

Professor X Software Educativo: a difícil tarefa de escolher

Maria de Fátima Costa de Souza^{1,*}, Mauro C. Pequeno¹, José Aires C. Filho²

¹Departamento de Computação – Universidade Federal do Ceará (UFC)
CEP 60455-760. Fortaleza, Ce – Brazil

²Faculdade de Educação – Universidade Federal do Ceará (UFC)
CEP 60020-110. Fortaleza, Ce – Brazil

fatimasouza@lia.ufc.br, mauro@vdl.ufc.br, j.castro@ufc.br

Resumo. A intensa produção de produtos de software educativo tem tornado difícil a tarefa de seleção desses produtos por parte dos professores. Esse problema é aumentado se considerarmos a eficácia limitada das metodologias de avaliação propostas atualmente no que diz respeito ao tratamento de aspectos pedagógico-cognitivos no processo de avaliação. Nesse trabalho, mostramos como a teoria dos campos conceituais, proposta por Vergnaud, juntamente com a utilização dos pontos de casos de uso podem ser usados para aprimorar o processo de avaliação e seleção de um software educativo.

1. Introdução

Tem-se observado, de forma cada vez mais intensa, o lançamento de produtos de software no mercado que, segundo seus fabricantes, poderiam auxiliar o trabalho de professores e facilitar a aprendizagem dos alunos. No entanto, grande parte destes programas é de baixa qualidade tanto técnica quanto pedagógica, fato explicado pela dificuldade de se expressar conceitos pedagógicos na produção de software educativo (SE) [5].

Desta forma, é fundamental que se faça uma avaliação sistemática da qualidade e dos efeitos de tais produtos de software antes de aplica-los na sala de aula.

Nesse artigo, propomos uma nova metodologia de apoio ao processo de seleção e avaliação de SE. Nossa abordagem se baseia na idéia de formalizar tanto aspectos pedagógicos como técnicos de forma a possibilitar a realização de uma avaliação comparativa mais detalhada entre SE.

Para alcançar esses objetivos, apresentamos nesse trabalho, a utilização da técnica de engenharia de requisitos de Pontos de Casos de Uso (Karner), largamente utilizada para estimar esforço de desenvolvimento de software, juntamente com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud [12], de modo a capturar fatores pedagógicos, levando em consideração uma perspectiva pedagógica construtivista.

2. Pontos de Casos de Uso

Atualmente, a análise de sistemas orientados a objetos utiliza diagramas de casos de uso para descrever as funcionalidades do sistema de acordo com a forma de utilização por parte dos usuários. A

* Trabalho apoiado pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).
Processo nº 3427/05.

técnica de análise de dimensão por casos de uso foi criada para permitir que seja possível estimar o tamanho de um software ainda na fase de levantamento de requisitos, utilizando-se dos próprios documentos gerados nesta fase de análise como subsídio para o cálculo dimensional. A técnica de estimativa por pontos de caso de uso foi proposta em 1993 por Gustav Karner [2]. Essa técnica trata de estimar o tamanho de um software de acordo com o modo como os usuários o utilizarão, a complexidade de ações requerida por cada tipo de usuário e uma análise em alto nível dos passos necessários para a realização de cada tarefa.

Segundo Karner, os passos necessários para a geração da estimativa são:

1. Classificar os atores envolvidos em cada caso de uso, de forma a obter um somatório de pontos não-ajustado. O peso total dos atores do sistema (*Unadjusted Actor Weight*, ou UAW) é calculado pela soma dos produtos do número de atores de cada tipo pelo respectivo peso;
2. Calcular o peso bruto dos casos de uso (*Unadjusted Use Case Weight*, ou UUCW). O cálculo de UUCW é realizado como no cálculo de peso dos atores, somando-se os produtos da quantidade de casos de uso classificados em cada tipo pelo peso nominal do tipo em questão. O peso total não ajustado (*Unadjusted Use Case Points*, ou UUCP) é calculado pelo somatório entre os pesos de atores e casos de uso: $UUCP = UAW + UUCW$;
3. Calcular os fatores de ajuste. O método de ajuste é constituído de duas partes - um cálculo de fatores técnicos (*Technical Complexity Factor*, ou TCF), cobrindo uma série de requisitos não-funcionais do sistema. e um cálculo de fatores de ambiente (*Environment Factor*, ou EF), requisitos não-funcionais associados ao processo de desenvolvimento; Esses fatores de ajuste são calculados utilizando as seguintes fórmulas:

$$TCF = 0.6 + (.01 \times TFactor)$$

$$EF = 1.4 + (-0.03 \times EFactor)$$

4. Finalmente, podemos calcular o valor total do sistema em (*Use Case Points*, ou UCP) utilizando-se da seguinte fórmula:

$$UCP = UUCP \times TFC \times EF$$

3 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

3.1 A Teoria dos Campos Conceituais

A teoria dos campos conceituais, proposta por Vergnaud [6], é uma teoria cognitivista que oferece um referencial ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, particularmente aquelas implicadas nas ciências, levando em conta os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual de seu domínio. Embora Vergnaud esteja especialmente interessado nos campos conceituais das estruturas aditivas e das estruturas multiplicativas [7], a teoria dos campos conceituais não é específica desses campos, nem da matemática.

Vergnaud define o termo conceito como terna de conjuntos [4] (S, I, R) onde:

- S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;
- R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

Argumentamos que a definição de métricas precisas para a avaliação de requisitos relacionados a fatores pedagógicos-cognitivos através dos conceitos de campos conceituais de Vergnaud pode nos fornecer um mecanismo bastante eficiente para permitir a realização de uma escolha mais adequada de quais SE utilizar em sala de aula e qual o seu impacto pedagógico resultante da utilização desses SE relativos aos conceitos que estamos querendo ensinar

4. Nossa Abordagem

A nossa abordagem de avaliação tem como objetivo principal auxiliar o professor no processo de seleção de produtos de software para um determinado domínio das ciências, fornecendo um mecanismo mais detalhado de se aferir requisitos pedagógicos-cognitivos, além dos funcionais e não funcionais que sejam relevantes para os produtos de software que estão sendo avaliados.

As seguintes são atividades da metodologia:

1. Selecionar Software Candidato: Nessa primeira atividade os software a serem avaliados são escolhidos;
2. Aquisição e Cálculo de Requisitos Funcionais: a aquisição dos requisitos funcionais deve ser realizado através da construção de diagramas de casos de uso considerando as funções/operações fornecidas pelo software que está sendo avaliado. Adicionalmente, é realizado o cálculo das pontuações desses requisitos através de pontos de casos de uso, sendo que os valores capturados são tratados como UUCPs;
3. Definição e Aquisição de Requisitos Não Funcionais: nessa etapa são identificados os requisitos não funcionais que devem ser utilizados para avaliar o software. Esses requisitos devem ser escolhidos observando-se os objetivos definidos para o software no contexto dos conteúdos que estão sendo utilizadas na sala de aula. Também aqui, aplicamos pontos de casos de uso, derivando os resultados com EFs (Environment Factors);
4. Aquisição e Cálculo de Requisitos de Domínio: Os requisitos de domínio dizem respeito aos aspectos pedagógicos/cognitivos importantes para o aprendizado do conteúdo abordado pelo software. Para realizar essa atividade utilizamos a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, de modo a considerarmos mais precisamente os esquemas necessários para a aprendizagem

dos conceitos matemáticos trabalhados no software. Os valores capturados nessa etapa são tratados como TCFs(Technical Complexity Factors);

5. Calcular Avaliação Final: O cálculo final da avaliação do SE é realizado utilizando os valores levantados nas atividades anteriores aplicando a formula geral dos pontos de casos de uso;

Nesse trabalho, por limitação de espaço, apresentaremos apenas a etapa de aquisição e cálculo de requisitos de domínio, visto que esses são os que tratam dos fatores pedagógico-cognitivos.

4.1 Aquisição e Cálculo de Pontuações de Requisitos de Domínio

Como apresentado anteriormente, os requisitos de domínio representam os fatores pedagógico-cognitivos. Abordamos esse tema utilizando a teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Como apresentado na seção 3, um campo conceitual pode ser definido como: um conjunto de situações que dão sentido a um conceito; um conjunto de invariantes e um conjunto de representações simbólicas para o conceito. Se utilizarmos o campo conceitual da álgebra, esses fatores podem ser representados da seguinte forma:

- Situações: aqui devem ser relacionados as situações e os problemas a resolver, visto que esses fatores é que dão sentido ao conceito que está sendo tratado. Por exemplo, calcular a área de um quarto com o propósito de revesti-lo;
- Invariantes: são os princípios lógicos subjacentes ao próprio conceito. No caso da álgebra, podem ser considerados como invariantes: incógnita, variável, equação, inequação, fórmula e função;
- Representações: é a forma como que os invariantes podem ser representados de modo a permitir a manipulação dos conceitos. Essas representações podem ser formais, tais como símbolos de igualdade "=", ou informais, tais como figuras e objetos (representação icônica).

Para a realização do levantamento dos requisitos de domínio, utilizamos nesse trabalho, uma tabela, denominada Tabela de Avaliação de Requisitos de Domínio (Tabela 1). Nela observaremos os três aspectos definidos por Vergnaud para a construção de um conceito. Sendo que são pontuados positivamente os produtos de software que utilizarem essas representações. Além de pontuarmos a contextualização das representações com relação ao perfil dos alunos que utilizarão o software e pela inter-relação entre os aspectos.

Tabela 1. Requisitos de Domínio

Nível de Ensino Abordado	[]	Ensino Infantil
	[]	Ensino Fundamental
	[]	Ensino Médio
	[]	Ensino Superior
	[]	Não se Aplica
Situações Apresentadas	[]	Problemas de Equações

	<input type="checkbox"/> Problemas de Inequações <input type="checkbox"/> Funções <input type="checkbox"/> Sistemas de Equações <input type="checkbox"/> Sistemas de Inequações <input type="checkbox"/> Outro. _____ <input type="checkbox"/> Não apresenta situação																								
Invariantes Envolvidas	<input type="checkbox"/> Variáveis <input type="checkbox"/> Incógnitas <input type="checkbox"/> Equações <input type="checkbox"/> Inequações <input type="checkbox"/> Funções <input type="checkbox"/> Fórmulas <input type="checkbox"/> Outro. _____																								
Representações Utilizadas	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%;">1 - Formal</th> <th style="width: 33%;">2 - Linguagem Natural</th> <th style="width: 33%;">3 - Icônica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Variáveis</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Incógnitas</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Equações</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Inequações</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Funções</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		1 - Formal	2 - Linguagem Natural	3 - Icônica	Variáveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Incógnitas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Equações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inequações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Funções	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1 - Formal	2 - Linguagem Natural	3 - Icônica																						
Variáveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Incógnitas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Equações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Inequações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Funções	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Correlações	<p>Representações são compatíveis com o Nível de Ensino abordado? <input type="checkbox"/></p> <p>Existem relações diretas observáveis entre as Representações e as Situações? <input type="checkbox"/></p> <p>Existem relações diretas observáveis entre as Representações e os Invariantes? <input type="checkbox"/></p>																								

Para realizar o cálculo de pontuações para os requisitos de domínio, consideraremos esses tipos de requisitos como fatores técnicos (*Technical Complexity Factors*) dos pontos de casos de uso. Assim, utilizaremos a tabela de pesos (Tabela 2) para esses fatores. Na Tabela 3, apresentamos a forma como se avaliar cada um dos fatores em um software.

Tabela 2. Pesos dos Fatores Técnicos

Fator	Peso
Situação	5
Invariantes	2
Representações	1.5
Correlações	5

Tabela 3 - Avaliação de Fatores Técnicos

Fator	Cálculo dos Valores
Situação	Somar 1 ponto para cada situação selecionada na Tabela 1. Usar 0 se o item escolhido for "Não apresenta situação".
Invariantes	Somar 1 ponto para cada invariante selecionada na Tabela 1.
Representações	Somar 1 ponto para cada Representação selecionada na Tabela 1.
Correlações	Somar 2 pontos para cada Correlação selecionada na Tabela 1.

O cálculo final dos fatores técnicos relacionados aos requisitos de domínio levantados a partir de uma perspectiva dos campos conceituais de Vergnaud deve ser realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$TCF = 0.6 + (.01 \times TFactor)$$

Onde TCF é o Fator de Complexidade Técnica (*Technical Complexity Factor*) e TFactor é o Fator Técnico Total (*Total Technical factor*) que é calculado pela soma dos produtos dos pesos de cada fator técnico pelo valor levantado pela Tabela 1.

Os valores definidos para os pesos na Tabela 2, seguem a variação sugerida em [4], que foi definida de 0 a 5. No nosso caso, particularmente, como estamos realizando a avaliação de requisitos de domínio, o que é mais importante são os fatores pedagógicos subseqüentes a esse conceito, avaliamos com valores maiores os SE que ofereçam situações que forneçam o aprendizado de um conceito e os que possuem correlações entre essas situações e sua representações. Por esse motivo o fator Situação e Correlações possuem peso 5.

5. Exemplo

Para validar a abordagem sugerida nesse trabalho, apresentamos um exemplo simplificado da avaliação comparativa de dois SE utilizados para auxiliar no ensino de álgebra.

5.1 Seleção dos Produtos de Software Candidatos

Os softwares escolhidos para apresentar a nossa abordagem de avaliação são dois produtos que apresentam características funcionais e não funcionais bastante semelhantes.

O primeiro software utilizado foi o Cartas Interativas [3], que permite através de cartas, trabalhar com o conceito de equações, inequações e comparação entre quantidades, além da utilização de representações gráficas de cartas simbolizando números positivos e números negativos, para mostrar a igualdade entre quantidades ou o indicativo de “maior que” ou “menor que”.

O segundo software utilizado foi o Balança Interativa [1], que assim como o Cartas Interativas faz uso do conceito de equações e inequações, permitindo a comparação entre quantidades diferentes e mostrando a noção de “maior que”, “menor que” e igualdade. Esse software é apresentado através de uma balança de pratos, que permite ainda o uso de pesos com valores desconhecidos (representados por letras) e de pesos com valores conhecidos. Vale ressaltar, que os valores dos pesos no software Balança Interativa são todos positivos, uma vez que as representações são feitas em uma balança.

5.2 Levantamento e Cálculo de Pontuações de Requisitos de Domínio

Aplicando a Tabela de Avaliação de Requisitos de Domínio, que apresentamos na seção 4, obtivemos os seguintes resultados:

Cartas Interativas:

Fator	Peso	Valor	Resultado
-------	------	-------	-----------

		Levantado	
Situação	5	1	5
Invariantes	2	6	12
Representações	1.5	4	6
Correlações	5	2	10
			33

Balança Interativa:

Fator	Peso	Valor Levantado	Resultado
Situação	5	1	5
Invariantes	2	5	10
Representações	1.5	4	6
Correlações	5	3	15
			36

Na avaliação sobre Situação, o Cartas Interativas trabalha com a abstração de cartas, enquanto o Balança Interativa trabalha com a abstração de uma balança, ambos com a finalidade de tratar conceitos algébricos. Dessa forma ambos foram avaliados da mesma maneira.

Com relação aos Invariantes, o Balança Interativa trabalha com a noção de equações através da abstração do equilíbrio entre os pratos e de inequações, através da manipulação dos pesos enquanto a balança encontra-se em desequilíbrio, e de incógnitas, com a utilização de pesos de valores desconhecidos. Por se tratar de pesos, todas as quantidades são positivas.

Já o Cartas Interativas trabalha as noções de equações e inequações através da abstração de cartas, e de incógnitas com a utilização de cartas de valores desconhecidos. Nesse software é possível a manipulação de cartas com valores positivos e negativos.

Em ambos os softwares são utilizadas representações baseadas em figuras (balança e cartas) para a manipulação das informações de Invariantes usadas nos dois produtos, bem como a representação formal para as equações. Além disso, ambos fazem uso de representações formais para incógnitas e inequações.

As correlações observadas nesses dois produtos indicam que suas representações são compatíveis com os níveis educacionais onde eles são aplicados. No entanto, o Balança Interativa apresenta uma melhor relação com as representações e os Invariantes, permitindo uma visualização direta dos conceitos de inequações e incógnitas.

O cálculo final dos resultados da avaliação de requisitos de domínio é o seguinte:

Cartas Interativas:

$$TCF = 0.6 + (.01 \times 33) = 0.6 + 0.33 = 0.93$$

Balança Interativa:

$$TCF = 0.6 + (.01 \times 36) = 0.6 + 0.36 = 0.96$$

Concluimos com a avaliação dos requisitos de domínio, que o Balança Interativa apresenta melhor avaliação com relação a fatores pedagógicos-cognitivos.

6. Conclusão

Os inúmeros SE disponíveis atualmente fornecem mecanismos que podem auxiliar de modo efetivo a aprendizagem de conceitos, dos mais simples aos mais elaborados. Atualmente, podemos encontrar inúmeros SE que trabalham conceitos semelhantes, o que tem dificultado a seleção de um determinado produto de software a ser utilizado em sala de aula.

Nesse trabalho, argumentamos que é importante o tratamento mais detalhado de aspectos pedagógicos-cognitivos como um modo de realizar uma avaliação voltada para a seleção de produtos de SE de mesmo domínio de aplicação.

Para tanto, incorporamos ao processo tradicional das técnicas de Casos de Uso, a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o que nos permite um processo de escolha de um SE mais adequado à aplicação pedagógica que se pretende. Esse processo foi exemplificado na escolha de dois produtos semelhantes, mas que o uso do método proposto permitiu uma decisão mais segura dos reais benefícios educacionais advindos de sua utilização.

Referências Bibliográficas

[1] Balança Interativa [Software] Disponível em: www.vdl.ufc.br/ativa/balanca_interativa.htm

Acessado em: 29/03/2005

[2] Karner, G. (1993). Metrics for Objectory. (Diploma Thesis, University of Linköping, Sweden).



[3] Balança Interativa [Software] Disponível em: www.vdl.ufc.br/ativa/carta_interativa.htm Acessado em : 29/03/2005

[4] Magina, S., Campos, T. M. M., Nunes, T., & Gitirana, V. (2000). *Repensando Adição e Subtração: Contribuições da Teoria dos Campos Conceituais*. São Paulo: PROEM.

[5] Tchounikine, P. (2002). Pour une Ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. *In Revue I3, Vol. 2* (pp. 59-95).

[6] Vergnaud, G. (1990) La Théorie des Champs Conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*.

[7] Vergnaud, G. (1983). Multiplicative Structures. *In R. Lesh & M. Landau (Eds.), Acquisition of Mathematical Concepts and Processes*. New York: Academic Press.