

Computadores em educação química: um relato de 25 anos de prática com o desenvolvimento de jogos educacionais digitais

Marcelo Leandro Eichler

Na virada do milênio se achava que os computadores poderiam mudar a educação ou, pelo menos, as práticas educativas. Nessa época, iniciei meus estudos na área de interface entre a informática educativa e o ensino de química. Neste artigo, reflito sobre minha trajetória de um quarto de século com a produção de jogos educacionais digitais. A lembrança dos estudos de pré-produção e dos desafios de produção dos recursos digitais, talvez, possam inspirar futuros trabalhos para outras tecnologias digitais, como os dispositivos móveis.

► ensino de química, informática educativa, recursos digitais ◀

30
química nova na escola
ANOS

Recebido em 21/07/2024; aceito em 24/10/2024

Introdução

A educação química com computadores começou a aparecer na revista *Química Nova na Escola* em seu sexto volume, lançado ao final de 1997. Os primeiros artigos publicados na seção Educação em Química e Multimídia tinham a intenção de apresentar aos professores da Educação Básica a multiplicidade de recursos digitais existentes e indicar possibilidades para sua utilização na aprendizagem e no ensino de química.

Nessa época, a inclusão de computadores na escola passou a fazer parte de diversas políticas públicas educacionais. Por exemplo, Paulo Freire (1997) indica que “enquanto secretário de educação da cidade de São Paulo fiz chegar à rede de escolas municipais o computador”. Havia projetos de criação de laboratórios de informática desde o nível municipal até a esfera federal, através do Programa Nacional de Tecnologia Educacional (ProInfo), também criado no ano de 1997.

Porém, naquele momento se discutia as potencialidades para a mudança educacional trazidas pelas tecnologias digitais. Os computadores poderiam ser instrumentos da mudança de práticas educativas rotineiras, que eram consideradas, entre outras, desinteressantes e ineficientes. Nesse sentido, pode-se destacar a orientação e o incentivo à adoção de perspectivas construtivistas com o uso de computadores, como aquelas defendidas nos materiais didáticos do ProInfo. Por

exemplo, Léa da Cruz Fagundes sugeria a produção de pequenos projetos de aprendizagem como estratégia inovadora para a inclusão digital e a elaboração conceitual no Ensino Fundamental (Fagundes *et al.*, 1999). É nesse contexto que começo a estudar e a produzir tecnologia educacional para o ensino de química.

Neste ano, comemoro 25 anos do lançamento da primeira versão do *software* educativo *Carbópolis*. Os estudos de modelagem, implementação e avaliação desse *software* foram bem documentados e estão publicados em periódicos acadêmicos nacionais e internacionais (Eichler *et al.*, 2005; Eichler e Del Pino, 2000 e 2006; Eichler *et al.*, 2004; Eichler e Fagundes, 2004; Guterres *et al.*, 2004). Por ocasião da efeméride, neste artigo apresento, de forma mais intimista, um relato de minha experiência com a produção de jogos educacionais digitais para o ensino de química.

Lembrando a pré-produção

Nas décadas finais do século XX, vivíamos um período de crítica à situação da escola pública e de defesa de uma educação escolar comprometida com a transformação social da realidade dos estudantes (Schroeder *et al.*, 1995). Particularmente no ensino de química, havia críticas às apresentações conceituais estéreis, descontextualizadas e seguidoras de conteúdos curriculares estanques, muitas vezes, transpostas de livros didáticos (ditos tradicionais)

amplamente distribuídos por grandes editoras. Em abordagens alternativas (ou substitutivas), defendia-se um ensino de química que favorecesse a formação ampla do cidadão, no qual os conceitos químicos emergiriam da problematização da realidade e do debate sobre temas sociocientíficos presentes no dia a dia dos estudantes, naquilo que ficou conhecido sob o rótulo de *Química do Cotidiano*.

Nos anos 1990, as propostas para o ensino de química elaboradas na Área de Educação Química (AEQ) da UFRGS tinham esse viés (Eichler e Del Pino, 2010). Tais propostas foram redigidas, em parcerias diversas, por estudantes de licenciatura em química, por professores de Educação Básica e por professores universitários. No início da década, quando a utilização de computadores pessoais e de programas de computador para a redação de textos ainda não estava amplamente distribuída, muitos desses textos eram datilografados ou redigidos à mão livre (em cadernos ou em folhas pautadas avulsas). Nessa época, no início de minha graduação e como bolsista de extensão, eu era digitador ou diagramador das propostas de ensino de química produzidas pelo grupo de professores. Devido à escrita com as teclas e a leitura nas telas, eu acabei adquirindo um muito bom conhecimento da diversidade de propostas temáticas para o ensino de química na Educação Básica.

No final de minha graduação em licenciatura em química, então como bolsista de iniciação científica da FAPERGS, fui incentivado por um dos professores do grupo de pesquisa para que eu fosse além da análise dos programas de computador para o ensino de química. A indicação era que produzisse algum material didático computacional. Assim, era natural que minhas escolhas fossem baseadas em assuntos com os quais eu tivesse maior proximidade. O tipo ou modelo de programa de computador que eu gostaria de ajudar a produzir foi resultado das análises dos recursos digitais feitas anteriormente.

Os *softwares* educativos de David Melvin Whisnant (1943-2023) *BCTC* e *Study Lake* (Whisnant, 1984, 1992) pareciam ser os recursos digitais mais próximos às propostas de ensino de química que defendíamos na AEQ. O assunto desses *softwares* era a contaminação ambiental das águas internas por poluentes industriais. A partir da utilização dos programas de computador, o usuário/estudante precisaria propor a solução do problema ambiental, levando-o a estudar, entre outros assuntos, conceitos químicos e métodos de análise química (American Chemical Society, 1993). As telas dos programas eram simples, nas quais as interações do usuário eram realizadas com o uso do par seta/mouse sobre uma grande ilustração. Em *Study Lake* a ilustração era de um lago, onde o estudante poderia “coletar” amostras de água para depois serem analisadas (simuladas) com diversos parâmetros físicos e químicos em um laboratório, incluindo uma simulação de ecotoxicidade com mortalidade de peixes. Em *BCTC* a ilustração era uma paisagem, com um rio cortando a planície em que se encontravam áreas agrícolas, zonas industriais e uma cidade (metrópole). Nesse *software*, o usuário poderia usar o *mouse* para “coletar” e “analisar”

amostras de água em várias partes do rio (por exemplo, antes e depois da emissão de resíduos líquidos industriais), buscando encontrar a origem da contaminação ambiental pelo cancerígeno BCTC.

Sendo esse o tipo/modelo de *software* que me parecia o mais adequado de ser replicado/ampliado, a decisão seguinte envolveria a reorientação do assunto para tematizar o ensino de química. Embora me parecesse interessante a abordagem da poluição ambiental aquática (eu havia diagramado um material didático com o tema agrotóxicos para o ensino de química), considerei que esse assunto já estava bem apresentado pelos programas originais. Então, pensei em tratar de outra manifestação de poluição. Entre os materiais didáticos produzidos pela AEQ, aquele que eu mais gostava era o livro sobre *Poluição do Ar* (Lopes e Krüger, 1997), pela forma como os conceitos químicos eram apresentados em sintonia com o debate dos problemas ambientais. Entretanto, parecia-me que o tema era enunciado em uma perspectiva muito cidadina. Dessa forma, eu me pus o desafio de encontrar uma abordagem para o tema poluição atmosférica no ensino de química que fosse além da poluição veicular ou industrial.

Nos jornais da época, eventualmente, apareciam notícias sobre a precipitação de chuva ácida em território uruguaio que seria, possivelmente, ocasionada pela emissão de gases poluentes no complexo carboelétrico de Candiota, no sul do estado do Rio Grande do Sul. Esse contexto me soou bastante adequado para ser adaptado na produção de um *software* educativo do tipo/modelo de Whisnant e, também, foi um tema que me despertou muita curiosidade. Foi um assunto que tive interesse de me aprofundar nos estudos em química (e, depois, em outras ciências e técnicas).

Quando comecei a estudar o tema, no final dos anos 1990, a internet não estava amplamente distribuída e seus recursos eram muito menores do que aqueles que se conhecem hoje (vale lembrar que não existiam *Google*, *Wikipédia* ou *YouTube*, por exemplo). Dessa forma, como era o hábito, o estudo do assunto me levou a diversas bibliotecas e livrarias. Devido às múltiplas facetas que podem ajudar na descrição, na justificação e na mitigação dos problemas ambientais, acabei consultando livros e artigos de diversas bibliotecas setoriais de minha universidade, nas faculdades de Direito, de Economia e de Medicina, nos institutos de Biociências, de Geociências, de Química e de Pesquisas Hidráulicas. Também aproveitei a tradicional Feira do Livro de minha cidade para ampliar meu acervo, particularmente no setor de livros estrangeiros, já que na época havia uma boa importadora de livros técnicos e científicos em língua espanhola, principalmente vindos do México.

Enquanto eu realizava a modelagem teórico-temática da base de conhecimento do *software* educativo, também realizava esboços para o desenho visual do programa. Foi durante essa etapa de esboço que surgiu o nome do *software*. O esboço da tela teve ênfase no mapa ilustrativo que permitiria situar o problema ambiental. Conforme se pode ver na Figura 1, cada região do mapa recebeu uma indicação. Nesse primeiro esboço, se pode notar o nome das fazendas Soya (em

que seriam mais bem percebidos os efeitos da chuva ácida nas plantações de soja), Vacaria (na qual haveria diminuição da produtividade pecuária, devido às doenças respiratórias no gado bovino) e Primor (onde os efeitos da chuva ácida não estariam presentes), bem como a cidade *Carbópolis* (a cidade – ou metrópole – do carvão; onde também haveria precipitação de chuva ácida).

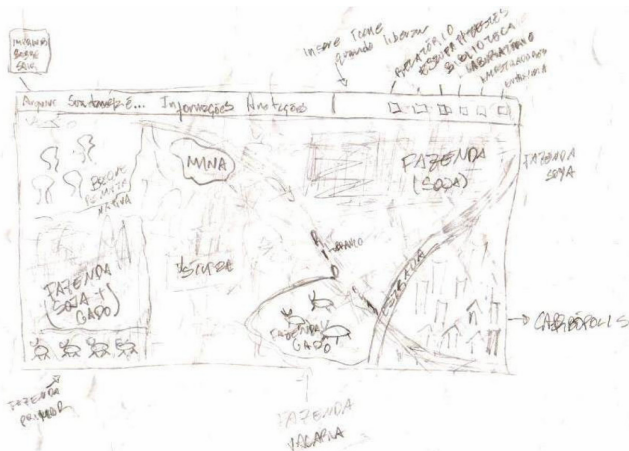


Figura 1: Esboço de tela com mapa ilustrativo para o software educativo Carbópolis (provavelmente segundo semestre de 1996). Fonte: o autor.

De forma semelhante ao programa *BCTC*, desenhei os elementos de paisagem sobre os quais se daria a interação do estudante, com a rolagem e o clicar do *mouse*. A partir de depoimentos de personagens acerca dos efeitos da poluição atmosférica e da coleta e da análise de dados numéricos de chuva ácida e de concentração de gases poluentes, o estudante poderia inferir as regiões do mapa em que havia precipitação de chuva ácida. Por exemplo, na parte direita da tela podiam ser encontrados valores numéricos diferentes e mais altos para gases como SO_2 do que aqueles obtidos na parte esquerda.

A realização do *software Carbópolis* necessitava de parcerias para a etapa de implementação computacional, tema da próxima seção deste artigo. Porém, mesmo antes de ser concluído o desenvolvimento do recurso didático, já se vislumbrava a continuidade do projeto de produção de materiais didáticos computacionais para o ensino de química (e de ciências da natureza, por extensão). Junto com o coordenador da AEQ, José Claudio Del Pino, escrevi um projeto, submetido para o Edital Universal do CNPq de 1997, sob o título “Modelagem e implementação de ambientes virtuais de aprendizagem em ciências”. Nesse projeto, buscávamos viabilizar expansões horizontais e verticais do conceito proposto para o *software Carbópolis*. O modelo que queríamos ampliar envolvia a representação de problemas ambientais com a utilização de cenários fictícios, visando à elaboração de recursos digitais para o ensino de

ciências que uniriam as estratégias didáticas de jogo, resolução de problemas e simulação.

Como expansão vertical descendente, imaginávamos um novo problema ambiental que poderia ser representado no cenário (mapa ilustrativo) de *Carbópolis*. Com a participação de uma bolsista de iniciação científica (CNPq), trabalhamos na modelagem de uma atividade de resolução de problemas acerca da mortandade de peixes devida à eutrofização do rio que banhava a cidade de *Carbópolis*. Infelizmente essa atividade não foi além da modelagem.

Como expansões horizontais, propúnhamos o desenvolvimento de outras atividades que utilizassem como tema gerador os meios de produção de energia elétrica. Nesse sentido, também com a participação de bolsista de IC/CNPq, trabalhamos com a construção de uma nova “cidade” em que seria possível problematizar a energia termonuclear. Com a elaboração do *software Cidade do Átomo*, tratamos do tema radioproteção e sugerimos a abordagem do tema energia nuclear em debate escolar, a partir da estratégia de jogo de representação de papéis (Eichler *et al.*, 2006).

Finalmente, como expansão vertical ascendente (em relação a *Carbópolis*), desenvolvemos um cenário em que o território era equivalente a um estado (ou país), onde seria possível problematizar o perfil da matriz energética da região, que foi chamada de *Energos*. A modelagem dessa atividade foi realizada por um estudante de licenciatura em Geografia, como bolsista de iniciação científica (FAPERGS). No ambiente de aprendizagem produzido, o estudante (como usuário ou jogador no recurso didático digital) poderia escolher um meio de produção de energia elétrica convencional (entre as alternativas: hidrelétrica, nuclear ou termoelétrica) e um meio de produção de energia elétrica alternativa (ou adicional; como, por exemplo: biomassa, eólica ou solar).

Novamente, sugerimos a utilização do recurso digital como apoio para o debate escolar sobre os meios de produção de energia elétrica e seus impactos ambientais e sociais (Eichler *et al.*, 2006).

A elaboração desses recursos didáticos digitais para computadores me levou a estabelecer múltiplas parcerias de desenvolvi-

mento e de pesquisa. Ainda que eu tenha trabalhado, também, com a produção de outros tipos de recursos digitais (por exemplo, a construção de um museu virtual de ciências), foi justamente a temática dos jogos educacionais digitais que permitiu a ampliação mais robusta das minhas experiências com o desenvolvimento tecnológico, que foi para além do computador e começou a focar as telas pequenas, como será visto a seguir.

Ponderando a produção

A trilha da produção dos jogos digitais educacionais que percorri passou por muitas tecnologias e diversas parcerias. O

O modelo que queríamos ampliar envolvia a representação de problemas ambientais com a utilização de cenários fictícios, visando à elaboração de recursos digitais para o ensino de ciências que uniriam as estratégias didáticas de jogo, resolução de problemas e simulação.

Em primeiras leituras na área de informática educativa, Lollini (1991) enfatizava o tripé de conhecimentos relacionados à produção de *softwares* educativos. Para produzir bons recursos digitais, seria necessário o encontro de profissionais especialistas em conteúdo, especialistas em educação e programadores. A partir do aprofundamento de meus estudos em didática das ciências (e depois em psicologia da aprendizagem), eu supunha que poderia dar conta de dois esteios desse tripé.

Porém, eu sabia que, para produzir os *softwares* que estava modelando seria necessária a participação de programadores profissionais. Justamente por isso, no projeto que foi enviado para o CNPq solicitamos recursos para o pagamento de programadores. O projeto foi aprovado, mas antes do repasse dos recursos financeiros houve contingenciamento orçamentário na área de pesquisa e desenvolvimento, devido ao ajuste fiscal (Eichler e Del Pino, 2001). As bolsas de pesquisa do CNPq foram mantidas, mas não teríamos mais os recursos para pagar a programação de *Carbópolis* (e dos demais *softwares* que vínhamos planejando). Seria necessário encontrar parcerias para a produção dos *softwares* educativos.

Caso não fosse encontrada alguma parceria, pensou-se em fazer uma versão bem simples de *Carbópolis*, utilizando algum programa para criação/edição e exibição de apresentações gráficas, como o *Microsoft PowerPoint*. Felizmente conseguimos uma parceria com o Programa de Educação Tutorial no Instituto de Informática (PET/Computação) de nossa universidade.

Na época, o PET/Computação tinha cerca de dez anos de atividades. Os estudantes estavam envolvidos, principalmente, com projetos de bancos de dados, de georreferenciamento e de interface em microeletrônica. A demanda para a produção de um *software* educativo para o ensino de química era uma novidade para o grupo de estudantes e professores. Após a apresentação inicial do modelo para *Carbópolis*, três estudantes de Ciências da Computação foram indicados para trabalhar no projeto. Uma de suas primeiras ações foi interpretar o que havia sido apresentado, assim elaboraram um fluxograma (Figura 2, reescrito a partir do original) com a descrição do funcionamento previsto para o programa de computador.

Posteriormente, escolheram produzir o *software* educativo com a linguagem de programação *Delphi*. Essa linguagem foi uma das pioneiras na utilização de recursos muito usuais: suporte para conexão em banco de dados e paradigma orientado a objetos. A programação ocorreu com consultas constantes entre os programadores e mim, que fazia o papel duplo de especialista de conteúdo e especialista em educação. Na Figura 3, se pode observar o primeiro mapa ilustrativo de *Carbópolis* (desenhado em *CorelDRAW*) com a descrição da orientação de programação da ação “entrevistas” com os personagens, que serviriam para o estudante/usuário situar o problema ambiental. Em verde e vermelho constam as orientações da modelagem. Com lápis preto, no canto superior

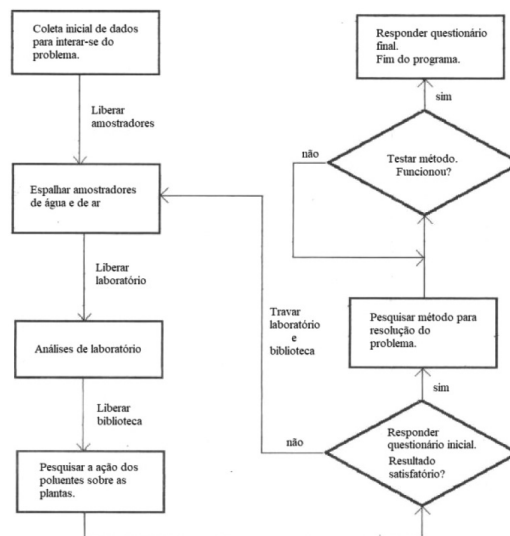


Figura 2: Fluxograma elaborado pelos estudantes PET/Computação (provavelmente primeiro semestre de 1997). Fonte: o autor.

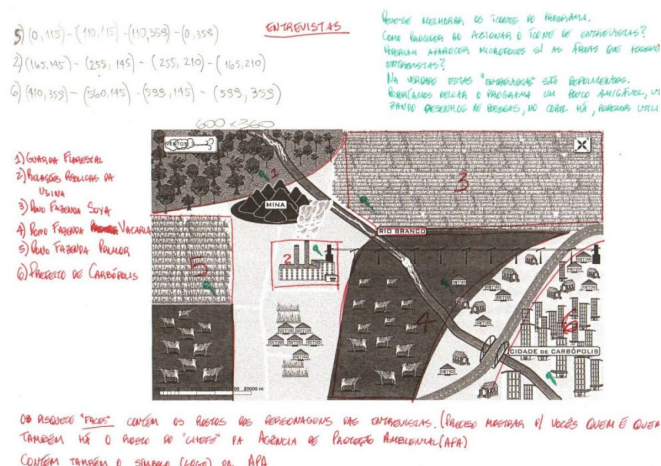


Figura 3: Imagem com orientações no esboço para os programadores (provavelmente segundo semestre de 1997). Fonte: o autor.

esquerdo, pode-se ver o registro feito pelo programador do sistema de coordenadas (com resolução de tela 600 x 360) para a ação “entrevistas”.

Enquanto os estudantes do PET/Computação trabalhavam na programação do *software* educativo, eu me dedicava à elaboração do hipertexto que acompanharia o recurso digital. O hipertexto era fundamental para a realização dos propósitos didáticos planejados para *Carbópolis*. Na ocasião, devido a um entendimento compartilhado por diversos docentes e formadores de professores de nossa universidade, considerava-se a leitura e a escrita como um compromisso de todas as áreas de conhecimento escolar (Neves *et al.*, 1998). Portanto, a modelagem de *Carbópolis* incluiu uma “biblioteca” com um hipertexto para a leitura de tópicos diversos e relatórios a serem escritos ao final das etapas de identificação e de solução do problema ambiental (vide Figura 2). A elaboração do hipertexto foi realizada com a ferramenta de autoria de ajudas *HelpScribble*. O hipertexto de *Carbópolis* continha 56 tópicos, com aproximadamente 350 ligações ativas (*hiperlinks*) e 27 figuras, com número

de caracteres similar a um livro de cerca de 100 páginas. Os principais tópicos do hipertexto foram: ‘amostragem de poluentes’, ‘análise de amostras’, ‘aspectos econômicos da poluição’, ‘ecologia e ecossistemas’, ‘legislação sobre poluição’ e ‘poluição’.

A versão instalável de *Carbópolis*, produzida com as ferramentas *Delphi* e *HelpScribble*, foi concluída após dois anos de parceria, no início de 1999. Essa primeira versão foi avaliada em minha dissertação de mestrado, como será abordado na próxima seção.

Posteriormente, com o desenvolvimento dos recursos de informática (trazendo novas exigências para o funcionamento dos programas de computador) e com a consolidação de outros padrões de programação, buscou-se produzir nova versão para o programa *Carbópolis*, de forma concomitante à produção de *Cidade do Átomo*. Na ocasião, a partir de financiamento da FAPERGS, alocamos recursos de pesquisa principalmente para a melhoria do *design* do *software* educativo. Ainda assim, fomos buscar mais uma parceria, dessa vez com a Empresa Pública de Tecnologia da Informação e Comunicação da Prefeitura de Porto Alegre (PROCEMPA), para produzir uma versão em código aberto dos recursos educacionais digitais. A PROCEMPA custeou as bolsas de dois estudantes de Ciência da Computação, que trabalharam por cerca de dois anos na programação da versão em *Java* dos dois *softwares* educativos. Em 2005, foi lançada a versão *Java* do *software Carbópolis*, com banco de dados em *MySQL*.

Devido às contínuas mudanças tecnológicas, a versão *Java* começou a apresentar problemas de funcionamento, principalmente devido a sua conexão com o banco de dados. Então, novamente realocamos recursos de pesquisa (dessa vez, com verba do CNPq) para produzir uma versão que considerávamos definitiva, pois ela funcionaria *online*, sem a necessidade de instalações e adaptável às diversas configurações de computadores e navegadores. Assim, a terceira versão de *Carbópolis* foi produzida em *HTML5*, que é uma linguagem que combina três tecnologias web: *HTML*, para

construir a estrutura da página; *CSS*, para melhorar a apresentação; e *JavaScript*, para adicionar funcionalidade aos elementos *HTML*. Uma imagem da mais nova versão pode ser vista na Figura 4. Essa versão foi lançada em 2010, porém, ela não está mais ativa, devido, principalmente, à pouca segurança para os servidores da conexão do programa com o banco de dados (que, entre outras ações, registra a memória de navegação do usuário).

A produção desses recursos educacionais digitais fez com que a AEQ/UFRGS fosse reconhecida por diversos colegas como um local de desenvolvimento tecnológico na interface entre a informática educativa e o ensino de ciências da natureza. Também por isso, fomos procurados por uma pesquisadora na área de *design* e de ergonomia – Gabriela Perry – para auxiliar na avaliação de um objeto de aprendizagem sobre equilíbrio químico, que ela havia produzido com uso da plataforma *Adobe Flash* para sua dissertação de mestrado (Perry *et al.*, 2004).

Minha parceria com Gabriela Perry foi bastante profícua para a produção de jogos educacionais digitais. Seu conhecimento tanto em *design* quanto em programação permitiu o desenvolvimento de produtos tecnológicos que vinham sendo idealizados, mas pareciam ser de difícil realização. O primeiro resultado dessa parceria foi a implementação, com as ferramentas da plataforma *Flash*, do ambiente de aprendizagem *Energos*, que visava o debate escolar acerca dos meios de produção de energia elétrica a partir da discussão sobre seus impactos ambientais e sociais (Eichler *et al.*, 2006).

Posteriormente, trabalhamos no desenvolvimento de um ambiente que possibilitasse a elaboração de objetos de aprendizagem que seguissem o modelo idealizado para *Carbópolis*: a representação de problemas ambientais em mapas ilustrativos, sob os quais seriam inseridas informações textuais e numéricas que poderiam ser descobertas pelos estudantes em atividades didáticas de resolução de problemas. O editor de objetos de aprendizagem foi chamado de *Jigo*, que é uma palavra do esperanto que traz noções de ‘jogo’, ‘quebra-cabeças’, ‘gabarito’, etc. (Eichler *et al.*, 2008). Na

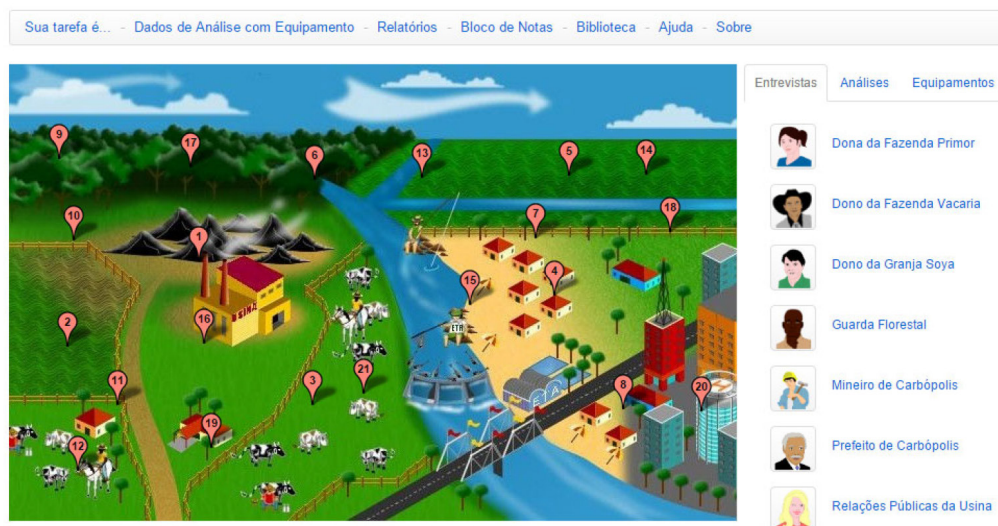


Figura 4: Imagem da última versão de *Carbópolis*, em *HTML5*. Fonte: o autor.

Figura 5, pode-se ver imagens sobrepostas de telas do módulo de edição de novas atividades. O produto desenvolvido em *Flash* foi lançado com duas atividades incorporadas, com representações dos impactos ambientais do florestamento de eucaliptos em pradarias e da carcinicultura em mangues.

Desde outra perspectiva, na década de 2010, as telas dos celulares e dos *tablets* começaram a estar cada vez mais presentes em todos os lugares. Embora a decadência dos computadores ainda não fosse sentida, havia o desafio da produção de recursos didáticos digitais para as ubíquas telas pequenas (Churchill, 2017). Nessa ocasião, a colega Gabriela Perry, já como professora universitária em uma instituição privada, convidou-me a participar da elaboração de um jogo digital para dispositivos móveis. Ela tinha por intenção desenvolver suas habilidades de *design* e de programação de jogos casuais, que são mais simples e rápidos de aprender e, muitas vezes, são utilizados ubiquamente como passatempo. O *briefing* era simples: produzir um jogo casual para alguma disciplina escolar, que pudesse cativar os estudantes de Ensino Médio e ser reconhecido como um recurso adequado para o estudo dessa disciplina. Como químico, obviamente, propus fazer um jogo acerca do assunto mais representativo da química: a tabela periódica.

A classificação das propriedades dos elementos químicos era um assunto recorrente em diversos jogos educacionais,

com algumas propostas adequadas de serem transpostas para o meio digital. Uma proposta recorrente, que me parecia adequada para as telas pequenas, utilizava a dinâmica de jogos de *Super Trunfo*, que também foi um jogo de meu cotidiano infantil e escolar.

Com o financiamento das agências de fomento FAPERGS e CNPq, trabalhamos no desenvolvimento de duas versões de um jogo casual educacional digital para a aprendizagem das tendências periódicas (Figura 6). O aplicativo foi chamado de *Xenubi*, em um jogo de palavras para indicar um “nova-to” (*noob*) em química (*chemistry*, em inglês, ou em uma abreviação silábica ‘chem’, para nós com o som de ‘xen’). A primeira versão foi realizada de forma híbrida, com um aplicativo para celulares *Android* e *iOS* e uma versão em *Flash*, que utilizamos em pesquisas diversas de avaliação (como será descrito na próxima seção).

Após as pesquisas de usabilidade com o jogo *Xenubi*, decidiu-se incrementar o jogo em nova versão. Com recursos de pesquisa do CNPq, foi contratado um programador de jogos digitais para a elaboração de uma versão que pudesse ser integrada às redes sociais, principalmente ao *Facebook*. Como se pode ver na Figura 6, o *design* mudou bastante de uma versão para outra, inclusive pelo desenvolvimento dos próprios equipamentos móveis. Com a consolidação do uso de *smartphones*, foi possível produzir uma versão, em *Unity*,



Figura 5: Telas do módulo de edição de novas atividades. Fonte: o autor.

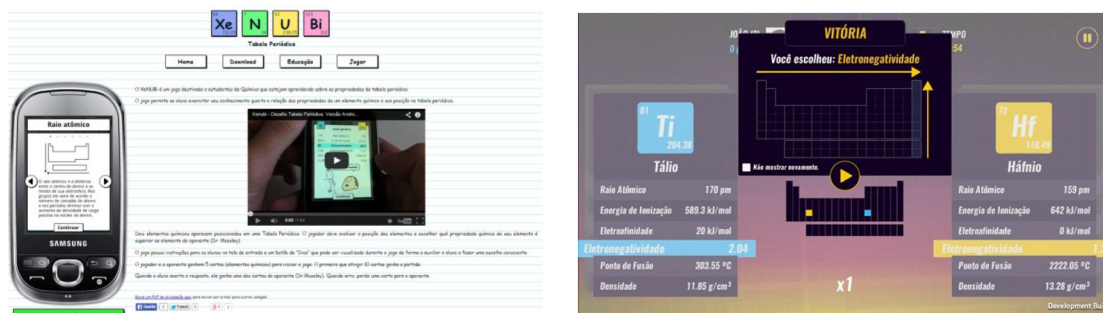


Figura 6: Imagens das duas versões do jogo *Xenubi*, sobre propriedades dos elementos químicos. Fonte: o autor.

que seria jogada com o celular em modo paisagem (a versão inicial era com a tela em modo retrato).

Além disso, o programador incluiu novos elementos ao jogo, melhorando sua jogabilidade. Na nova versão, havia um tutorial no início do jogo e um sistema de pontuação com temporizador. Também foram acrescentados diversos elementos de juicidade (anglicismo, do original 'juicy'), ou seja, um conjunto de elementos gráficos que melhoram a experiência de utilização do jogo digital, como, por exemplo: cores fortes, efeitos sonoros, movimentos dos elementos gráficos, etc.

O sucesso com a produção do jogo casual *Xenubi* com a engine *Unity* nos instigou a produzir um jogo digital mais elaborado. A ideia inicial foi produzir um jogo de aventura que fosse baseado em algum evento ou elementos de história da química. Com essa ideia difusa, busquei financiamento da FAPERGS para o projeto de desenvolvimento tecnológico.

A produção desse jogo contou com a parceria do Núcleo de Apoio Pedagógico à Educação a Distância (NAPEAD), que foi criado em 2009 para dar suporte às ações de ensino a distância na UFRGS. Quando começamos a trabalhar no desenvolvimento do jogo de aventura, Gabriela Perry, agora como professora da UFRGS, era uma das coordenadoras do NAPEAD. A equipe demorou um pouco para ser formada; no início, houve muitas trocas de bolsistas de iniciação científica e de programadores. Também não havíamos encontrado uma narrativa adequada para o jogo de aventura.

Em busca de uma boa narrativa para o jogo digital, fiz leitura flutuante em diversos livros de história da química. Encontrei inspiração no livro *Ferreiros e Alquimistas* (Eliade, 1979) e sugeri que poderíamos desenvolver o jogo de aventura com uma narrativa de raptos e fugas de um aprendiz de ferreiro, que em cada etapa do jogo aprenderia a dominar técnicas de forja e de ligas metálicas. Começamos, assim, a trabalhar no desenvolvimento de um jogo homônimo. A equipe de desenvolvimento envolveu, por fim, um programador *Unity* e dois designers (um *game designer* e outro de experiência do usuário – UI/UX), estudantes de graduação da UFRGS como bolsistas de desenvolvimento tecnológico.

Em nosso livro de referência, Eliade (1979) apresenta os mitos ancestrais dos ferreiros como antecedentes do saber alquímico. O primeiro capítulo do livro é dedicado à produção de punhais e adagas cerimoniais no Egito antigo, forjadas com o ferro encontrado em meteoritos, os sideritos. Os demais capítulos apresentam elementos mitológicos e de

arqueometalurgia de diversas partes do planeta, mas com pouca presença das tradições pré-colombianas. Assim, decidimos criar uma fase zero, onde ensaiaríamos soluções de desenvolvimento para a jogabilidade e para o *design* do jogo.

O tema para essa fase foi encontrado em minhas lembranças de uma visita ao Museu do Ouro, em Bogotá (Colômbia). Durante a visita ao museu, conheci a tecnologia de produção de artefatos dourados pelo povo Tairona, em época pré-colombiana. Eles produziam espelhos, colares e artefatos diversos com uma liga metálica com muito cobre (normalmente mais de 85%) e pouco ouro (por vezes apenas 5%). Com técnicas de sucessivas infusões em solução oxidante e posterior polimento, os taironas obtinham ornamentos dourados que reluziam como ouro. O elemento fundamental para essa técnica era uma planta nativa da região, chamada de *chulco*, cujo gênero posteriormente foi chamado por Lineu de *Oxalis*, ou seja, é uma planta rica em ácido oxálico. Descrevendo a técnica: o ácido oxálico contido na infusão provoca oxidação do cobre presente na superfície do ornamento, mas a reação é inerte com o ouro; retirada da infusão, a lavagem da peça desloca o cobre oxidado e o polimento deixa o ornamento dourado reluzente. Os taironas sabiam que não se tratava de ouro, tanto que eles chamavam essa liga de *tumbaga*. Porém, inicialmente, os conquistadores espanhóis achavam que os ornamentos eram mesmo de ouro, o que levou a saques e assassinatos.

Após cerca de dois anos de desenvolvimento, ao final de 2017, a fase *Tumbaga* do jogo *Ferreiros e Alquimistas* foi concluída. Na Figura 7, pode-se ver duas capturas de tela do jogo de aventura, que permitem observar a ótima qualidade dos recursos gráficos, o que é muito pouco usual em projetos acadêmicos de jogos digitais realizados como pesquisa de desenvolvimento tecnológico.

Infelizmente, os problemas de segurança dos servidores da universidade, a extinção em massa provocada pela terminação do *Adobe Flash* e a falta de continuidade das parcerias para o desenvolvimento tecnológico levaram à descontinuidade ou à paralisação de minha produção de recursos didáticos digitais.

Refletindo sobre a pós-produção

As ações de pós-produção envolvem, entre outras, a divulgação dos recursos educacionais digitais, as avaliações em diversas realidades didáticas ou escolares e a reelaboração dos recursos, quando necessário.



Figura 7: Prints de tela do jogo *Ferreiros e Alquimistas*, fase *Tumbaga*. Fonte: o autor.

Como os produtos aqui descritos foram elaborados, principalmente, por motivos acadêmicos e não comerciais, a divulgação foi feita em eventos e publicações acadêmicas no Brasil e, algumas vezes, no exterior. Eventualmente, foram elaboradas páginas na internet ou em redes sociais para bem divulgar e dar acesso aos recursos digitais, mas essa divulgação nunca foi publicitária. Nesse sentido, por exemplo, Silva e Soares (2023) reconhecem a publicação do artigo de divulgação de *Carbópolis* na revista *Química Nova na Escola* (Eichler e Del Pino, 2000) como um dos primeiros que abordam o uso de jogos ou atividades lúdicas para o ensino de química.

A avaliação de *Carbópolis* foi tema de minha dissertação de mestrado em Psicologia, sob orientação de Léa da Cruz Fagundes. Na pesquisa de mestrado, busquei analisar como sujeitos adolescentes, que não haviam sido apresentados formalmente à disciplina química, compreendiam a análise ambiental e reconstruíram o nexos causal do problema simulado no computador. Esse estudo foi publicado em importantes revistas acadêmicas internacionais (Eichler e Fagundes, 2004; Eichler *et al.*, 2004).

Com relação aos estudos de avaliação com professores, as pesquisas foram realizadas com enfoque na usabilidade. Nesse sentido, procurou-se compreender como professores de Educação Básica, eventualmente, utilizavam o *software Carbópolis* em suas realidades de escola e como professores de ensino superior apresentavam o programa em atividades de formação de professores (Guterres *et al.*, 2004).

O jogo educacional *Xenubi* foi outro recurso digital manuseado em várias pesquisas. Diferente de *Carbópolis*, que exigia várias sessões (ou aulas) para a conclusão de sua utilização, o jogo casual *Xenubi* facilmente poderia fazer parte das práticas escolares, pois o tempo de sua utilização era razoavelmente curto. Por isso, foram realizadas diversas análises com a utilização escolar do jogo educacional, principalmente em comparação com duas versões do jogo, uma em formato digital (a versão em *Flash* instalada em computadores do laboratório de informática da escola) e outra em formato de cartões de papel tipo *Super Trunfo*. Nesse caso, as avaliações de lápis e papel com pré e pós-testes não mostraram diferenças significativas entre as duas versões do jogo (Perry *et al.*, 2018), enfatizando que a estratégia didática é mais importante do que o suporte de sua distribuição.

Além disso, foi elaborado outro desenho de pesquisa, para comparar o uso educacional do jogo casual *Xenubi* com a estratégia didática de exploração dirigida de uma tabela periódica dinâmica (Costa, 2016). O desenho de pesquisa foi um pouco mais elaborado, apesar do uso de pré e pós-testes com 10 questões de múltipla escolha. Separamos em dois grupos os estudantes de primeiro ano de Ensino Médio de uma escola pública, durante suas aulas em laboratório de informática. Ambos os grupos realizaram os mesmos pré-teste e pós-testes, que foram três, um após cada intervenção pedagógica e outro depois de um mês, visando perceber a eventual consolidação da aprendizagem. O Grupo A teve

como primeira intervenção pedagógica a navegação dirigida no site *Ptable.com* e depois utilizou o jogo *Xenubi* de forma livre. O Grupo B teve as intervenções pedagógicas ao inverso.

Conforme a Figura 8, a interpretação dos dados permite mostrar que entre os testes houve progressos significativos enquanto os estudantes participavam das atividades didáticas. Ao comparar os dados dos dois grupos, verificou-se que os alunos que jogaram *Xenubi* antes de realizar o estudo dirigido com a tabela periódica dinâmica tiveram resultados melhores na avaliação e apresentaram maior solidez na aprendizagem quando cessada a intervenção.

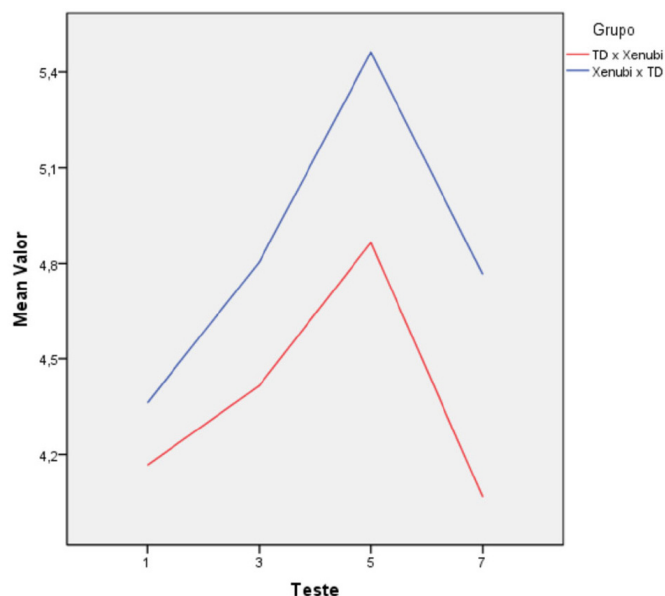


Figura 8: Gráfico de desempenho de dois grupos com a utilização de diferentes estratégias didáticas para o ensino de Tabela Periódica. Fonte: o autor.

De forma relativamente surpreendente no âmbito de nossa revisão de literatura, os resultados dessa pesquisa indicam que a estratégia didática que envolve os jogos educacionais digitais é mais eficiente para o ensino de tabela periódica do que outras estratégias didáticas que fazem uso de mídias eletrônicas, como os vídeos ou a tabela periódica dinâmica *Ptable.com*, por exemplo. Nesse sentido, seria interessante que estudos como esse fossem realizados com outros temas ou conceitos fundamentais da química.

Ainda não foram realizadas pesquisas acadêmicas com o jogo digital *Ferreiros e Alquimistas*, o que espero poder realizar proximamente.

Considerações finais

Nos espaços escolares, a era do computador parece ter refluído e se chega a dizer que os laboratórios de informática não são mais necessários, ou que eles não fazem mais parte das rotinas educativas. Os desafios atuais são em relação aos dispositivos móveis, principalmente com os *smartphones*, e em muitas redes de educação não parece haver muita simpatia com esses equipamentos.

As mudanças tecnológicas são implacáveis. Diferente de um livro que está à disposição em bibliotecas mesmo séculos após ser escrito e editado, um programa de computador necessita de alguma tecnologia específica para que possa funcionar. Uma vez que os recursos de informática mudam muito e rápido, os produtos podem, muitas vezes, tornarem-se obsoletos e inacessíveis. As tecnologias que permitiram uma inovação no passado podem ser substituídas por motivos diversos, fazendo com que os *softwares* não mais funcionem. Nesse quarto de século dedicado à produção de recursos educacionais digitais, é desapontador verificar que a maior parte dos projetos tecnológicos em que me envolvi resultou em produtos que não estão mais acessíveis, como é o caso de *Carbópolis*.

Se, por um lado, o modelo de *Carbópolis* parece não funcionar com telas pequenas (como as dos *smartphones*), por outro lado tem havido dificuldade em levantar recursos públicos para a produção de conteúdos digitais educacionais. Nos últimos anos não obtive sucesso em conseguir financiamento das agências de fomento FAPERGS e CNPq para produção de recursos digitais, que anteriormente apoiaram bastante a produção dos jogos educacionais digitais. Não tenho certeza dos motivos do insucesso, mas desconfio que a substituição (ou refluxo) do discurso dos *softwares livres* pelo padrão de empreendedorismo associado às *startups* pode ser uma forte indicação. Em relação às tecnologias digitais (inclusive nos espaços escolares), parece que houve uma mudança de

paradigmas: substitui-se a orientação para a gratuidade pela lógica da produção comercializável e monetizada, trazendo graves consequências para o desenvolvimento de tecnologias educacionais sem fins lucrativos.

Em esperanças sempre adiadas, talvez eu ainda consiga engendrar o reúso dos recursos educacionais digitais inacessíveis que foram descritos neste artigo. Entretanto, para finalizar, gostaria de lembrar uma fala de minha orientadora de pós-graduação na última vez que eu a encontrei. Em 2016, eu estava participando da avaliação de uma qualificação de doutorado em Informática na Educação sob sua orientação, quando ela contou que havia sido recentemente homenageada em Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. No momento em que ela foi receber o prêmio, em seus agradecimentos, disse que viu muitos projetos e produtos interessantes no congresso, como diversos *softwares* e aplicativos educativos. Porém, justamente devido a sua trajetória de pesquisa e de docência, ela ponderou que não parecia ser mais necessária a produção de recursos educacionais digitais, o que era preciso mesmo era “estudar como mudar a escola!”. Desejamos que isso ainda seja possível.

Marcelo Leandro Eichler (exlerbr@gmail.com) é licenciado em Química, mestre em Psicologia e doutor em Psicologia do Desenvolvimento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é professor adjunto do Departamento de Química Inorgânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

Referências

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY *Chemistry in the community*. 2nd ed. Iowa: Kendall/Hunt, 1993.

CHURCHILL, D. *Digital Resources for Learning*. Singapura: Springer Nature Singapore, 2017.

COSTA, L. T. *Abordagens lúdicas e digitais para o ensino da classificação periódica dos elementos químicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

EICHLER, M. L. e DEL PINO, J. C. Carbópolis, um *software* para educação química. *Química Nova na Escola*, v. 11, p. 10-12, 2000.

EICHLER, M. L. e DEL PINO, J. C. Algumas reflexões sobre o desenvolvimento de um projeto de informática educativa, em época de ajuste fiscal. *Tecnologia Educacional*, v. 30, n. 154, p. 57-69, 2001.

EICHLER, M. L. e DEL PINO, J. C. A produção de material didático como estratégia de formação permanente de professores de ciências. *REEC - Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 9, n. 3, p. 633-656, 2010.

EICHLER, M. L. e DEL PINO, J. C. *Ambientes Virtuais de Aprendizagem: desenvolvimento e avaliação de um projeto em educação ambiental*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. e FAGUNDES, L. C. Development of cognitive conducts during a computer simulated environmental analysis. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, v. 5, n. 2, p. 157-174, 2004.

EICHLER, M. L. e FAGUNDES, L. C. Conductas cognitivas relacionadas con el análisis de problemas ambientales. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 22, n. 2, p. 287-298, 2004.

EICHLER, M. L.; JUNGES, F. e DEL PINO, J. C. Cidade do Átomo, um *software* para o debate escolar sobre energia nuclear. *A Física na Escola*, v. 7, n. 1, p. 17-22, 2006.

EICHLER, M. L.; PERRY, G. T. e DEL PINO, J. C. Jigo: um editor de objetos de aprendizagem de segunda geração. *RENTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2008.

EICHLER, M. L.; PERRY, G. T.; GONÇALVES, M. R. e DEL PINO, J. C. Energias, um objeto de aprendizagem para o debate escolar sobre os meios de produção de energia elétrica. *RENTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 4, n. 2, 2006.

EICHLER, M. L.; XAVIER, P. R.; ARAÚJO, R. C.; FORTE, R. C. e DEL PINO, J. C. Carbópolis: A Java Technology-Based Free Software for Environmental Education. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, v. 24, n. 1, p. 43-72, 2005.

ELIADE, M. *Ferreiros e Alquimistas*. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

FAGUNDES, L. C.; SATO, L. S. e MAÇADA, D. L. *Aprendizes do Futuro: as inovações começaram*. Brasília: PROINFO/SEED/MEC, 1999.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. *Educar com a mídia: novos diálogos sobre educação*. São Paulo: Paz e Terra, 2016.

GUTERRES, J. O.; EICHLER, M. L. e DEL PINO, J. C. A usabilidade de Carbópolis, um *software* livre para a educação ambiental. *Tecnologia Educacional*, v. 166, p. 69-82, 2004.

LOLLINI, P. *Didática e Computador* - quando e como a informática na escola. São Paulo: Edições Loyola, 1991.

LOPES, C. V. M. e KRÜGER, V. (Orgs.) *Propostas para o ensino de química: poluição do ar e lixo*. Porto Alegre: SE-RS, 1997.

NEVES, I. C.; SOUZA, J.; GUEDES, P.; SCHAFFER, N. e KLUSENER, R. *Ler e Escrever: compromisso de todas as áreas*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998.

PERRY, G. T.; ANDRADE NETO, A. S. e AMARAL, F. G. Relato da construção do Colisões: problematização da interface. *RENTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 2, n. 2, 2004.

PERRY, G. T.; EICHLER, M. L. e MARCONDES FILHO, D. Design and evaluation of a game for mobile platforms about periodic properties of the chemical elements. *Revista Acta*

Scientiae, v. 20, n. 5, p. 863-884, 2018.

SCHROEDER, E. O.; DEL PINO, J. C.; SALGADO, T. D. M. e KRÜGER, V. Proposta de ensino de química compatível com as características das cidades periféricas da grande Porto Alegre. *Série Documental: Relatos de Pesquisa*, v. 26, p. 9-21, 1995.

SILVA, C. S. e SOARES, M. H. F. B. Estudo bibliográfico sobre conceito de jogo, cultura lúdica e abordagem de pesquisa em um periódico científico de Ensino de Química. *Ciência & Educação*, v. 29, p. e23003, 2023.

WHISNANT, D. M. Scientific exploration with a microcomputer: simulations for nonscientists. *Journal of Chemical Education*, v. 61, n. 7, p. 627-629, 1984.

WHISNANT, D. M. A role-playing exercise using a computer simulation. *Journal of Chemical Education*, v. 69, n. 1, p. 42-43, 1992.

Abstract: *Computers in chemical education: a report of 25 years of practical experience in developing digital educational games.* At the turn of the millennium it was said that computers could change education, or at least the educational practices of teachers. At that time, I began my research into the interface area between educational technology and chemistry teaching. In this article I reflect on my quarter-century journey with the production of digital educational games. The memory of pre-production studies and the challenges of producing digital resources can perhaps inspire future work on other digital technologies, such as mobile devices.

Keywords: chemistry teaching, educational technology, digital resources