo computacional detecte o uso delas pelo educando (tabela).

O cânone tributário é feito com as regras determinadas pela teoria que embasa o processo educacional. O crivo computacional discrimina quando o educando viola alguma regra que está definida na teoria. O engenho então deve estar programado para que o educando possa aprender a regra. O processo educacional passa a oferecer desafios ligados à descoberta da regra desejada. Uma outra opção é o uso de um processo chamado elaboração dirigida. Na elaboração dirigida, as perguntas ou desafios procuram instigar o educando a explorar uma visão do problema que ainda não foi coberta por ele.

## **Desenvolvimento Conceitual**

O desenvolvimento conceitual é feito a partir de uma descrição abrangente de alto nível de toda a mecânica e dinâmica do processo educacional. Um conjunto de invariantes são estabelecidos para representar as metaregras embutidas no processo e a partir destes invariantes é levantado o espaço de divergência oferecido para o educando.

Sistemas educacionais inteligentes são construídos dentro de uma perspectiva científica. O método científico permite a construção do sistema usando modelos matemáticos. Estes modelos matemáticos podem ser incorporados tanto no cliente como no servidor através de engenhos computacionais. Esta modelagem é o principal diferencial entre um modelo educacional tradicional e um inteligente. A pedagogia da educação convencional leva em conta apenas a transmissão de um conteúdo e sua assimilação pelo educando. O modelo e o engenho do sistema educacional inteligente incorporam conhecimentos científicos sobre o comportamento do educando e principalmente sobre suas competências e habilidades mentais. O modelo matemático computacional descreve o comportamento esperado do educando segundo uma dada teoria e representa o processo educacional segundo este conceito hipotético. O engenho computacional é um sistema de software que incorpora na pedagogia todo o modelo matemático concebido pela teoria. O engenho se encarrega de acompanhar as interações do educando e validar segundo o modelo programado. Durante todo o processo de aprendizagem o engenho reúne os dados de todos os educandos no banco de dados e aplica o modelo definido para aspecto cognitivo estudado. O engenho faz inferências no conjunto de dados e levanta o grau de validade do modelo estudado. A parcela validada do modelo interage com o processo de aprendizagem, configurando otimizações no engenho computacional. Registros de ações do educando que forem irrelevantes podem ser suprimidos. Ações programáticas previstas pelo modelo validado podem ser ativadas para realizar novas interações com o educando.

O modelo matemático de um processo educacional inteligente pode ser obtido a partir da matematização dos axiomas teóricos ou a partir de um forma mais refinada advinda do crivo computacional. O modelo matemático é uma representação formalizada das teorias que embasam o processo educacional juntamente com os aspectos neuropedagógicos usados para garantir que as competências, habilidades e conhecimentos sejam assimilado pelo educando. A teoria já tem a sua primeira representação no mapeamento axiomático. Os axiomas devem ser acompanhados por uma formalização que permita a sua incorporação em um engenho computacional. Os conceitos teóricos são mapeados em blocos funcionais do modelo que são responsáveis pelo acompanhamento do processo neuropedagógico educacional segundo os preceitos teóricos. Os aspectos neuropedagógicos são aqueles diretamente ligados à monitoração e controle da

aprendizagem, em um modelo de metacognição artificial. O modelo neuropedagógico reúne requisitos advindos dos crivos e do cânone elaborativo para definir uma representação matemática do processo educacional e do educando.

O engenho computacional tem o propósito de implementar no processo educacional o modelo matemático e vários outros aspectos definidos pelos documentos neuropedagógicos. O engenho computacional tem a sua origem no modelo matemático e incorpora outros requisitos refinados advindos de documentos neuropedagógicos mais detalhados. O engenho é um sistema que envolve diversas partes que refletem a complexidade do processo educacional implementado (figura 4). Cada processo recebe um engenho cliente unitário que implementa os cânones de regras definidas na especificação do sistema educacional inteligente. O cânone tributário controla as respostas que o cliente dá quando os limiares prescritos pelo crivo computacional são ativados. O cânone emissário avalia as interações do educando definidas pelos eventos canônicos e envia para o engenho de coleta através do engenho conectivo. O engenho conectivo gerencia processos educacionais coletivos e gerencia o crivo computacional coletivo através de um módulo reator. O engenho de coleta registra um documento para cada educando contendo todos os dados coletados em todos os processos educacionais que ele participou. O módulo de acesso calcula as assinaturas cognitivas dos educandos definidas no modelo matemático e provê acesso aos prognósticos neuropedagógicos para o engenho de análise e especialista. O engenho de análise executa a parte avançada do modelo matemático que incorpora inteligência computacional e outras análises que envolvem big data e não são feitas em tempo real. O engenho especialista é acoplado a um aplicativo que educador usam para interagir com os dados processados pelo sistema. Ele contém um filtro que determina as visões que o educador deseja observar de cada educando tanto em tempo real como nas assinaturas temporais. O módulo interventor tem uma versão especial do modelo matematizado que permite decisões do educador para cada educando ou para um grupo de assinaturas cognitiva. Essas intervenções são roteadas para o módulo adaptativo do Engenho unitário, afetando os processos educacionais determinados.

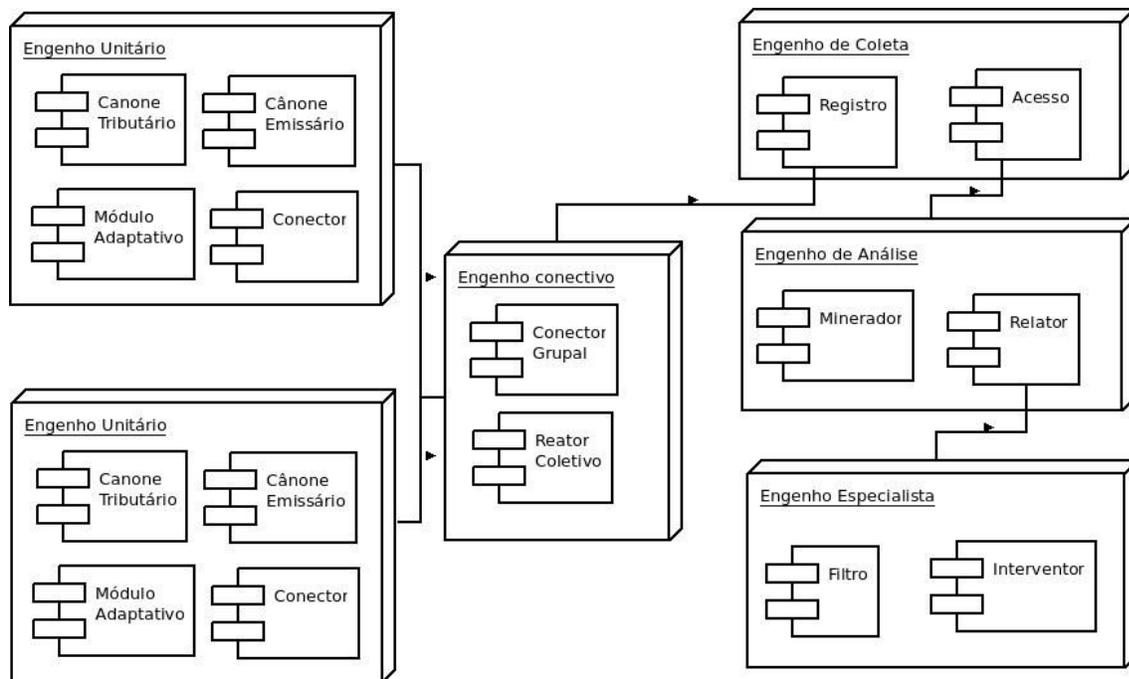


Figura 4. Componentes de um Engenho para Sistemas Educacionais Inteligentes

## Análise e Paramediação

A coleta de informações do aluno proporciona uma visão estratégica da totalidade do alunado que permite a sintonização social e o traçado de grandes rumos. O núcleo do sistema de educação é um modelo da mente aprendente do aluno sintonizado por aprendizagem de máquina, e um conjunto de heurísticas que adaptam o ensino ao momento e estilo de aprendizagem do aluno. O ápice de um sistema educacional inteligente é um processo gamificado onde o total do aprendizado se dá em um conjunto de situações problemas que fazem parte do enredo de um game. O game incorpora a simulação mais apropriada da situação que exige a competência e as habilidades que um aluno ou grupo tem de adquirir. Um sistema de ensino assim não precisa de uma avaliação em separado, mas a avaliação é feita de maneira contínua, ajustando progressivamente os aspectos do problema até que ele possa ser completamente dominado pelo aluno. A avaliação é então parte integrante do aprendizado e deixa de ser a experiência frustrante de passar ou falhar. Os dados colhidos nesta avaliação servem para aperfeiçoar a inteligência do sistema que vai se tornando mais eficiente na adaptação do modelo personalizado de aluno.

Informações coletadas em um sistema educacional inteligente são oriundas de todo o tipo de interação do educando com o processo educacional. Os sistemas clientes devem enviar um conjunto de dados recolhidos para o servidor, segundo os crivos que estão programados nele. Inicialmente uma interface padronizada de coleta é definida para todo e qualquer processo educacional (tabela 4).

Tabela 2. Interface Padronizada de Coleta

<b>coluna/quesito</b>	<b>descrição</b>	<b>relevância</b>
<b>marcador</b>	<b>Objeto referenciado na interação</b>	<b>Seleção de um ou mais interadores</b>
<b>posição</b>	<b>Localização terminal do objeto</b>	<b>Decisão do objetivo a ser alcançado</b>
<b>ação</b>	<b>Modelo de interação usado</b>	<b>Regra generativa aplicada</b>
<b>pontuação</b>	<b>Índice de sucesso calculado pelo crivo</b>	<b>Correlação da regra usada com a teórica</b>
<b>tempo</b>	<b>Tempo usado para fazer a interação</b>	<b>Assinatura temporal do processo mental</b>
<b>resultado</b>	<b>Estado cognitivo registrado pelo crivo</b>	<b>Assinatura espacial do processo mental</b>

Estes dados são o mínimo requerido para se obter uma assinatura cognitiva pertinente. No entanto, processos educacionais mais complexos podem requerer uma interface de coleta mais extensa que deve ser definida no crivo computacional e incorporada e analisada pelo sistema central. Na interface mínima fica definida a série temporal de ações que definem as respostas dadas pelo educando ao processo educacional corrente. Nesta série pode-se analisar o ganho do aluno ao longo de todo o processo, definindo a receptibilidade que o processo alcançou. Em um resultado amostrado, os crivos computacionais avaliam tudo o que foi registrado e comparam com prognósticos e outros resultados classificados. Esta comparação permite selecionar mudanças no processo que beneficiem o aprendizado deste estudante. A oferta deste novo aprendizado pode ter sido recomendada pelo embasamento teórico ou reconhecida por similaridade a outro estudante que obteve melhor resultado em um outro contexto.

Como exemplo podemos demonstrar o problema de manobragem de trens adaptado de um sugerido por Bärbel (Inhelder 1996). É um problema de lógica para estudar como uma pessoa usa seus recursos para resolver uma situação que só tem uma resposta final mas com inúmeras maneiras de resolver. Na figura vemos um trem que precisa ser invertido e uma junção que pode ser chaveada para que o trem possa seguir pela seção norte ou sul. O estudante pode manobrar o trem para frente e para trás, desengatando ou engatando porções do comboio (Figura 5).



Figura 5. Problema da Manobragem de Trem

A tabela é uma amostragem do resultado deu uma sessão onde se resolve o problema. O marcador se refere à combinação do comboio onde loco é a locomotiva, good é o vagão de mercadorias e ceme é o de transporte de cimento. A posição é o segmento de trilho para onde a locomotiva se deslocou. A ação é dada por o, origem; b, voltando; f, avançando; u, desengate acima; d, desengate abaixo e c, chaveia a junção. No resultado temos apenas dois resultados aparentes o normal e o sucesso. A pontuação é dada por um crivo que avalia a qualidade das decisões tomadas e o avanço em direção da solução. Este processo não incorpora inicialmente nenhuma paramediação, ou seja, ele não fornece nenhuma intervenção baseada no acompanhamento do estudante.

Tabela 3. Amostragem de Coleta de Dados do Problema Trem

Marcador	Posição	A	Pontos	Tempo	Resultado
ceme:good:loco	FRWEST	o	0	0.0159997940063	NORMAL
good:loco	FRWEST	d	1.86666666667	6.86099982262	NORMAL

ceme:good:loco	WEST	f	2.49714285714	15.6749999523	NORMAL
loco	WEST	u	2.66666666667	18.8499999046	NORMAL
ceme:good:loco	WEST	b	3.11794871795	28.3699998856	NORMAL
ceme:good:loco	SOUTH	f	3.17142857143	32.4289999008	NORMAL
loco	SOUTH	u	3.21176470588	37.1599998474	NORMAL
loco:ceme:good	SOUTH	f	3.75652173913	54.0569999218	NORMAL
loco:ceme:good	EAST	f	3.80598290598	61.7329998016	NORMAL
loco:ceme	NORTH	f	4.21287878788	73.8559999466	NORMAL
loco	WEST	b	4.43962703963	78.4519999027	NORMAL
loco:good	WEST	c	4.25044722719	85.3039999008	NORMAL
loco:good:ceme	NORTH	f	4.12305194805	86.7979998589	NORMAL
loco:good:ceme	WEST	b	4.0784057971	89.0829999447	NORMAL
F_I_N_I	F_I_N_I		1	2014-09-14 20:04:55.742824	SUCCESS

Os dados coletados fornecem informações sobre o aprendizado que o estudante está fazendo em tempo real. Os crivos computacionais podem avaliar o quanto o estudante está avançando ou quais são os obstáculos que ele está enfrentando. No gráfico 1 podemos avaliar o comportamento do aluno diante do problema. Ao observar o movimento entre os tempos 15 e 60 percebemos que houve uma repetição padronal do movimento de vai e vem sem que a configuração do marcador se altere muito. Isto significa que o estudante está em dúvida não entendeu ainda o que deve ser feito para solucionar o problema. A partir do tempo 60 temos uma evolução significativa do marcador e sua pontuação tem uma nova derivada. Isto sinaliza que o educando achou a solução e está agora aprendendo mais rápido.

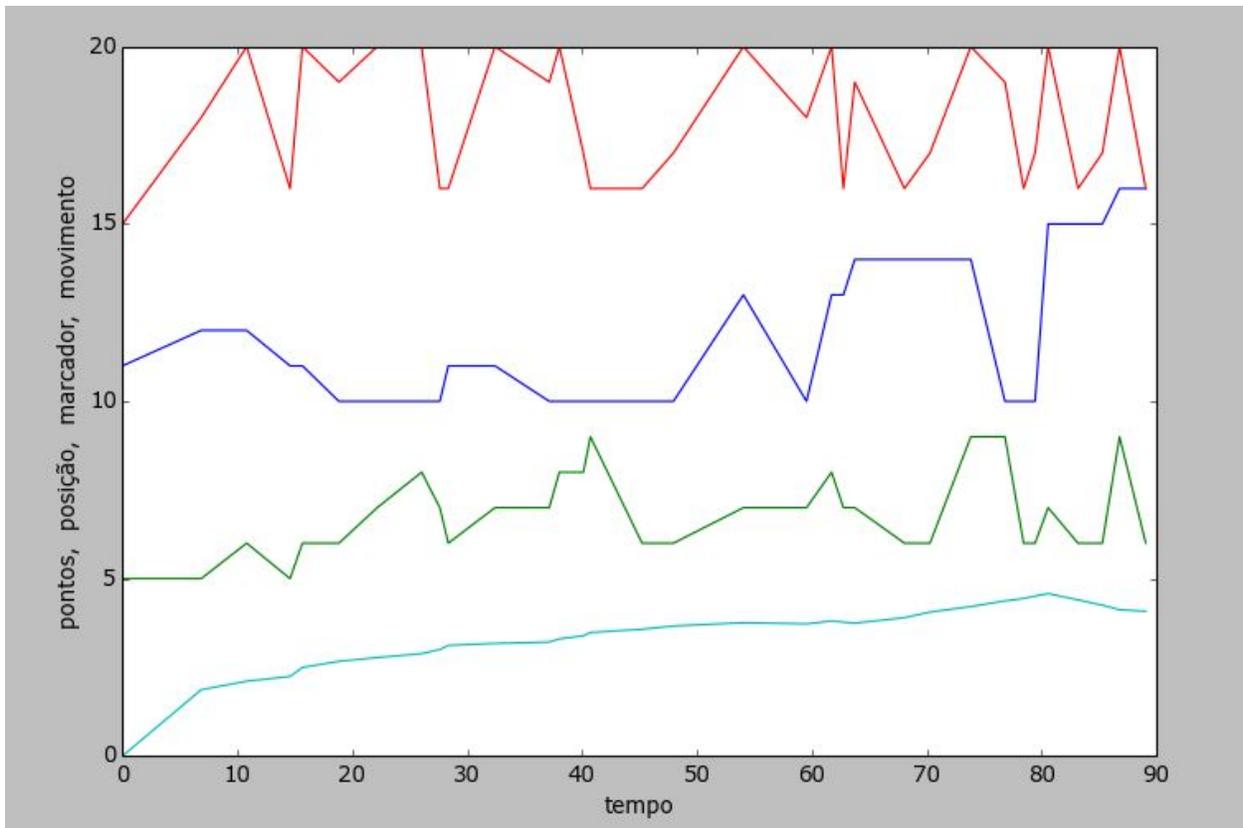


Gráfico 1 Evolução da Manobragem do Trem

Um sistema de paramediação feito com uma combinação de perfis prognósticos e coletados pode intervir no sistema educacional inteligente. Enquanto a exploração do problema estiver dentro de parâmetros populacionais aceitáveis não deve haver nenhuma intervenção. O sistema inteligente usa diversas heurísticas e recursos da inteligência computacional para extrair conclusões dos dados coletados. A medida que se constrói modelos mais precisos do comportamento, maior vai ser a afetividade da resposta do sistema. Modelos matemáticos que levem em consideração maior número de parâmetros e que sejam auto adaptativos à evolução dos dados e perfis populacionais serão mais eficientes no lidar com o educando. Outra face do problema é a capacidade deste sistema de reportar aos educadores dando informações precisas sobre as condições de cada aluno ou grupo. O sistema deve ser capaz de identificar os problemas e encontrar soluções, indicando a um professor ou a um aluno que possa ajudar na evolução do educando em dificuldades.

Ao se constatar que o estudante precisa de auxílio o sistema pode intervir mudando a dificuldade do problema ou ampliando a oferta exploratória. No problema do trem um outro trem em uma linha paralela pode começar a manobrar em um problema diferente mas que sugira aspectos de solução que não foram explorados. Caso o estudante evolua muito rápido para a solução, um outro trem pode se aproximar e engatar no comboio aumentando a dificuldade do problema. Caso este problema se mostre insolúvel para este estudante, ele passará a não ser indicado para alunos que tenham o perfil semelhante. O problema deverá ser apresentado de outra forma mas com uma lógica similar. Por exemplo, em vez de uma forma gráfica o problema pode ser escrito num texto ou narrado em áudio.

## Conclusão

Criar uma educação inteligente é um grande desafio da computação. A modelagem de um cérebro aprendente é a solução para que se tenha o total aproveitamento do processo de aprendizagem que se dê em uma situação problema real. Uma educação que gere indivíduos que saibam operacionalizar o seu conhecimento e não apenas memorizar ou imitar. Este é o verdadeiro papel da computação na educação, criando mecanismos adaptáveis e evolutivos que possam preservar a neurodiversidade da espécie humana, levando cada indivíduo ao máximo de sua potencialidade.

Um sistema inteligente aprende o processo aprendente de cada indivíduo e ensina de maneira que cada lição seja uma coisa nova e desafiante dentro das expectativas e qualidades que cada ser individual tem. Este modelo também valoriza o professor que deixa de ser a figura que premia ou castiga quem aprendeu uma determinada matéria e passa a ser o que encaminha o indivíduo na realização plena do seu ser. O modelo computacional cria os problemas e o professor oferece pessoalmente ou através do sistema a orientação para o indivíduo avançar na solução.

## Referências

- Broch, José Carlos. O Conceito de Affordance Como Estratégia Generativa No Design de Produtos Orientados para Versatilidade. UFRGS, 2010.
- Dehaene, S. Os Neurônios da Leitura. Penso: Porto Alegre, 2012.
- Guilford, J.P.. *The Nature of Human Intelligence*, 1967.
- Inhelder, Bärbel [et al.]. O Desenrolar das descobertas da criança: pesquisa acerca das microgêneses cognitivas. Trad. Eunice Gruman. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- Kienitz M.L. Modelo fractal das microgêneses cognitivas: uma metodologia para a mediação metacognitiva em jogos computacionais, *SBIE 2012*.
- Maddux, C.D. & Gibson, D. *Research Highlights in Technology and Teacher Education 2012*. SITE. Retrieved January 13, 2014 from <http://www.editlib.org/p/41222>. 2012.
- Marques, Carla Verônica; Oliveira, Carlo E.T. de; Motta, Cláudia (Org.). [et al.]. A Revolução Cognitiva: um estudo sobre a teoria de Franco Lo Presti Seminário. Instituto de Matemática. Núcleo de Computação Eletrônica. Relatório Técnico 04/09. Rio de Janeiro. 2009.
- Puchkin, V.N. Heurística A Ciencia do Pensamento Criador. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1969.
- Relatório Técnico UFRJ/PPGI, A Máquina da Metacognição, Neuropedagogia II, 2010.
- Shimamura A. e Janet Metcalfe, Metacognition: Knowing about Knowing. Massachusset Institute of Tecnology Cambridge, 1992.