

Um modelo de adaptação para Serious Games Educacionais baseado na avaliação de habilidades cognitivas e afetivas

Hícaro Felipe Brasileiro de Macedo Silva^{1*} Liliane dos Santos Machado¹ Ronei Marcos de Moraes²

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Informática, Brasil

²Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Estatística, Brasil

RESUMO

A Teoria do Espaço de Conhecimento Baseado em Competência (do inglês Competence-based Knowledge Space Theory, CbKST) possibilita a avaliação das habilidades do jogador através da observação de sua performance em Serious Games Educacionais (SGE). Dadas as informações sobre as habilidades de jogador, um SGE pode se adaptar às capacidades de cada pessoa. Embora seu uso seja pertinente, pesquisas em adaptação baseada em CbKST em SGE se limitam à avaliação de habilidades cognitivas, desconsiderando aspectos como habilidades afetivas ou até psicomotoras do jogador. Ademais, modelos de adaptação para SGE tem seu foco em escolher fases adequadas às habilidades do usuário, sendo que seus critérios não explicitam heurísticas que buscam otimizar a experiência do jogador.

Dessa forma, esse artigo propõe um modelo de adaptação baseado em marcos para sequenciamento de fases em função das habilidades cognitivas e afetivas do jogador tendo como foco o Caixa de Pandora, um SGE que lida com aspectos cognitivos e afetivos através do tema violência doméstica contra a mulher. O modelo proposto utiliza a Taxonomia de Bloom como fundamentação para a modelagem de habilidades e propõe um método para avaliação das habilidades do jogador. Além disso, é assumido que SGE possuem um conjunto de marcos que delimitam diferentes momentos de jogo, tais como introdução de novos assuntos, aumento de dificuldade, etc. Assim, o modelo proposto faz o uso desse conjunto de marcos a serem atingidos juntamente com informações da avaliação das habilidades do jogador com o intuito de adequar o desafio às suas capacidades e potencializar sua experiência.

Keywords: Teoria do Espaço de Conhecimento Baseado em Competências, adaptação, Taxonomia de Bloom, Serious Games Educacionais, avaliação de habilidades

1 INTRODUÇÃO

Embora um jogo aja como ferramenta de motivação, o seu apelo pode variar de acordo com o jogador [26]. Uma vez que jogadores têm gostos, habilidades e experiências diferentes, é natural que sejam afetados de maneiras distintas. Nesse sentido, destaca-se o conceito de adaptatividade: a característica de um jogo se adaptar de acordo com as ações e performance do usuário [15]. Assim, através da adaptação, um jogo teria potencial para promover uma melhor experiência para seus usuários [27].

No âmbito de Serious Games Educacionais (SGE), o monitoramento de características do indivíduo relacionadas ao seu processo de aprendizado, tais como o seu conhecimento, estilo de aprendizado e caminho de aprendizado, se faz necessário para o processo de adaptação [15]. O fato de um aluno ter que passar por um nível introdutório em um assunto que ele já domina, pode acabar prejudicando a sua experiência. No entanto, se o jogo se adapta em relação

ao conhecimento a priori do jogador, tal nível poderia ser omitido [27].

O processo de captar as características relacionadas ao aprendizado de um indivíduo é denominado modelagem do aprendiz e, segundo Chrysafiadi e Virvou [10], consiste na base para adaptação em sistemas educacionais computacionais. Compreende-se então que, para a implementação de adaptatividade em SGE, se torna imprescindível a definição do modelo de aprendiz a ser utilizado no jogo. Para isso, Chrysafiadi e Virvou [10] afirmam que três perguntas devem ser respondidas: 1) Que características do usuário devem ser modeladas? 2) Como modelá-las? 3) Como utilizar o modelo proposto?

A escolha das características do jogador a serem modeladas depende diretamente do escopo do jogo. Na esfera de SGE é importante que estas características se alinhem com os objetivos educacionais em questão. Nesse contexto se torna pertinente o uso de uma taxonomia de objetivos educacionais. Então vale salientar a Taxonomia de Bloom, que divide os objetivos educacionais em três domínios: cognitivo, afetivo e psicomotor [7]. O domínio cognitivo lida com a recordação, aprendizado e domínio de conhecimento [13], enquanto o afetivo remete a aspectos emocionais e mudanças dos valores, comportamento e interesses de um indivíduo [13][8]. O domínio psicomotor remete às habilidades físicas de um indivíduo [13].

Escolhidas as características a serem modeladas, o próximo passo é definir como isto deverá ser feito. Ao discutirem sobre modelagem do aprendiz em SGE, Gobel e Wendel [15] citam a Teoria do Espaço de Aprendizado Baseado em Competência (do inglês Competence-based Knowledge Space Theory, CbKST). Essa teoria, inicialmente proposta por Korossy [23], relaciona aspectos comportamentais observáveis com construtos de habilidades e conhecimentos que não são diretamente observáveis. Em outras palavras, através da performance do jogador, o CbKST é capaz de diagnosticar as competências possuídas por ele de forma indireta, uma vez que essa performance é resultado de suas competências [23]. Outra característica do CbKST é a relação de pré-requisitos entre as competências: para que um aluno possua uma determinada competência é necessário que ele primeiro tenha adquirido as competências que são pré-requisito da mesma.

No âmbito de SGE, o CbKST não apenas provê uma estrutura para representação do conhecimento do aluno, mas também oferece possibilidade de escolha de caminhos de aprendizado e também a avaliação das suas competências de forma não invasiva. A escolha de caminhos de aprendizado é consequência direta da propriedade da relação de pré-requisito entre competências, a ordem na qual as competências são apresentadas ao jogador altera diretamente as possibilidades de caminhos de aprendizado. Já a avaliação não invasiva do jogador evita o uso de meios tradicionais, tais como perguntas e testes, no diagnóstico do conhecimento, o que interrompe o fluxo de jogo e coloca em risco a experiência de jogador [22].

Dois modelos de adaptação baseados em CbKST podem ser elicitados no domínio de SGE: o modelo proposto para o jogo ELEKTRA [18] e o modelo proposto para o jogo 80days [14]. Os dois modelos adotam uma aproximação probabilística em de-

*e-mail: hicarofelipe@gmail.com

corrência de fatores tais como comportamento exploratório do jogo, tentativas de adivinhação e erros por descuido. O ELEKTRA é um jogo tridimensional que explora conceitos de física para alunos de oitava série. Seu modelo de adaptação foi proposto teoricamente em Kickmeier-Rust e Albert [20], sua formalização matemática foi definida em Augustin et al. [4] e a avaliação do modelo foi apresentada em Augustin et al. [6]. O SGE 80Days, por sua vez, aborda o tema de geografia para jovens na faixa etária de 12 a 14 anos de acordo com o currículo europeu da matéria [17]. Seu modelo de adaptação [5] consiste em uma derivação do modelo matemático proposto para o ELEKTRA com o propósito de simplificar a técnica em termos de complexidade computacional.

Os modelos de adaptação do ELEKTRA e 80Days seguem o mesmo princípio do problema explorado por Falmagne e Doignon [12], ou seja, avaliar continuamente o conhecimento de um estudante de forma a apresentar-lhe novas questões em função da resposta da questão anterior. Nos modelos, uma fase será escolhida (pelo modelo) para ser apresentada ao jogador em função de seu estado de competência atual. Entretanto, esses modelos não abordam profundamente uma característica comum tanto para jogos quanto para a educação a existência de marcos.

No presente artigo, entende-se como marco um ponto de divisa a partir do qual só será permitido o progresso se um determinado objetivo ou meta for alcançado. Um exemplo de marco em jogos poderia ser a transição para um novo “mundo de jogo”, quando é necessário que o jogador tenha coletado uma quantidade específica de itens no “mundo de jogo” atual. Assim, marcos servem como divisa para mudanças que estão por vir, como o aumento de dificuldade, introdução de novas mecânicas de jogo, novos assuntos a serem abordados, etc. Na educação, um exemplo de marco pode ser visto na transição de um ano para o outro, ou seja, para que o aluno possa progredir para a próxima série ele deve ter sido aprovado em todas as matérias da série atual.

Outros trabalhos de pesquisa envolvendo CbKST podem ser elicitados. O SGE Journey aborda conceitos básicos de probabilidade no nível do ensino médio e começo do nível superior [9] e utiliza um serviço web para realizar a avaliação do jogador pelo CbKST. Melero, El-Kechai e Labat [25] apresentam um estudo sobre duas técnicas para construção de espaços de competências para SGE originalmente não adaptativos. Kickmeier-Rust e Albert [19] descrevem o modelo de ontologia do ELEKTRA, explicitando a arquitetura de dados utilizada para a representação das estruturas relacionadas ao CbKST. Linek et al. [24] definem um framework de desenvolvimento para SGE adaptativos baseados em CbKST. Por fim, vale denotar os testes do jogo ELEKTRA, cujos resultados foram positivos em relação às intervenções adaptativas realizadas pelo jogo [20][21].

Embora o uso do CbKST em adaptatividade para SGE seja pertinente, como afirmado anteriormente, as aplicações e pesquisas identificadas se alinham com a modelagem de características do jogador no domínio cognitivo. No escopo dos modelos de adaptação citados, essa característica se torna limitante uma vez que os objetivos educacionais de SGE podem englobar também os domínios afetivo e psicomotor. No presente contexto da sociedade, no qual discussões como gênero, direitos humanos, diferenças culturais e violência domésticas estão em evidência, se faz pertinente a exploração do domínio afetivo em SGE. Além disso, Anderson et al. [2] indica que os domínios cognitivo e afetivo possuem um alto nível de intercessão ao afirmar que quase todo objetivo cognitivo possui um componente afetivo.

Nesse contexto vale citar o Caixa de Pandora [1], um SGE cujo propósito é a capacitação de profissionais de saúde quanto a questão da violência doméstica contra mulher. O jogo explora objetivos educacionais tanto no domínio cognitivo quanto no afetivo. Ademais, o jogo se estrutura em três níveis os quais cada um possui um tema principal, dessa forma a transição de um nível para outro

consistiria em um marco.

Dito isso, o presente artigo tem como objetivo propor um modelo de adaptação para o Caixa de Pandora, baseado no CbKST, considerando os domínios cognitivo e afetivo no processo de avaliação das habilidades do estudante. Adicionalmente, o modelo considera o uso de marcos para a progressão do jogo e os leva em consideração durante o sequenciamento de fases a serem apresentadas ao jogador. Para tanto, o modelo utiliza como base para modelagem de competências a Taxonomia dos Objetivos Educacionais de Bloom.

2 FUNDAMENTOS DO MODELO

2.1 CbKST e Caminhos de Aprendizado

Para um dado domínio de conhecimento o qual define o escopo de um SGE, considere E como o conjunto de competências necessárias para realizar todas as tarefas do jogo. Levando em conta a existência de relações de pré-requisito entre elementos de E , considere C como uma família de subconjuntos de E tal que os elementos de C obedecem tais relações entre os elementos de E . Dito isso, tem-se que cada elemento de C é denominado estado de competência [23] e, na prática, consiste no conjunto de competências que um indivíduo pode possuir. Ademais, a tupla (E, C) é definida como estrutura de competência [4][23], a qual contém todos os estados de competência possíveis.

No âmbito de adaptação o CbKST permite a escolha dos caminhos de aprendizado dependendo do estado de competência do indivíduo. Para ilustrar essa possibilidade será utilizado o exemplo trazido por Anselmi et al. [3]. Dito isso, considere um conjunto de competências:

$$E' = \{a, b, c, d\}.$$

Para o conjunto de competências E' , tem-se que sua respectiva a estrutura de competência consiste em:

$$(E', C') = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, d\}, \{a, b, c\}, \{a, b, d\}, \{a, c, d\}, E'\}.$$

Dada a estrutura de competência, é possível traçar os possíveis caminhos de aprendizado através da aquisição gradual de competências. Dito isso, para a estrutura definida acima tem-se que os caminhos de aprendizado podem ser representados de acordo com a Figura 1.

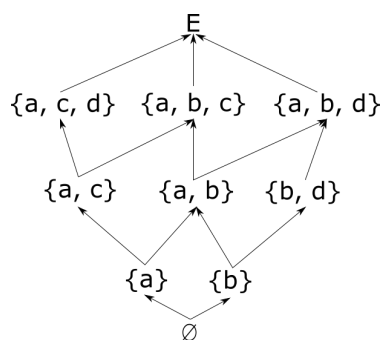


Figura 1: Caminhos de aprendizado possíveis para a estrutura de competência (E', C')

2.2 Competências e relações de pré-requisito

Enquanto a performance representa o comportamento de solução observável do indivíduo, a competência remete ao construto responsável por esse comportamento [23]. Logo, se uma pessoa acerta uma questão de soma, o ato de acertar a questão constitui a sua

performance, já o fato do indivíduo saber somar constitui sua competência.

Competências também podem possuir relações de pré-requisito, isto é, para que um indivíduo aprenda a multiplicar, é preciso saber somar primeiro. No trabalho de Korossy [23] são elicitados três tipos de critérios para definir a relação de pré-requisito entre competências:

1. Relações lógicas/matemáticas
2. Relações sobre diferenças entre complexidade
3. Relações baseadas em experiências instrucionais

O primeiro tipo de relação remete a uma relação de ordem lógica/matemática, em que há a dependência lógica ou matemática entre competências. Um exemplo desse tipo de relação é o cálculo do máximo divisor comum (MDC) entre dois números naturais utilizando a fatoração em números primos: para que o aluno saiba aplicar esse método é necessário saber como fatorar em números primos.

O segundo se refere a diferenças na ordem de complexidade computacional de processos. No trabalho de Korossy [23], esse tipo de relação é utilizado para separar a competência de computar os divisores de um número natural para dois intervalos de números diferentes. Dessa forma resultando em duas competências de complexidade computacional diferentes.

O terceiro tipo é baseado em convenções pedagógicas sobre a ordem de apresentação de assuntos. No exemplo do trabalho de Korossy [23], a competência de calcular o MDC usando fatoração em números primos é pré-requisito da competência de calcular o mínimo múltiplo comum (MMC) através da fatoração em primos. Essa relação foi estabelecida devido à experiência instrucional de profissionais que observaram que alunos enfrentavam uma maior dificuldade em computar fatores primos para MMC que para MDC.

Adicionalmente, o trabalho de Kickmeier-Rust e Albert [19] faz o uso da taxonomia revisada de Bloom [2] junto com a definição de competência proposta por Heller et al. [16] oferecendo um norteamento melhor para modelagem de competências bem como para a definição de relações de pré-requisito. Segundo a definição de Heller et al. [16], competência é definida como um par consistindo em um conceito (por exemplo, difração da luz) e um verbo de ação. Verbos de ação descrevem performances ou comportamentos observáveis de um estudante, podendo assim representar objetivos educacionais. Esses verbos de ação, no trabalho de Kickmeier-Rust e Albert [19], representam objetivos educacionais equivalentes na taxonomia revisada de Bloom.

Como dito anteriormente, a Taxonomia de Bloom classifica os objetivos educacionais em três domínios: cognitivo, afetivo e psicomotor. Os domínios são divididos em níveis hierárquicos nos quais para se atingir um nível mais elevado, deve-se passar pelos níveis inferiores. Dessa forma, sob a ótica do CbKST, cada nível seria um pré-requisito do seu sucessor. A Figura 2 ilustra a hierarquia de níveis dos domínios cognitivo e afetivo.

O domínio cognitivo é composto pelos seguintes níveis: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação. O nível do conhecimento remete ao ato de lembrar ou recordar de processos padrões e métodos. Esse nível também inclui a capacidade de relacionar um conhecimento com uma dada situação, como por exemplo identificar o assunto de uma dada questão. Compreensão remete a um nível de entendimento em que um indivíduo é capaz de reconhecer o que está sendo mostrado a ele e consegue fazer o uso do conteúdo ou ideia relacionado sem que seja necessariamente capaz fazer conexão com outras ideias ou compreender completamente as implicações de uso. Aplicação consiste no uso de abstrações, isto é, ideias, métodos e procedimentos, em situações concretas. Análise consiste em separar um conteúdo em elementos e identificar os relacionamentos e princípios organizacionais com

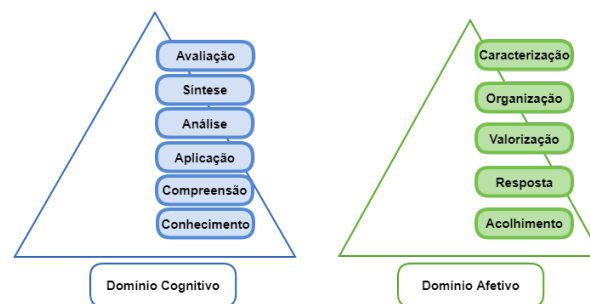


Figura 2: Níveis hierárquicos dos domínios cognitivo e afetivo

o intuito de entender o conteúdo como um todo. Síntese remete à habilidade de trabalhar com elementos de tal forma que, através do arranjo e combinação deles, se consiga obter um todo, isto é, um padrão ou estrutura que não era evidente antes do processo. Por fim avaliação consiste no processo de avaliar um material ou método para um dado propósito e com base em critérios, sejam eles qualitativos, quantitativos, baseados em um padrão de avaliação, determinados pelo aluno ou determinados a priori.

Em relação ao domínio afetivo, o mesmo é composto por: acolhimento, resposta, valorização, organização e caracterização. O nível do acolhimento é caracterizado pela sensibilização do aluno pela existência de certos fenômenos ou estímulos, nesse nível se encontram os processos de percepção de um estímulo, disposição a recebê-lo e atenção controlada à um estímulo, isto é a diferenciação de um estímulo. O nível da resposta compreende na reação ao estímulo, diferentemente do nível anterior, neste é possível observar um certo comprometimento por parte do aluno ao estímulo. O nível da valorização remete a internalização de valores, diferentemente do nível da resposta o qual remete a uma atitude em resposta a um estímulo, aqui a atitude advém do comprometimento com o valor relacionado. O nível da organização surge a partir da internalização de vários valores, desta forma quando um indivíduo encontra uma situação que envolve mais de um valor se torna necessária a organização destes em um sistema próprio, conceituando e inter-relacionando cada elemento, dessa forma o indivíduo é capaz de ponderar os seus valores para lidar com tal situação. Por fim no nível de caracterização por um valor ou complexo de valores consiste em uma internalização de valores em um dado grau que tais valores controlam o seu comportamento e estejam integrados com sua filosofia de vida e visão de mundo.

Embora os domínios afetivo e cognitivo sejam descritos de forma separada, Bloom, Krathwohl e Bertram [8], em seu trabalho sobre domínio afetivo, afirmam que: “O fato de que tentemos analisar a área afetiva, separadamente da cognitiva, não tem a intenção de sugerir que haja uma separação fundamental. Não há nenhuma”. Nesse escopo, o trabalho discute sobre o relacionamento entre os dois domínios tendo em vista os níveis hierárquicos de cada um. Embora não tenha sido alcançado um mapeamento completo das relações entre os níveis de cada domínio, são apontadas relações importantes decorrentes das definições de cada nível. A seguir serão elicitados exemplos de relações entre os domínios.

A primeira relação elicitada pelos autores é entre o nível do conhecimento, no domínio cognitivo, e do acolhimento, no afetivo. Uma vez que o acolhimento envolve se tornar consciente de um estímulo esse acaba se tornando pré-requisito para o conhecimento no seguinte sentido: para se ter conhecimento de algo é preciso primeiro se tornar consciente de sua existência. Entretanto, vale denotar que essa ligação nem sempre acontece. Tomar “conhecimento” (no sentido do acolhimento) de um elemento ou mensagem de uma música pode exigir níveis cognitivos tais como compreensão ou análise dos elementos que compõem a mesma.

No nível da organização do afetivo, o processo de conceitualizar um determinado valor requer a um indivíduo pelo menos a compreensão dele. O processo de inter-relacionamento de valores por sua vez indica a requisição de capacidade de análise de cada valor. Adicionalmente, o processo de comparar valores entre si implica na capacidade de avaliação no cognitivo.

Quanto aos níveis intermediários, isto é, resposta e valorização, sua relação com o cognitivo é, segundo os autores, mais difícil de denotar uma vez que essa parte do afetivo “parece abranger uma ampla parte do domínio cognitivo”[8]. No nível da resposta é denotado pelos autores que se um indivíduo responde a um valor, ele compreende a razão para qual respondê-lo. No nível de valorização, no qual há uma busca de situações as quais envolvem os valores, relacionados para assim respondê-las, dessa forma pode haver a necessidade da capacidade de um indivíduo analisar situações com fim de determinar se os valores em questão são aplicáveis a uma dada situação.

A Taxonomia de Bloom, além de fornecer uma classificação para objetivos educacionais, facilitando a assim a modelagem de competências, ela tem uma função norteadora no que se refere a denotar relações de pré-requisito entre as competências identificadas. No âmbito das relações dentro do mesmo domínio, essas são definidas de forma objetiva devido à organização hierárquica entre os níveis de cada domínio. Quanto às relações entre domínios, embora não seja fornecida uma forma objetiva de traçar todas as relações entre competências, são fornecidos meios para que relações entre competências de domínios diferentes sejam denotadas através de critérios subjetivos.

2.3 Caixa de Pandora

O Caixa de Pandora é um SGE cujo objetivo principal é a qualificação de profissionais da saúde no âmbito da violência doméstica contra a mulher [1]. O jogo também busca sensibilizar e conscientizar profissionais da saúde em relação à necessidade da identificação e intervenção em casos de violência contra a mulher.

No escopo de seus objetivos educacionais, o SGE abrange os domínios cognitivo e afetivo. Quanto aos níveis cognitivos, o Caixa de Pandora explora os níveis correspondentes ao conhecimento, compreensão e aplicação na Taxonomia de Bloom. Quanto ao afetivo, são explorados os níveis de acolhimento, resposta e, dependendo do nível de imersão do jogador, a valorização.

O jogo gira em torno da personagem Marta que durante toda vida viveu situações de violência e opressão contra a mulher. Estas situações são mostradas ao jogador em formato de cenas seguidas por perguntas de múltipla escolha que devem ser respondidas pelo jogador, cada resposta revela não apenas informações de caráter teórico sobre o tema, mas também concepções pessoais do usuário. Como consequência a cada resposta dada, uma mensagem de cunho reflexivo e motivacional é dada ao jogador.

Para cada pergunta são apresentadas quatro alternativas, a cada alternativa é atrelada uma pontuação que reflete o alinhamento do saber e das concepções do jogador quanto ao tema em questão, ilustrada na Figura 3. As perguntas por sua vez, são agrupadas em três níveis que abordam três grandes temas: Gênero, Direitos Humanos e Saúde. Em cada nível predominam um dos temas citados em forma respectiva, entretanto suas perguntas podem envolver temas relativos aos outros níveis.

A progressão entre os níveis de jogo irá depender da pontuação do jogador, obtida através das suas respostas. Além da escala de avaliação de cada resposta, cada pergunta possui um Grau de Importância (GI), variante de acordo com o número e a importância dos temas envolvidos, seu cálculo é ilustrado na Figura 4. Dito isso, temos que o cálculo da pontuação ganha por pergunta é obtido através da multiplicação do GI pelo valor de cada resposta. Ao final de cada nível se o jogador obtiver pontuação suficiente, ele será encaminhado para a próxima etapa do jogo, caso contrário ele acaba

falhando e terá que iniciar o jogo novamente.

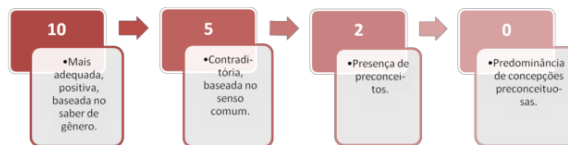


Figura 3: Escala de avaliação das respostas das perguntas e respectivos significados [11, p. 109].

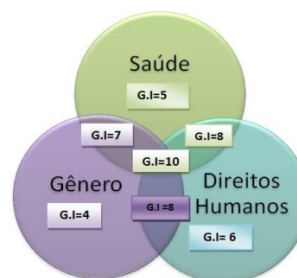


Figura 4: Critério de cálculo dos Graus de Importância de cada pergunta de acordo com os temas envolvidos [11, p. 110].

3 METODOLOGIA

O processo de definição do modelo de adaptação descrito no presente artigo segue o processo de resposta das três perguntas elicitadas por Chrysafiadi e Virvou [10]: 1) Que características do usuário devem ser modeladas? 2) Como modelá-las? 3) Como utilizar o modelo proposto?

As características a serem modeladas dependem diretamente do escopo do SGE, definido através de seus objetivos educacionais. Uma vez que o objetivo do modelo é ser genérico, se faz necessário o uso de uma classificação que consiga alcançar tal abrangência. Para isso foi utilizada a Taxonomia dos Objetivos Educacionais de Bloom.

O processo de modelagem dessas características depende das suas relações e do método de avaliação dessas características. Nesse escopo, o CbKST fornece a base para a estruturação das características (competências no escopo do CbKST) através dos conceitos de estado de competência e estrutura de competência. Quanto ao método de avaliação, embora os modelos do ELEKTRA [4] e do 80Days [5] descrevam métodos para avaliação de competência, baseados em CbKST voltados para jogos, será proposto um método próprio para avaliação de habilidades.

Dada a avaliação de habilidades do jogador, tem-se em mãos o modelo de aprendiz, isto é, o conjunto de informações do jogador obtidas que constituem a fundamentação para o processo de adaptação. Nesse sentido, o uso do modelo de aprendiz está ligado diretamente ao algoritmo de adaptação. Definir o algoritmo de adaptação significa definir que tipo de intervenções adaptativas serão aplicadas e quais critérios para tais (utilizando como base a modelagem do aprendiz). No modelo de adaptação proposto, as intervenções previstas se limitam ao sequenciamento de fases: dado que o jogador terminou a fase atual, escolher a próxima fase a ser apresentada. Quanto aos critérios de escolha de fase, esses giram em torno do estado de competência do jogador e dos marcos a serem alcançados. Marcos esses que caracterizam pontos de mudança

no jogo nos quais se faz necessário atingir um determinado objetivo para que o jogador possa progredir, marcos podem caracterizar momentos como mudança de dificuldade e introdução de novos assuntos. No Caixa de Pandora, os marcos são representados pela mudança de níveis, nos quais é necessário atingir uma determinada pontuação para a progressão de níveis e essa progressão marca a mudança do tema principal abordado nas perguntas (fases).

4 MODELO DE ADAPTAÇÃO

Como afirmado anteriormente, o escopo do modelo consiste na sequenciação de fases em função do estado de competência do jogador e dos marcos a serem atingidos no jogo. Para isso, o algoritmo do modelo proposto deve monitorar constantemente as ações do jogador e atualizar seu estado de competência de acordo. Ao final de cada fase deve escolher a próxima baseando-se tanto no estado de competência do jogador quanto no próximo marco a ser alcançado, buscando otimizar a experiência do jogador ao oferecer níveis de dificuldade diretamente acima de suas capacidades. Logo, o modelo de adaptação pode ser dividido em três partes: modelagem de competências, avaliação do estado de competência e sequenciamento de fases.

A modelagem de competências consiste na identificação das competências a serem avaliadas e, sequencialmente, na hierarquização dessas competências. A partir dessa hierarquização é obtido a estrutura de competência, que representa os possíveis caminhos de aprendizado a serem tomados durante o processo de adaptação. A modelagem de competências é feita apenas uma vez e acontece durante o processo de desenvolvimento do jogo. A avaliação e sequenciamento de fases, por sua vez, acontecem durante a execução do jogo. O algoritmo de sequenciamento escolhe uma fase para o jogador, baseando-se no seu estado de competência, e as ações do jogador são utilizadas como entrada para avaliação de competências. Essa relação entre as partes do modelo é ilustrada na Figura 5.

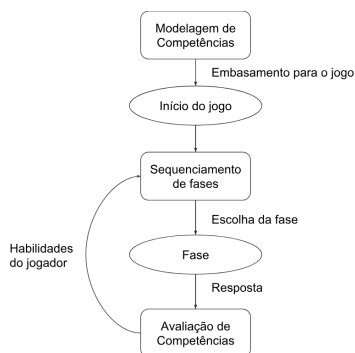


Figura 5: Representação das relações entre componentes do modelo de adaptação

4.1 Modelagem de Competências

Dadas as definições de competência elicitadas na fundamentação, falta ainda a definição para o presente modelo. Embora a definição de Heller et al. [16] seja pertinente para representação de forma computacional, o uso dela se torna limitante quando pretende-se modelar competências que envolvem mais de um conceito (como por exemplo a competência de relacionar dois conceitos). Adicionalmente, a forma de representação computacional não influencia o objetivo do modelo uma vez que o importante é a estrutura de competência. Dito isso, nesse modelo define-se como competência uma sentença envolvendo um verbo de ação, representante de um nível da Taxonomia de Bloom, que descreve o comportamento de performance de um jogador.

Após a definição do conjunto E de competências, é necessário relacioná-las através da relação de pré-requisitos. Para isso são definidos quatro critérios para o estabelecimento da relação:

1. Relações lógicas/matemáticas
2. Relações sobre diferenças entre complexidade
3. Relações baseadas em decisões arbitradas
4. Relações baseadas na Taxonomia de Bloom

Enquanto os dois primeiros fazem parte dos critérios de Korossy [23], o terceiro foi alterado e um quarto foi adicionado. Quanto ao terceiro, ao invés de ter sido mantido o critério original que se baseia em experiências instrucionais, optou-se por um critério mais abrangente. Dessa maneira, o critério não apenas abrange experiências instrucionais, mas também decisões de outras naturezas tais como decisões de projeto do jogo, separação de conteúdo, etc. Já o quarto critério remete às relações entre níveis dos domínios da Taxonomia de Bloom, discutidas nos fundamentos.

Dado o embasamento na Taxonomia de Bloom e as relações entre os domínio cognitivo e afetivo da mesma, nesse modelo entende-se como estado de competência um conjunto de competências/habilidades remetentes aos domínios cognitivo e afetivo obedecendo suas relações de pré-requisito. Dito isso, consequentemente a estrutura de competência engloba todos os estados de competência possíveis e também abrange os domínios afetivo e cognitivo.

Embora estruturalmente não haja distinção entre competências cognitivas e afetivas no que se refere a estruturas e estados de competência, essas se diferem no âmbito das relações de pré-requisito. Como dito anteriormente, os domínios cognitivos e afetivo possuem uma forte interseção. Dessa forma, no presente modelo, os domínios cognitivo e afetivo, bem como seu relacionamento, são estruturados teoricamente através do uso da Taxonomia de Bloom enquanto na prática são tratados de maneira indistinta no âmbito do CbKST.

4.2 Avaliação do estado de competência

O método original de avaliação do Caixa de Pandora possui uma aproximação holística, ou seja, as concepções e conhecimentos do jogador são avaliadas de maneira geral e mapeadas para uma pontuação que varia de zero a dez e depois multiplicada pelo GI da pergunta. Do ponto de vista do CbKST, esse tipo de avaliação deixa de lado aspectos que seriam de vital importância para o critério de adaptação.

Para a avaliação do jogador no Caixa de Pandora quanto às suas habilidades, uma abordagem de pontuações como a do método original é adotada. Dessa forma, considere $P : (E, C) \rightarrow N$ a função que indica a pontuação do jogador para um determinado estado de competência e $T : (E, C) \rightarrow N$ a função que indica o valor de referência para obtenção do estado de competência. Dessa forma tem-se que o jogador possui um estado de competência $c \in (E, C)$ se as seguinte condições forem cumpridas:

$$P(c) \geq T(c)$$

$$\exists c' \subset c, P(c') \geq T(c') \text{ e } |c| - 1 = |c'|$$

Assim, tem-se que só se pode afirmar que o jogador possui um estado de competência se ele oferecer pontuação maior que o valor de referência e que tenha obtido um estado predecessor ao estado c .

Para contabilização da pontuação, consideremos $C_{actual} \in (E, C)$, cujo valor inicial é \emptyset o estado de competência atual do jogador e que

$$S(c \in (E, C)) = \{c' \mid c' \in C, c \subset c' \text{ e } |c'| = |c| + 1\}$$

consiste no conjunto de estados de competência acessíveis a partir de c . Ademais, considere A , o conjunto de ações relevantes que tragam informações sobre a presença de um conjunto de competências formalizado por

$$A = \{a \mid a \subseteq E\}.$$

Tem-se que para um dado $a \in A$, cada elemento de a consiste em uma competência observada. Assim, para cada competência $h \in a$ tem-se que a pontuação vai ser atualizada da seguinte forma:

$$\forall c \in S(C_{atual}) \text{ e } c \supset \{e\}, P(c) \leftarrow P(c) + k$$

No qual k corresponde a uma constante de incremento de pontuação.

Dados os pontos contabilizados, a atualização o estado de competência C_{atual} irá seguir a seguinte regra:

$$C_{atual} = \max\{P(c) \mid c \in S(C_{atual}) \text{ e } P(c) \geq T(c)\}$$

Esse método de avaliação consiste no percorrido da estrutura de competência de acordo com a performance do jogador. Dessa forma, para uma dada posição na estrutura de competência, só poderá caminhar para um estado adjacente.

4.3 Escolha de fases

Seja M a sequência de marcos do jogo. Como M se refere a um conjunto de objetivos relativos ao estado de competência do jogador temos que cada elemento $m \in M$ também pertence ao conjunto C . De forma adicional, se $|M| = 0$ temos que não há mais objetivos a serem alcançados e assim interpreta-se que o jogo foi concluído de forma bem sucedida. Em contrapartida, se o conjunto F de fases for vazio, tem-se que o jogador jogou todas as fases mas não foi bem sucedido em atingir os marcos, nesse caso o jogo é finalizado de forma mal sucedida.

Para cada fase $f \in F$, é assumido que $E(f) \in C$, em outras palavras, as competências envolvidas em cada fase são coerentes entre si no que se diz respeito às suas relações de dependência. Dito isso, para cada estado de competência $c \in C$, existe um conjunto F_c tal que:

$$F_c = \{f \in F \mid E(f) \subseteq c\}.$$

Dessa forma, F_c consiste no conjunto de fases as quais um indivíduo que possui o estado de competência c consegue resolver. Entretanto, para que jogador progrida ao longo de um determinado caminho de aprendizado, é necessária a apresentação de competências que vão além da capacidade avaliada do jogador. Com isso em mente considere o conjunto F_c^{+1} :

$$F_c^{+1} = \{f \in F \mid E(f) \subseteq c', \forall c' \in C \text{ e } |c' \cup c| = |c| + 1\}.$$

Dessa forma, F_c^{+1} representa o conjunto de fases que podem ser solucionadas com o estado de competência c mais as fases correspondentes aos de competência subsequentes a c . Seguindo o exemplo da Figura 1, se o estado de competência avaliado é $\{a, c\}$, teríamos que $F_{\{a, c\}}^{+1} = F_{\{a, c\}} \cup F_{\{a, c, d\}} \cup F_{\{a, b, c\}}$. Dito isso, tem-se que F_c^{+1} consiste no conjunto de fases elegíveis para serem apresentadas ao jogador para um dado estado de competência c . Caso $F_c^{+1} = \emptyset$, são esgotadas as opções de progressão em qualquer caminho de aprendizado e, assim o jogo é concluído de maneira mal sucedida.

Dado conjunto de fases elegíveis, é necessário definir um critério para a escolha da próxima fase. Uma vez que o objetivo é alcançar os marcos definidos, é desejável alcançá-los visando o menor tempo possível. Dessa forma, para um dado M_{atual} , o marco mais próximo

de ser atingido, será escolhido uma fase de F_c^{+1} que melhor contribua para o aumento da probabilidade do jogador possuir M_{atual} . Para isso, considere $I_{max} \in N$, tal que:

$$I_{max} = \max\{|f \cap M_{atual}| \mid \forall f \in F_c^{+1}\}.$$

Assim, tem-se que I_{max} corresponde ao maior tamanho da interseção de elementos de F_c^{+1} com M_{atual} . Considerando que mais de uma interseção pode possuir o tamanho I_{max} , define-se o conjunto F_{final} como:

$$F_{final} = \{f \mid f \in F_c^{+1} \text{ e } |f \cap M_{atual}| = I_{max}\}.$$

O conjunto F_{final} contém as fases que têm o maior potencial para alcançar M_{atual} no sentido que possuem maior número de competências em M_{atual} que os elementos remanescentes do conjunto F_c^{+1} . Por fim, tem-se que a fase a ser apresentada ao jogador F_{atual} é resultado da escolha aleatória de um elemento de F_{final} .

Finalmente, após a escolha de F_{atual} , essa é retirada do conjunto F com o propósito de evitar a repetição de fases durante o jogo. De forma análoga, quando um marco $m \in M$ é alcançado, este é retirado da sequência, assim, quando todos os marcos forem atingidos, a condição de fim de jogo é alcançada.

4.4 Algoritmo de adaptação

Essa sessão tem como objetivo a descrição em forma de algoritmo o relacionamento dos processos de avaliação do estado de competência e sequenciamento de fases. Vale salientar que o algoritmo descrito não representa a implementação final do modelo uma vez que há fatores que afetam forma de implementação tais como funcionamento do jogo, arquitetura empregada e plataforma de desenvolvimento.

Algorithm 1 Algoritmo do Modelo de Adaptação

```

1: inicia o jogo
2: inicializa variáveis
3: while |M| ≠ 0 do
4:   if F = ∅ then
5:     termina o jogo de forma malsucedida
6:   end if
7:   Fc+1 ← computa fases candidatas
8:   if Fc+1 = ∅ then
9:     termina o jogo de forma malsucedida
10:  end if
11:  Ffinal ← filtra fases candidatas
12:  Fatual ← escolhe fase aleatoriamente em Ffinal
13:  carrega fase Fatual
14:  while jogador não respondeu do
15:    if jogador fez ação relevante then
16:      atualiza pontuações
17:      atualiza estado de competência
18:    end if
19:  end while
20:  finaliza fase atual
21:  F ← F – Fatual
22:  if estado_de_competência = Matual then
23:    M ← cauda(M)
24:  end if
25: end while
26: termina o jogo de forma bem sucedida

```

O primeiro passo após o início do jogo é a inicialização de variáveis. Um ponto importante a ser levado em consideração é que o estado de competência do jogador começa com o valor $\{\emptyset\}$ uma vez que não foi coletada nenhuma evidência de suas características.

Em seqüência, é iniciado o laço principal do jogo: a cada iteração é checada a condição de finalização do jogo de forma bem sucedida. Nas linhas 4 e 8 são checadas as condições para o jogo terminar de maneira malsucedida.

As linhas 7 a 12 correspondem ao processo de escolha de fase. Enquanto as linhas 16 e 17 remetem ao processo de avaliação das competências do jogador.

Nas linhas 21 a 24 são realizados os processos pós-encerramento da fase. A fase concluída é retirada do conjunto F de fases disponíveis para que não seja repetida. A linha 22 constitui a checagem se o M_{atual} foi atingido. Caso, depois da atualização do estado de competência, o marco atual for atingido este é retirado da seqüência. Dessa maneira, na linha 23 a seqüência M assume o valor de sua cauda (subseqüência que parte do seu segundo elemento até o último) e o jogador passa para o próximo marco do jogo.

5 DISCUSSÃO

O modelo de adaptação apresentado nesse artigo inclui três vertentes: modelagem de competências, avaliação do estado de competência e sequenciamento de fases.

A primeira vertente, modelagem de competências, se embasa fortemente na Taxonomia de Bloom incluindo os domínios cognitivo e afetivo. Entretanto, é importante mencionar a taxonomia revisada de Bloom [2], utilizada em [19] para modelagem de competências. Essa revisão se concentra em explorar apenas o domínio cognitivo e sua principal diferença em relação à original é a troca de posições dos níveis de avaliação e síntese. Embora haja a possibilidade de utilizar a proposição do domínio cognitivo da taxonomia revisada, decidiu-se manter o uso da taxonomia original devido à necessidade de uso do domínio afetivo.

Na segunda vertente foi elaborado um método de avaliação próprio em detrimento dos modelos dos jogos ELEKTRA e 80Days. Esses modelos, ditos probabilistas, utilizam como espaço de amostragem a estrutura de competência. Entretanto, como foi observado em Korossy [23], no âmbito da avaliação podem ocorrer “estados de competência”teoricamente impossíveis (por exemplo: não saber somar e saber multiplicar) que não fazem parte da estrutura de competência, mas mesmo assim podem ser observáveis. Dito isso, os modelos em questão, ao desconsiderarem tais eventos no espaço amostral incompleto, assumem que a soma das ditas probabilidades é 1, violando as regras da Probabilidade. Diante de tal inconsistência teórica optou-se pela criação de um método próprio. A estratégia proposta baseada em pontuações que além de seu simples entendimento, possui uma carga computacional mais baixa que o método do ELEKTRA [4] por não precisar atualizar os valores de todos os estados de competência ao final de uma fase.

O sequenciamento de fases do modelo de adaptação proposto considera que a estrutura de competência é bem graduada, ou seja, durante a transição de um estado de competências para outro haverá a diferença de apenas uma competência. Dessa forma é garantido que, ao apresentar novas competências ao jogador, apenas uma nova competência será introduzida por vez. Entretanto, deve-se ter em mente que na prática nem sempre essa suposição é verdadeira. Esse é o caso do trabalho de Meler, El-Kechai e Labat [25] no qual a modelagem das estruturas de competência em um dos métodos estudados gerou estruturas mal graduadas. Outro problema que deve ser considerado é o caso do esgotamento de fases para um dado estado de competência, resultando em uma “obstrução”do caminho de aprendizado, neste caso. Deste modo, se não for considerado adequadamente a boa graduação da estrutura de competência poderão ocorrer “saltos”de duas ou mais competências cuja viabilidade depende do contexto do jogo.

Quanto à aplicação do modelo de adaptação proposto ao Caixa de Pandora, esquematizada na Figura 6, tem-se que o SGE é constituído por um conjunto de perguntas e essas, por sua vez, são agrupadas em três níveis. Cada pergunta é considerada como uma fase e

o critério para transição de fases no Caixa de Pandora é interpretado como um marco a ser alcançado. No modelo aplicado, a pontuação a ser atingida no original é traduzida para um marco, esse que corresponde ao estado de competência que compreende as habilidades exploradas no nível atual. Dessa forma, a cada marco atingido, o jogador será redirecionado para o nível seguinte e, quando o último marco for alcançado o jogo acaba. Como o Caixa de Pandora possui três níveis, três marcos são elicitados: conclusão do primeiro nível, conclusão do segundo e a conclusão do terceiro nível. Vale salientar que o gerenciamento de marcos é feito durante o processo de escolha de fases e que na avaliação de competências, as respostas das perguntas consistem em ações relevantes do jogador.

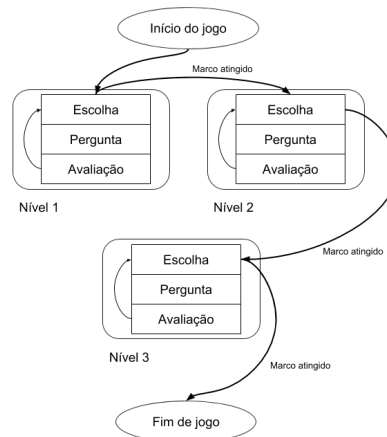


Figura 6: Representação das relações entre componentes do modelo de adaptação

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente modelo de adaptação traz como contribuição a descrição de três dimensões fundamentais para o processo de adaptação em SGE com que consideramos os domínios cognitivo e afetivo, como é o caso do Caixa de Pandora. Essas três dimensões são: a dimensão teórica, com a hierarquização de competências nos domínios cognitivo e afetivo, a dimensão de avaliação de habilidades/competências do jogador e o processo de adaptação baseado nas outras duas vertentes.

Em relação a outras implementações do CbKST em SGE, o modelo proposto se diferencia principalmente por considerar o domínio afetivo na avaliação do jogador. Além disso, o método proposto para avaliação de habilidades é computacionalmente leve e o sequenciamento de fases busca, não apenas selecionar uma fase adequada às habilidades do jogador, mas também apresentar um desafio ligeiramente acima da capacidade do usuário e assim mantendo seu interesse no jogo. Enquanto pesquisa em andamento, o próximo passo é a validação do modelo proposto através da sua implementação no Caixa de Pandora.

O uso de adaptação em SGE permite a adequação do jogo ao jogador favorecendo o processo educativo. A modelagem das habilidades do jogador de forma não invasiva, além de evitar interrupções no fluxo de jogo para avaliação, provê informações que servem como base para a tomada de decisão no momento de adaptação. O jogo, ao identificar alguma dificuldade do jogador com uma tarefa, poderá apresentá-lo uma tarefa de complexidade que melhor se adequa a seu nível de habilidade ou até mesmo prover-lhe dicas de como resolver a tarefa em questão. Caso seja identificada a proficiência nas tarefas apresentadas, o progresso do jogo irá se con-

centrar em fornecer atividades cuja dificuldade esteja diretamente acima de sua capacidade. Com esta abordagem o SGE é capaz de otimizar a experiência do jogador através de intervenções que equilibram suas habilidades aos desafios propostos, o que consequentemente beneficia o processo educativo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq, através dos processos 310561/2012-4 e 308250/2015-0, e ao programa de bolsa CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] L. R. Almeida, L. S. Machado, A. T. Medeiros, H. F. C. Coelho, J. M. Andrade, and R. M. Moraes. The caixa de pandora game: Changing behaviors and attitudes toward violence against women. *Computers in Entertainment (CIE)*, 16(3):2:1–2:13, 2018.
- [2] L. W. Anderson, D. R. Krathwohl, P. Airasian, K. Cruikshank, R. Mayer, P. Pintrich, J. Raths, and M. Wittrock. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. 2001.
- [3] P. Anselmi, L. Stefanutti, D. de Chiusole, and E. Robusto. The assessment of knowledge and learning in competence spaces: The gain–loss model for dependent skills. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 70(3):457–479, 2017.
- [4] T. Augustin, C. Hockemeyer, M. Kickmeier-Rust, and D. Albert. Individualized skill assessment in digital learning games: Basic definitions and mathematical formalism. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(2):138–148, 2011.
- [5] T. Augustin, C. Hockemeyer, M. D. Kickmeier-Rust, P. Podbregar, R. Suck, and D. Albert. The simplified updating rule in the formalization of digital educational games. *Journal of Computational Science*, 4(4):293–303, 2013.
- [6] T. Augustin, C. Hockemeyer, R. Suck, P. Podbregar, M. D. Kickmeier-Rust, and D. Albert. Individualized skill assessment in educational games: The mathematical foundations of partitioning. *Journal of Mathematical Psychology*, 67:1–7, 2015.
- [7] B. S. Bloom, M. Englehard, E. Furst, W. Hill, and D. Krathwohl. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals: Handbook I Cognitive Domain. *Longmans, Green and Co LTD*, 16:207, 1956.
- [8] B. S. BLOOM, D. R. KRATHWOHL, and B. B. MASIA. Taxionomia de objetivos educacionais. *Compêndio Segundo: Domínio Afetivo*, 2:49–53, 177–188, 1972.
- [9] M. B. Carvalho. *Serious Games for Learning: A model and a reference architecture for efficient game development*. 2016.
- [10] K. Chrysafiadi and M. Virvou. Student modeling approaches: A literature review for the last decade. *Expert Systems with Applications*, 40(11):4715–4729, 2013.
- [11] L. R. de Almeida. *Serious game para qualificação das práticas de profissionais de saúde na abordagem à violência contra a mulher, year = 2015*. PhD thesis, Universidade Federal da Paraíba.
- [12] J. C. Falmagne and J. P. Doignon. A markovian procedure for assessing the state of a system. *Journal of Mathematical Psychology*, 32(3):232–258, 1988.
- [13] A. P. d. C. M. Ferraz and R. V. Belhot. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão & Produção*, 17(2):421–431, 2010.
- [14] S. Göbel, F. Mehm, S. Radke, and R. Steinmetz. 80Days: Adaptive digital storytelling for digital educational games. *CEUR Workshop Proceedings*, 498(498), 2009.
- [15] S. Göbel and V. Wendel. Personalization and adaptation. In *Serious Games*, pages 161–210. Springer, 2016.
- [16] J. Heller, C. Steiner, C. Hockemeyer, and D. Albert. Competence-Based Knowledge Structures for Personalised Learning. *International J. on E-Learning*, 5(1):75–88, 2006.
- [17] M. A. Khenissi, F. Essalmi, M. Jemni, and Kinshuk. Learner Modeling Using Educational Games: A Review of the Literature. *Smart Learning Environments*, 2(1):6, 2015.
- [18] M. Kickmeier-Rust, D. Schwarz, D. Albert, D. Verpoorten, J.-L. Castaigne, and M. Bopp. The ELEKTRA project: Towards a new learning experience. *M3 - Interdisciplinary Aspects on Digital Media & Education. Proceedings of the 2nd Symposium of the WG HCI & UE of the Austrian Computer Society.*, 3(4):19–48, 2006.
- [19] M. D. Kickmeier-Rust and D. Albert. The ELEKTRA ontology model: A learner-centered approach to resource description. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 4823 LNCS:78–89, 2008.
- [20] M. D. Kickmeier-Rust and D. Albert. Micro-adaptivity: Protecting immersion in didactically adaptive digital educational games. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(2):95–105, 2010.
- [21] M. D. Kickmeier-Rust, C. Hockemeyer, D. Albert, and T. Augustin. Micro adaptive, Non-Invasive knowledge assessment in educational games. *Proceedings - 2nd IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning, DIGITEL 2008*, pages 135–137, 2008.
- [22] M. D. Kickmeier-Rust, C. M. Steiner, and D. Albert. Apt to adapt: Micro-and macro-level adaptation in educational games. In *Technology-enhanced systems and tools for collaborative learning scaffolding*, pages 221–238. Springer, 2011.
- [23] K. Korossy. Modeling knowledge as competence and performance. *Knowledge Spaces : Theories, Empirical Research and Applications*, pages 103–132, 1999.
- [24] S. B. Linek, D. Schwarz, M. Bopp, and D. Albert. Game-based learning: Conceptual methodology for creating educational games. *5th International Conference on Web Information Systems and Technologies, WEBIST 2009*, (September 2016):135–142, 2009.
- [25] J. Melerero, N. El-Kechäi, and J.-M. Labat. Comparing two CbKST approaches for adapting learning paths in serious games. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9307(January), 2015.
- [26] P. Mildner et al. Design of serious games. In *Serious Games*, pages 57–82. Springer, 2016.
- [27] A. Streicher and J. D. Smeddinck. Personalized and adaptive serious games. In *Entertainment Computing and Serious Games*, pages 332–377. Springer, 2016.