

Modelo computacional evolutivo, adaptativo e preditivo para avaliação de funções cognitivas

Carla V. M. Marques¹, Carlo E. T de Oliveira¹, Claudia L. R. Motta^{1,2},
Marcelo R. Soares²

¹Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais (NCE) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Caixa Postal 15.064 -
91.501-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) - Universidade
Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

{claudiam, carlaveronica, carlo}@nce.ufrj.br, marcelo.soares@ppgi.ufrj.br

Abstract. *This research presents an evolutionary computational model, adaptive and predictive for the evaluation of cognitive functions with the proposal to be used for recreational or systems designed to assess functions such as planning, attention, successive and simultaneous processing. In addition, this model has a set of logical-mathematical riddles that are responsible for measuring the intensity and the quality of the answers given by the user, ie, this strategy allows the scoring process more accurate by the model actually able to measure how much an individual dominates on a particular subject and not only performed the expected response.*

Resumo. *Esta pesquisa apresenta um modelo computacional evolutivo, adaptativo e preditivo para avaliação de funções cognitivas com a proposta de ser utilizado por sistemas lúdicos que visam avaliar funções como planejamento, atenção, processamento sucessivo e simultâneo. Além disso, este modelo possui um conjunto de crivos lógico-matemáticos que são responsáveis por medir a intensidade e a qualidade das respostas dadas pelo usuário, ou seja, essa estratégia permite que o processo de pontuação seja mais preciso pelo fato do modelo possibilitar a medição do quanto um indivíduo domina sobre um determinado assunto e não somente se apresentou a resposta esperada.*

1. Introdução

Os modelos computacionais desempenham um importante papel dentro da neurociência cognitiva pois ajudam a entender fenômenos, a trabalhar assuntos complexos, além de fornecer estruturas unificadas e permitir o controle sobre o que se deseja pesquisar [O'Reilly e Munakata 2000].

Atualmente no âmbito dos sistemas computadorizados para avaliação de funções cognitivas não há com clareza a existência de um modelo que permita medir o grau da intensidade das respostas obtidas e que seja ao mesmo tempo um modelo evolutivo e adaptativo, ou seja, um modelo que altere o nível de complexidade do sistema de avaliação e se adapte automaticamente à velocidade de raciocínio do participante.

Em linhas gerais, sistemas de avaliação cognitiva tendem a verificar apenas se o indivíduo é ou não capaz de executar uma determinada tarefa, deste modo, o resultado final retornado limita-se apenas ao certo ou errado. Sendo assim, o objetivo do modelo neste trabalho é apresentar um conjunto de estratégias computacionais acompanhadas pelo conceito de crivos lógico matemáticos, que são tabelas de pontuação que relacionam as possíveis repostas aos respectivos pesos numéricos. Este sistema de pontuação evita que o participante seja “reprovado” por não ter fornecido a resposta esperada pelo sistema de avaliação, em vez disso, este método possibilita uma avaliação mais detalhada sobre a qualidade da resposta fornecida a fim de detectar o quanto de fato a resposta foi ou não adequada. Com isso, o objetivo torna-se entender o que o indivíduo sabe e quais são suas habilidades tácitas antes de classificá-lo simplesmente como incapaz. Esta estratégia de pontuação baseado na intensidade das repostas foi inspirada na teoria da Lógica Fuzzy [Klein & Weber 2003], cuja principal característica é ser difusa em seu grau de precisão permitindo que haja variação sobre o grau de certeza. Além disso, o modelo computacional desta pesquisa faz uso de aspectos evolutivos e adaptativos a fim de tornar possível a criação de um processo de avaliação personalizada.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Do capítulo 2 ao 5 encontra-se a fundamentação teórica, contendo os argumentos de neurociência cognitiva que serviram de base para a criação do modelo computacional. Em seguida, a apresentação do modelo computacional e suas possibilidades de aplicação. Por fim, concluindo com a contribuição científica deste trabalho.

2. Unidades cerebrais e a teoria PASS

O estudo de Luria que resultou na definição das unidades funcionais do cérebro é uma importante contribuição para a neurociência cognitiva, de modo que estas definições serviram de base para fundamentar e orientar o desenvolvimento da bateria de testes do *Cognitive Assessment System* (CAS) [Das & Naglieri 1997]. À luz da teoria PASS (Planejamento, Atenção, Sucessivo e Simultâneo), o CAS foi desenvolvido para avaliar os processos cognitivos referentes ao Planejamento e Atenção em indivíduos com idade entre 5 e 17 anos. A teoria PASS foi introduzida mais recentemente nos estudos de avaliação psicoeducacional, que desenvolveram testes cognitivos com o objetivo a princípio de medir os processos simultâneos e sucessivos. Em seguida, Das, Naglieri e colaboradores adicionaram as unidades de Atenção e Planejamento [Das et al. 1994]. Sendo assim, Das e Naglieri introduzem o CAS [Naglieri & Das 1997] baseado nas unidades funcionais identificadas por Luria. A relevância da teoria PASS para este trabalho está diretamente ligada ao funcionamento do modelo computacional.

O ponto diferencial entre o CAS e um sistema lúdico de avaliação cognitiva que utilize este modelo computacional é a presença dos aspectos adaptativo e evolutivo, que visam ajustar o nível das tarefas e evoluindo-as de acordo com a velocidade de raciocínio do jogador. Além disso, este modelo computacional não sugere a existência de severas punições caso o desempenho do indivíduo seja inferior ao esperado. Deste modo, este modelo não se projeta sobre o padrão convencional de avaliação dos jogos eletrônicos, mas com a participação dos crivos matemáticos com escalas de mensuração de atitudes, as repostas são avaliadas dentro de um espectro que varia entre precária e excelente. Esta é uma importante estratégia porque, segundo Bandura, dois fatores precisam ser considerados quando se pensa em sistemas de avaliação: primeiramente, os sistemas repetitivos que variam entre certo e errado são tediosos. Em segundo lugar, os erros possuem custos elevados ao participante avaliado [Bandura 2008]. Esta colocação

de Bandura pode ser um indício de que uma sequência de punições poderia desestabilizar emocionalmente o indivíduo que está sendo avaliado e, por consequência, os resultados dos testes poderiam ser afetados.

Por fim, a teoria PASS aborda unidades cerebrais que foram definidas como essenciais para qualquer tipo de atividade mental [Okuhata et al. 2007]. Em estudos baseados nos resultados apresentados por eletroencefalograma (EEG) sugerem que este tenha capturado com sucesso a atividade cerebral em três unidades funcionais distintas e que tenha, portanto, dado suporte à visão de Luria de que existem três unidades funcionais trabalhando em cooperação para uma variedade de atividades cognitivas [Luria 1981]. Sendo assim, foi imprescindível que o modelo computacional utilizasse a teoria PASS como parte de sua fundamentação teórica.

3. Estrutura do Intelecto

A teoria da Estrutura do Intelecto desenvolvida por Guilford em 1967 é uma contribuição para o campo da psicologia com ênfase nos estudos sobre a inteligência humana. Os estudos de Guilford, que muito se concentraram em testes sobre o pensamento criativo, resultaram em um modelo que descreve um conjunto de habilidades ao longo de três dimensões, que são: Conteúdos, Produtos e Operações. Existem ainda 5 tipos de Conteúdo, mais 6 tipos de Produto e 5 tipos de Operações como pode ser visto na Figura 1:

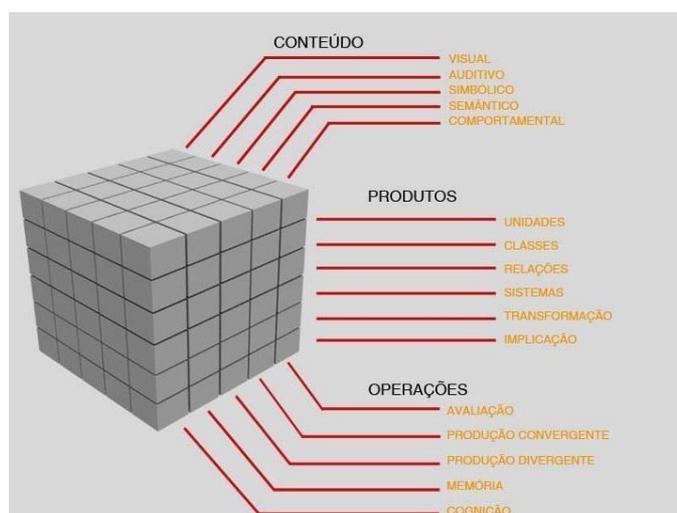


Figure 1. Estrutura do Intelecto

Para este trabalho apenas a dimensão Produtos foi considerada, bem como somente as seguintes subdimensões foram adotadas: Sistemas, Transformação e Implicação.

Com base nas definições de Guilford sobre as dimensões cerebrais, as subdimensões contempladas por este modelo podem ser descritas da seguinte forma:

A dimensão Sistemas consiste nas relações entre mais de duas unidades dando origem a um terceiro produto mais complexo.

A dimensão Transformação consiste na capacidade de entender mudanças nas informações, tais como rotação de imagens, ou mesmo de compreender piadas e trocadilhos na área semântica.

A dimensão Implicação refere-se à expectativa, por exemplo, dado um determinado conjunto de dados pode-se esperar como resultado um novo conjunto como consequência do produto dos dados iniciais. É possível notar a conexão existente entre os estudos sobre as unidades funcionais necessárias para qualquer atividade cerebral de Luria com os estudos de Das e colaboradores sobre a teoria PASS e, agora, com a Estrutura do Intelecto de Guilford, que se apresenta como uma estrutura que afirma que inteligência não é um fator monolítico, mas sim um campo composto por diferentes habilidades. Desta forma, estas três áreas de estudo acabam se complementando dentro da neurociência cognitiva de modo que podem ser trabalhadas em conjunto.

4. Níveis Semióticos

A Semiose é uma ciência detalhista que estuda a complexidade existente nos signos e suas representações através de manifestações visuais e auditivas [Santaella 2010]. As imagens de modo geral, desde as artes rupestres do período pré-histórico, possuem a propriedade de armazenar em si características referentes às manifestações artísticas, culturais e até mesmo do estado de espírito do indivíduo. Estas manifestações artísticas evidenciam cargas emotivas seguidas pela descrição sobre como era percebido o ambiente, bem como o comportamento da sociedade local. Segundo Santaella, estas manifestações de imagens também são compreendidas como representações mentais externadas em forma de arte [Santaella 2010].

Os estudos de Charles S. Peirce apresentam definições importantes para melhor compreensão sobre a ciência da semiótica. Primeiramente, Peirce define semiótica como uma doutrina formal dos signos [Peirce 1999]. A partir da perspectiva etimológica, a semiótica pode ser compreendida como a arte dos sinais que estuda os signos e seus sistemas de significado englobando aspectos culturais.

Para o trabalho aqui apresentado, a semiótica assume uma posição importante devido ao fato de estar ligada às manifestações cognitivas e representações mentais como expõe Santaella [Santaella 2008]. Deste modo, é importante considerá-la dentro deste modelo computacional que visa trabalhar justamente com avaliação de processos cognitivos, uma vez que tais processos podem estar ligados direta ou indiretamente com as representações mentais.

Neste modelo o imaterial das imagens na mente humana é representado por uma escala de variação semiótica que transita desde o nível mais básico ao mais elevado. A variação semiótica aqui adotada visa fazer parte do processo de classificação dos níveis de complexidade do sistema de avaliação cognitiva, considerando que seja um sistema lúdico (jogo). Por exemplo, algumas fases possuirão características visuais mais atraentes e mais próximas de objetos do mundo real enquanto em outra fase os objetos tenderão a ser mais abstratos.

Considerando as representações visuais como manifestações das representações mentais [Santaella 2008], este trabalho também visa verificar se o desempenho do indivíduo sofre alterações significativas de acordo com a variação semiótica.

Considerando um jogo eletrônico como sistema de avaliação cognitiva, as dimensões semióticas estão delimitadas em: Objeto Tridimensional Icônico, Objeto Tridimensional Estilizado e Objeto Tridimensional Não Icônico.

5. Cruzamento das funções cognitivas

O processo de cruzamento das dimensões cognitivas tem origem em duas etapas: Primeiramente, analisando a teoria PASS, vê-se pela definição de Das e Naglieri como sendo um modelo de funcionamento dos processos cognitivos onde blocos básicos da construção da inteligência são definidos [Das e Naglieri 1997]. Além disso, a teoria PASS baseia-se na análise das unidades cerebrais que, segundo Luria, sem a participação de ao menos uma dessas unidades nenhuma ação cognitiva poderia ser realizada [Luria 1981]. Considerando estas observações, nota-se a existência de uma teoria básica do funcionamento dos processos cognitivos e a sua importância em estar presente em uma bateria de avaliação.

A segunda etapa foi baseada na observação sobre a Estrutura do Intelecto de Guilford, que é um modelo sistemático de capacidades intelectuais específicas. Isto é, Guilford apresenta que a capacidade intelectual não é unitária, mas deve ser entendida como dimensões operacionais responsáveis por processos específicos. Sendo assim, Luria, ao afirmar que qualquer processo cognitivo é obrigado a passar por ao menos uma das unidades cerebrais definidas como planejamento e atenção e processos, indica que qualquer operação intelectual precisa considerar as unidades cerebrais. Logo, as operações intelectuais apresentadas no modelo da Estrutura do Intelecto [Guilford 1967] possuem uma íntima ligação com as unidades cerebrais identificadas por Luria, pois as operações intelectuais listadas por Guilford ativam uma ou mais unidades cerebrais definidas por Luria. Deste modo, como um dos produtos criados por esta pesquisa consiste na criação de um sistema de avaliação cognitiva, foi necessário considerar as referências aqui citadas para tornar possível o desenvolvimento dos testes de avaliação cognitiva, bem como o modelo computacional. Após uma análise sobre a Teoria PASS e a Estrutura do Intelecto de Guilford foi elaborado um esquema de combinação entre estas teorias dando origem a um novo cubo que viabiliza o cruzamento de processos e dimensões cognitivas. Além deste cruzamento, a dimensão semiótica também foi adicionada por fazer parte da estrutura interna do indivíduo [Peirce 1999].

O Cruzamento das dimensões cognitivas apresentado neste capítulo serve como base para o desenvolvimento das atividades inerentes ao modelo computacional. Em seguida, também serve de fundamentação para a proposta de desenvolvimento de um sistema lúdico de avaliação cognitiva. Com isso, todos os desafios contidos neste sistema de avaliação cognitiva são resultados direto do cruzamento das dimensões ilustradas pela Figura



Figura 2. Cubo de dimensões cognitivas

De acordo com o cruzamento das dimensões apresentado na Figura 2, vê-se que este cubo realiza um recorte na dimensão referente ap Produto de Guilford, focando-se apenas sobre as dimensões Sistema, Implicação e Transformação. Analisando mais enfaticamente este cubo, observa-se que cada cubículo representa a junção de três aspectos distintos. Sendo assim, na primeira camada na horizontal, a leitura correta é Planejamento – Sistema – Icônico. Esta leitura significa que dentro do sistema de avaliação deverá existir uma fase que contenha um conjunto de características que exija do participante a habilidade de Planejar suas ações, analisar o problema que está sendo apresentado como um Sistema e que as peças deste problema fazem parte do grupo das imagens icônicas de acordo com a tabela de níveis semióticos.

Este cubo com o cruzamento das dimensões cognitivas possibilita a criação de inúmeros sistemas/jogos que repitam as dimensões cognitivas apresentadas, porém com variações na complexidade dos níveis semióticos.

De acordo com O’Reilly a estrutura unificada que um modelo computacional fornece é capaz de realizar um teste mais rigoroso de uma teoria, que incentiva a parcimônia além de permitir que se relacionem dois fenômenos aparentemente díspares por entendê-las à luz de um conjunto comum de princípios básicos [O’Reilly e Munakata 2000], ou seja, o modelo computacional aqui apresentado possibilitou o relacionamento entre as teorias PASS e a Estrutura do Intelecto além de adicionar as dimensões semióticas. Deste modo, torna-se exposta a relevância deste processo de cruzamento das dimensões cognitivas que possui como resultado a criação de um modelo computacional com base em teorias cognitivas. É válido ressaltar também que todas as fases do sistema de avaliação foram criadas a partir deste cruzamento das funções cognitivas, sendo assim, as novas dimensões apresentadas pelo cruzamento são levadas em consideração pelos crivos e pelo algoritmo dentro do modelo.

6. Modelo Computacional evolutivo e adaptativo

Neste capítulo a estrutura do modelo computacional é apresentada na Figura 3 a seguir. Esta estrutura é representada por um fluxo cíclico, podendo ser aplicado por tempo indeterminado até que a aplicação ou o próprio participante decida finalizar.

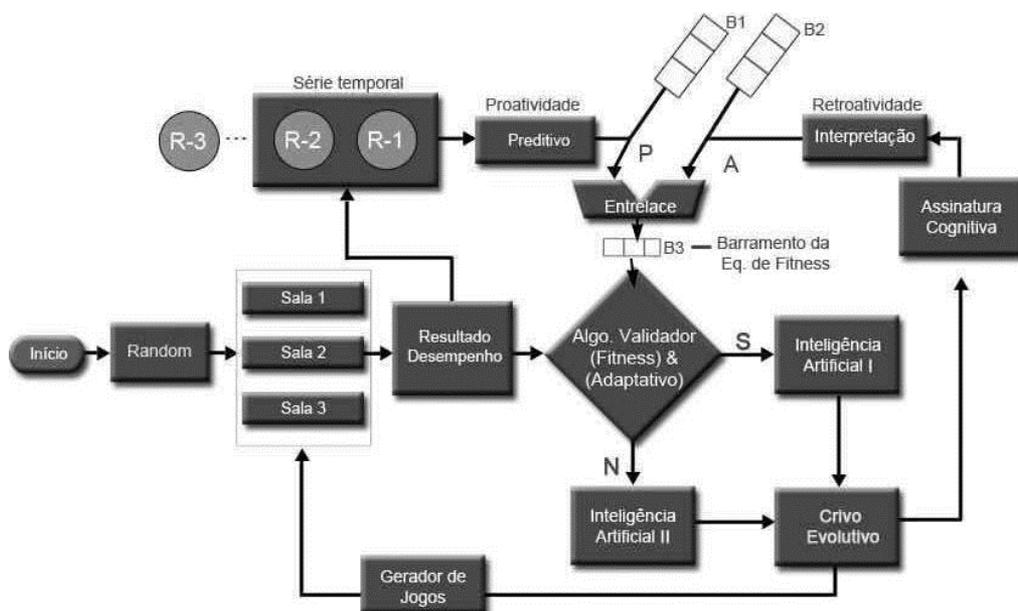


Figura 3. Modelo Computacional

Ao analisar a estrutura do modelo computacional, observa-se a presença de um sistema randômico que é iniciado com o objetivo de selecionar as três primeiras salas que irão compor a primeira fase do jogo/sistema de avaliação. Em seguida, o participante é submetido a um processo de avaliação formado por três estágios identificados como Sala 1, Sala 2 e Sala 3. Estas salas são compostas por uma bateria de subtestes desenvolvidos à luz da teoria PASS, apresentada no Capítulo 2. Estes desafios visam avaliar os processos cognitivos ligados ao planejamento, atenção e aos processos simultâneo e sucessivo. Ainda no estágio de análise sobre as Salas, é importante ressaltar que existe em segundo plano um sistema de pontuação específico que são os crivos lógico-matemático. Um crivo é responsável por atribuir um peso matemático a cada tomada de decisão do participante, de modo que ao final será possível obter uma pontuação de desempenho.

Prosseguindo com a observação da estrutura do modelo computacional, o próximo passo é a participação de uma máquina de estado funcionando como um dispositivo de armazenamento temporário. Este processo definido como série temporal, é responsável por armazenar o resultado do desempenho do jogador naquele momento. Em seguida, este resultado será submetido a um processo probabilístico que faz uso de um algoritmo específico que realizará cálculos a fim de tentar prever o próximo estágio em que o participante deverá se encontrar.

Observando o quadro “Resultado Desempenho” a próxima conexão segue para o Algoritmo Validador (*Fitness*). Este algoritmo visa verificar se a média dos resultados obtidos pelo participante está dentro da margem aceitável pelo algoritmo. Esta média aceitável é gerada sempre com base na última média obtida. Para fins de contextualização, *Fitness* é um termo adotado pela computação evolucionária que se refere a um valor que pode ou não ser predeterminado e que neste modelo serve como métrica para definir a escolha do nível de dificuldade da próxima tarefa. Neste momento o modelo computacional começa a fazer uso de aspectos da computação evolutiva para tornar o sistema adaptado ao desempenho do indivíduo.

Antes de prosseguir é importante ressaltar que o processo de escolha da tarefa seguinte a ser realizada pelo participante é feito automaticamente pelo algoritmo. Logo, se o desempenho do jogador for excelente, a próxima fase precisará ser mais difícil que a atual, caso contrário, o nível da tarefa deverá permanecer o mesmo ou reduzir para um nível mais fácil caso os erros persistam. Neste ponto os quadros Inteligência Artificial (IA) I e II representam bem este processo, onde o quadro Inteligência I.A. I indica que o participante apresentou uma pontuação esperada pelo algoritmo, enquanto o I.A. II indica que a pontuação foi inferior ao valor esperado. Em ambos os casos, o resultado entra no quadro Crivo Evolutivo, que é uma tabela nova criada com base nos resultados atuais de desempenho. Sabendo que a tabela de crivo é uma tabela com pesos matemáticos para cada resposta possível, a tabela deste Crivo Evolutivo nada mais é do que a atualização dos pesos matemáticos com base nos resultados atuais. Ou seja, todo o sistema tenderá a evoluir junto com o participante.

Após a passagem pelo Crivo Evolutivo, tem-se o quadro Gerador de Jogos que simboliza do processo de escolha das novas tarefas a serem apresentadas ao participante. Como segunda saída, tem-se o quadro Assinatura Cognitiva, que representa um conjunto de dados referentes à forma como o indivíduo se desenvolve dentro do sistema e reage diante dos desafios. Em seguida, a Assinatura Cognitiva é submetida a um processo de Interpretação que visa traduzir os dados existentes na assinatura cognitiva para informações mais claras sobre o desempenho do participante.

O Algoritmo validador adaptativo requer duas entradas que são referentes ao que o indivíduo era quando iniciou o sistema de avaliação, que é a Interpretação da Assinatura Cognitiva, e o que o indivíduo será no futuro, representado pelo processo Preditivo. Considerando os valores que estarão no quadro Série Temporal o processo preditivo faz uso de um algoritmo probabilístico baseado no processo estocástico das Cadeias de Markov. Segundo a teoria das Cadeias de Markov, os dados atuais são o suficiente para o algoritmo ser capaz de projetar o estado futuro [Ferrari e Galves 1997]. Deste modo, considerando a entrada do estado atual do indivíduo, o algoritmo retornará a descrição em forma de dados do próximo estado em que o participante deverá estar.

O multiplexor, nomeado no modelo como Entrelace, está funcionando exatamente como entrelaçador entre os barramentos B1 e B2, Proatividade e Retroatividade respectivamente. Estes barramentos estão preenchidos com valores numéricos representando os resultados do processo Preditivo e da Interpretação da Assinatura Cognitiva. Como resultado do entrelaçamento entre B1 e B2 surge o B3, um barramento que conterá os novos parâmetros responsáveis pelos novos critérios da equação do Fitness.

Os aspectos relacionados ao Planejamento serão os parâmetros considerados para a avaliação do futuro. Em relação aos parâmetros usados para avaliar o passado, a variável de Atenção será considerada. Sendo assim, ao entrar com os dados obtidos em Planejamento e Atenção nos barramentos B1 e B2 respectivamente, o cruzamento desses valores servirão para regular o Fitness. Este processo de regulagem indica que a margem de aceitação do fitness vai variar de acordo com os novos parâmetros. Assim sendo, este modelo tenderá a se tornar adaptativo por considerar as assinaturas cognitivas do passado e as do futuro, segundo a previsão probabilística.

7. Aplicabilidade do modelo computacional

A fim de melhor evidenciar a aplicabilidade e funcionamento do modelo, foi realizado um teste preliminar com dois participantes. Este teste foi apresentado sob a forma lúdica de um jogo tridimensional onde os desafios tiveram como referência os testes cognitivos existentes no CAS [Das e Naglieri 1997]. Sendo assim, a bateria de subtestes contidos neste jogo visou avaliar as funções de planejamento, atenção, atenção sucessiva e simultânea [Soares 2014].

Considerando os aspectos evolutivos e adaptativos previstos pelo modelo, o jogo acompanhou de maneira automática o desempenho dos participantes, com isso, o sistema teve a liberdade de aumentar e reduzir o grau de complexidade sempre que necessário. A decisão para a variação da complexidade foi dada com base na qualidade das respostas do jogador, que por sua vez, recebeu uma pontuação específica a partir da tabela de crivo lógico matemático. Uma vez mensurada a qualidade da resposta, o algoritmo decidiu o próximo nível de complexidade a ser apresentado para aquele jogador com base na média do seu último desempenho, tornando-se então, em um sistema personalizado de avaliação cognitiva.

Ao longo do processo lúdico de avaliação foi registrado o trajeto progressivo dos participantes como pode ser visto no grafo da Figura 4.

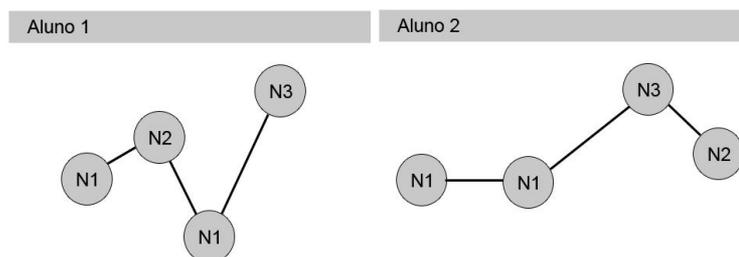


Figura 4. Grafo de desempenho

Considerando que N1 representa o nível mais fácil e N3 o nível mais complexo, percebe-se no grafo de desempenho do Aluno 1 um avanço inicial para o nível N2, no entanto, por apresentar indícios de instabilidade nas respostas, o algoritmo decidiu uma fase de nível N1 novamente a fim de que o participante pudesse se estabilizar no ambiente. Como resultado, seu desempenho foi tão bom que o sistema registrou um salto direto de N1 para N3. Enquanto isso, ao observar o desempenho do Aluno 2, nota-se um comportamento inicial interessante. Este participante levou um pouco mais de tempo na fase de nível N1, mas logo em seguida ele salta de N1 para N3, este comportamento indica que o participante investiu tempo analisando as questões e experimentando o cenário a fim de confirmar suas suspeitas sobre como o sistema funcionava, uma vez adquirida a regra generativa do sistema, ele começou de fato a jogar, o que justifica seu salto cognitivo sem ao menos passar pelo N2. Entretanto, logo em seguida, o algoritmo notou que o participante acabou tendo dificuldades na fase nova e, como consequência, o sistema se adaptou ao perfil do jogador reduzindo para N2.

Como previsto pelo modelo computacional a complexidade das tarefas iniciaram-se no mesmo nível e, com o decorrer do tempo, as fases foram sendo escolhidas pelo sistema de maneira diferente e não sequencial. A maneira objetiva como os aspectos de evolução e adaptação inicial ocorreram, tornaram possível detectar em poucos passos a navegação aleatória entre os níveis caracterizando o aspecto adaptativo do modelo.

8. Conclusão

Ao refletir sobre as questões levantadas ao longo deste trabalho, uma das contribuições relevantes do modelo computacional é a presença de um conjunto de crivos matemáticos que possui uma estratégia de análise com base neurocientífica [Barreira et al. 2012], [Kienitz et al. 2014]. Sendo assim, torna-se possível obter respostas mais refinadas em termos de precisão sobre o conhecimento do indivíduo avaliado.

De modo geral, esta pesquisa disponibiliza um modelo computacional flexível às necessidades de um sistema de avaliação cognitiva. Do ponto de vista educacional, uma vez que os dados evolutivos ficam registrados para análises posteriores, é possível obter a partir de uma amostra, a assinatura cognitiva de grupos a fim de rastrear o modo como aprendem e reagem aos desafios e estímulos externos.

Referências

- Bandura, Albert; Azzi, Roberta Gurgel e Polyodoro, Soely Aparecida Jorge
“Teoria social cognitiva: conceitos básicos”, Porto Alegre: Artmed, 2008.
- Barreira, Christiana V.; Marques, Carla M.; Oliveira, Carlo T. e Motta, Cláudia L.
“Jogo da Trilha Topológica: Um Game Inteligente em Ação”, Anais do 23º
Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2012), ISSN 2316-
6533, Rio de Janeiro, 26-30 de Novembro de 2012.
- Ferrari, Pablo A. e Galves, Antonio “Construction of Stochastic Processes,
Coupling and Regeneration”, Instituto de Matemática e Estatística,
Universidade de São Paulo, 1997.
- Guilford, J. P. “The nature of human intelligence” New York: McGraw-Hill, 1967.
- Kienitz Lemos, M. ; Motta, C.L.R. ; Marques, C. V. M. ; Oliveira, C.E.T. ;
Fróes, M. ; Pompeu E Silva, J. O. . Fio Condutor Microgenético: uma
metodologia para a mediação metacognitiva em jogos computacionais.
Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 22, p. 1-17, 2014.
- Luria, A. R. “Fundamentos de neuropsicologia” Rio de Janeiro: Livros Técnicos
e Científicos; São Paulo: EdUSP, 1981.
- Naglieri, Jack A. e DAS, J. P. “Cognitive Assessment System” Itasca:
Riverside Publishing, 1997.
- O’reilly, Randall C. e Munakata, Yuko “Computational explorations in cognitive
neuroscience: understanding the mind by simulating the brain” Cambridge:
MIT Press, 2000.
- Okuhata, S. T.; Okazaki, S. e Maekawa, H. “Differential topographic pattern of EEG
coherence between simultaneous and successive coding tasks” International
Journal of Psychophysiology, v. 66, n.1, p. 66-80, 2007.
- Peirce, Charles S. “Semiótica e filosofia” São Paulo: Cultrix, 1984.
- Santaella, Lúcia e Noth, Winfried “Imagem: cognição, semiótica, mídia” São
Paulo: Iluminuras, 2010.
- Santaella, Lúcia. “Imagem: Cognição, semiótica e mídia”, 1. ed. São Paulo:
Iluminuras, 2008.
- Soares, Marcelo Ramos. “Modelo computacional evolutivo, adaptativo e preditivo para
avaliação de funções cognitivas”. Programa de Pós-Graduação em Informática
(PPGI), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2014.