

5

Considerações finais

Esse capítulo apresenta as lições aprendidas, as limitações, as contribuições da pesquisa e as oportunidades de trabalhos futuros. Voltando à questão de pesquisa, a pergunta era: como apoiar o *design* de múltiplas representações de programas para apoiar o processo de ensino e aprendizado de programação como forma de autoexpressão? A resposta apresentada foi o modelo PoliFacets.

Os programas, sua ferramenta de construção e a ontologia de domínio são analisados e geram um conjunto de signos de programa e programação. Estes signos, a ontologia de metacomunicação, o construtor e as facetas e suas ligações formam o modelo PoliFacets. Com embasamento na ontologia de metacomunicação desenvolvida como parte fundamental do modelo e acesso aos signos de programa e programação, é realizado o processo de engenharia semiótica para a geração das facetas e suas ligações, que são o resultado da aplicação do modelo. As facetas têm como objetivo a exploração dos significados de programas.

A grade da ontologia de metacomunicação proposta no modelo ajuda a pensar sobre qual é o espaço de *design* disponível para criação de facetas. Ao iniciar o seu preenchimento podemos ver a distância entre as facetas criadas através da distância física entre as células e onde pode valer mais investir em novos *designs*, dependendo da intenção de comunicação da documentação ativa. Por um lado, quando uma documentação ativa é predominantemente formada por facetas que envolvem ressignificação, ela incentiva a reflexão com a criação de novos significados. Por outro lado, se a documentação for formada por paráfrases, então o objetivo da documentação seria a explicação de um mesmo conteúdo com diferentes formas. O processo de preenchimento e análise da grade da ontologia de metacomunicação ajuda a refletir sobre a documentação ativa como um todo.

O modelo PoliFacets é para ser utilizado como uma ferramenta que ajuda a pensar sobre novas facetas de significados dos programas. Não é possível informar quais seriam as facetas prioritárias a partir do modelo. Cada caso

dependerá da instância, mas podemos dizer que as facetas onde a metacomunicação ocorre através de signos estáticos são importantes de serem consideradas na aplicação do modelo. Nas duas instâncias que descrevemos a maioria das facetas construídas são signos estáticos. Ainda assim, o modelo não tem como objetivo determinar prioridades em relação à importância das facetas, isto está extremamente ligado à intenção do *designer*.

5.1. Lições aprendidas

Diante do contexto da pesquisa, uma pergunta ou sugestão que surge frequentemente com relação à criação das facetas é a questão do *design* participativo (Böcker *et al.*, 1991). Nós tínhamos os professores e uma equipe de IHC à disposição, mas os professores eram de outras áreas, estavam entrando no projeto geralmente sem nenhuma experiência sobre computação. Apesar de especialistas em ensino, ao vivenciar um problema de entendimento sobre computação durante as aulas, os professores não sabiam o que precisava ser explicado melhor para que o problema fosse superado. Um exemplo claro desse fato é a questão da ordem das regras no AS. Eles tinham uma intuição de que o problema era normalmente a ordem dos comandos, mesmo quando este não era exatamente o caso. A questão computacional relativa à máquina de execução do interpretador de regras do AS não estava clara para eles. Este tipo de problema só é identificado e, então, explicado se um observador interessado e com sólidos conhecimentos de computação diagnostica o problema. Em outras palavras, temos um caso de limite epistêmico do usuário da ferramenta voltada para o ensino e aprendizado de programação. Muitas vezes ele não sabe o que não sabe e, mais importante, não está em condições de dizer à equipe de *design* que precisa de ajuda para superar esta falta de conhecimento. Este é um momento complicado na prática de *design* participativo que deve ser resolvido com um *design* proativo.

Diante de uma proposta dos *designers*, os usuários da ferramenta irão reagir tal como se espera que façam em processos de avaliação de *design* centrado no usuário, por exemplo. Ou seja, a maioria das questões mais profundas de *design* das facetas na nossa experiência de instanciamento do modelo PoliFacets foi construída pela equipe de *designers*, que ao se deparar com certos problemas, podia identificar a causa do desentendimento em termos de um alfabetismo

computacional importante para que leigos possam tirar todo partido de se expressar através de programas. Existe uma fronteira entre um problema de interação e um problema de conhecimento, especialmente quando estamos tratando de um ambiente destinado a apoiar o processo de ensino e aprendizado. Os professores que tiverem superado a barreira do conhecimento já podem fazer parte da equipe de *design*, permitindo que se adote e aproveite melhor a estratégia de *design* participativo.

Outro mal entendido comum envolve a discussão sobre a metodologia de pesquisa-ação. Na pesquisa-ação o pesquisador tipicamente tenta prover um serviço a um cliente (normalmente uma organização) e adiciona conhecimento em um domínio particular (Kock, 2013). O ciclo da pesquisa é iterativo, contínuo, formado pelas seguintes ações: diagnosticar um problema; planejar uma melhora; agir para implantar uma melhora planejada; monitorar e descrever os efeitos da ação; e avaliar os resultados obtidos. Esse ciclo é comum a todos os processos de melhoria e criação de artefatos. A principal característica que diferencia este tipo de pesquisa do que fizemos é a inserção do pesquisador no meio pesquisado, ele costuma fazer parte do grupo estudado diretamente. Além disso, os ciclos são rigorosamente planejados antes da execução, a metodologia é anterior à execução da pesquisa. No caso desta tese, os estudos empíricos foram realizados por pesquisadores participantes do projeto SGD-Br, mas que não faziam parte das escolas em que o projeto aconteciam. Parte das avaliações realizadas a partir das ações implementadas estava relacionada ao modelo PoliFacets, esse modelo não foi um benefício direto para o grupo de participantes, mas sim uma contribuição na área de *design* de documentação ativa.

5.2.

Limitações conhecidas

Uma das limitações conhecidas do modelo é o sistema de significação usado como recurso de entrada. Tecnicamente, é preciso que o conjunto de códigos que compõe o sistema de significação possa ser analisado através de um programa. Caso uma ferramenta para o ensino de programação seja usada na *Web* e não exista um mecanismo de exportação dos códigos, ou o resultado seja apenas um arquivo executável, não seria possível desenvolver o analisador. Lembrando que a limitação existe apenas quando os *designers* da documentação ativa não são

responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta sobre a qual a documentação está sendo feita.

Os resultados apresentados na pesquisa estão limitados ao contexto do processo de ensino e aprendizado de programação envolvendo a questão da programação como forma de autoexpressão. Há outros fatores que podem ser explorados para além deste contexto, como por exemplo o uso das facetas por programadores profissionais em atividades de depuração de código, análise da qualidade, estudos de refatoração e otimização do código. Apesar de não termos realizado estudos que indicassem resultados nesta direção, de certo modo, essas atividades estão ligadas à programação e fazem parte do aprendizado. Ainda não podemos afirmar nada sobre a aplicação do modelo de *design* da metacomunicação de documentos ativos em outros contextos.

O modelo apresentado não foi aplicado por outras pessoas externas ao projeto e grupo de pesquisa. Na concepção e validação, nós fomos responsáveis pela aplicação do modelo. Entretanto, o modelo proposto é uma ferramenta epistêmica para o *design* da metacomunicação de documentos ativos foi construído em um processo de “reflexão em ação”, sendo trabalhado e consolidado ao longo de toda a pesquisa. Ao final do processo, avaliamos o documento ativo resultante e realizamos uma prova de conceito onde o modelo é aplicado em outra ferramenta de ensino de programação. Os resultados encontrados validam, portanto, o documento ativo que condiz com o modelo teórico proposto.

A ontologia de metacomunicação representa parte fundamental do modelo e precisa ser bem compreendida. Para que um *designer* possa aplicar o modelo e use a ontologia de metacomunicação de modo eficiente, é preciso que ele tenha conhecimentos sobre Engenharia Semiótica. Também é necessário conhecimento sobre as intenções de comunicação dentro do contexto de aplicação do modelo, dependendo da ferramenta sobre a qual as facetas serão criadas e da necessidade de documentação observada pelos especialistas no domínio em questão. A construção do modelo foi um primeiro passo que consiste em uma ferramenta epistêmica para auxiliar no *design* da metacomunicação de documentos ativos. Sabemos que, futuramente, será preciso realizar estudos sobre a aplicação do modelo PoliFacets e avaliar que tipo de apoio os *designers* precisam ter para

utilizar o modelo de modo eficiente. Entretanto, o modelo inicial é fundamental para que esses estudos posteriores sejam concretizados.

5.3. Contribuições da pesquisa

A contribuição científica principal da tese é o modelo PoliFacets, um modelo para o *design* da metacomunicação que faz parte do processo de *design* de interação de documentos ativos no contexto de ensino e aprendizado de programação. Trata-se, portanto, de uma contribuição de pesquisa para a área de Interação Humano-Computador. Como uma ferramenta para apoiar a criação de documentação ativa sobre uma aplicação existente, os resultados encontrados podem ser úteis para o *design* de sistemas de ajuda, especialmente de aplicações onde a tarefa principal do usuário é agir como *designer* em uma construção de signos (programação é um caso, mas há outros, como elaboração de mapas conceituais e tarefas de modelagem em geral).

Para a Engenharia Semiótica, esta tese contribuiu com mais uma ferramenta epistêmica baseada na teoria. Os conceitos sobre customização e extensão de sistemas foram reinterpretados e apropriados em um contexto diferente. Nós consideramos as perspectivas do usuário, do sistema e de interação para aplicar as modificações sobre o que conhecíamos e gerar novas representações como extensões com nova intenção de comunicação. Esta reinterpretação e apropriação sugere que há um campo ainda pouco explorado de conceitos na teoria, os quais atravessam diferentes contextos de interação. Em particular, é interessante considerar que em 2005³², os conceitos foram propostos em relação ao *design* de interação para operacionalizar tarefas de extensão e customização e agora os aplicamos no contexto de *design* de interação para apoiar tarefas de programação propriamente dita. Isto poderia ser um indicador de que a teoria pode migrar da área de IHC para alguns setores da área de engenharia de software. Esta seria uma oportunidade de pesquisa interessante, reunindo as áreas de IHC e Engenharia de Software.

Como contribuição técnica entregamos o PoliFacets-AS. Grande parte das descobertas de melhoria para o PoliFacets-AS estão implementadas e podem ser

³² Ano de publicação do livro de Engenharia Semiótica (de Souza, 2005).

utilizadas pelos professores e alunos que participam do SGD-Br. De fato, o sistema está aberto na *Web*³³, com materiais didáticos e projetos de exemplos que podem ser consultados por qualquer pessoa. Desconsiderando a instância e pensando na classe desse tipo de sistema, destacamos a relevância desse tipo de documentação para a sociedade como uma forma de alimentar o pensamento crítico durante o desenvolvimento do raciocínio computacional através da reflexão sobre os programas.

Esse tipo de documentação pode ser utilizado além das fases iniciais de contato com ambientes durante o ensino e aprendizado. Um programador experiente pode usar um sistema com múltiplas facetas de significado para explorar um programa desenvolvido por ele em busca de *bugs* e de reflexão sobre melhores abordagens e soluções para problemas.

Do ponto de vista do método de aplicação, a tese apresenta casos de dois ambientes, um completamente desenvolvido e outro apenas explorado no nível conceitual. Eles podem servir como exemplos e ajudar outros *designers* a reaplicar o modelo em seus contextos específicos.

5.4. Trabalhos futuros

Os trabalhos futuros foram divididos em três subseções, considerando que as perguntas geradas após a pesquisa poderiam ser estudadas de acordo com seu nível de complexidade e tempo de investimento. Esta divisão é uma sugestão considerando o que conhecemos até o momento, mas a dimensão de cada trabalho futuro sugerido pode mudar a partir do maior aprofundamento das questões abordadas. As pesquisas de curto prazo seriam viáveis no contexto de trabalhos de conclusão na graduação ou monografias para disciplinas na pós-graduação. As pesquisas de médio prazo são mais indicadas para dissertações de mestrado. Por fim, as pesquisas de doutorado envolvem estudos mais profundos e exigem pesquisas de longo prazo. As propostas de trabalhos futuros, assim organizadas, são uma contribuição de pesquisa desta tese por oferecerem uma agenda preliminar de investigação à comunidade de pesquisa interessada.

³³ <http://www.serg.inf.puc-rio.br/polifacets>

5.4.1. Pesquisas de curto prazo

Os estudos empíricos realizados podem ser complementados. Cada uma das facetas já construídas pode ser parte de estudos mais aprofundados sobre como são vistas pelos usuários finais, para avaliação da recepção da metamensagem, coleta de novos requisitos para o *redesign* ou criação de novas facetas complementares. Também podemos aproveitar os espaços inexplorados para iniciar a criação de novas facetas.

As facetas desenvolvidas abordam aspectos que consideram a representação do programa resultante de uma ferramenta de construção de programas. Entretanto, o programa resultante é estático, ainda não construímos facetas que possibilitassem a reexecução do programa com uma documentação ativa contextualizada de acordo com o momento da execução. O modelo prevê esse tipo de faceta, mas as instâncias utilizadas ainda não sustentavam esse tipo de construção. É interessante, como trabalho futuro de curto prazo, explorar facetas que apresentem a documentação ativa contextualizada do programa.

Como comentado nas limitações do trabalho, o modelo ainda não foi aplicado por outras pessoas de fora do contexto da pesquisa. Para que isso seja realizado, é preciso definir o perfil do profissional que está apto a aplicar o modelo, tendo em vista que é necessário conhecer os conceitos de Engenharia Semiótica. Mais do isso, precisamos descobrir que tipo de auxílio os *designers* devem ter para conseguirem se apropriar do modelo.

É interessante também pensar como seria a aplicação do modelo em novos ambientes de ensino de programação. Considerando as limitações apresentadas anteriormente, um novo estudo seria uma contribuição para o modelo sendo reaplicado e também teria como produto uma nova documentação ativa sobre outro ambiente que pode ser explorado no contexto do projeto SGD-Br ou na pesquisa de ferramentas para ensino de programação de um modo geral. Além de reaplicar o modelo, deveria ser estudado o processo de aplicação do modelo.

5.4.2. Pesquisas de médio prazo

Reconhecemos que o potencial da documentação ativa apresentada no PoliFacets-AS ainda não foi suficientemente alcançado. Do ponto de vista do modelo, poderíamos realizar novos ciclos de pesquisa avaliando a possibilidade de

gerar automaticamente modelos de interação a partir dos dados de cada documento ativo ressaltando a questão conversacional com mais intensidade. Com o conhecimento do modelo PoliFacets e da fundamentação em Engenharia Semiótica, temos maior embasamento para explorar e habilitar redes de conversas na documentação ativa resultante da aplicação do modelo.

Atualmente a faceta ‘regras’ ainda apresenta o texto em linguagem pseudonatural muito simplificado, com uma equivalência quase direta com o código fonte propriamente dito. No estudo empírico sobre regras e narrativas de programação foram coletadas evidências de como o texto das regras poderia ser melhorado, mas nem todas as sugestões foram implementadas. Além disso, há um espaço de exploração onde o foco das regras pode deixar de ser apenas sobre um agente e passar a ser sobre um conjunto de agentes ou sobre todos os agentes, variando a escala do escopo de abrangência (local, regional e global) de acordo com a perspectiva da interação.

As facetas de expansão linguística do ponto de vista do usuário envolvem mudanças na expressão, conteúdo e intenção. São as mudanças mais complexas que envolveriam a expansão considerando a criação de novos códigos. Nos casos de ‘reformular’ seriam novos códigos, mas interpretados de acordo com mudanças apenas léxicas e sintáticas do ponto de vista do sistema. Nos casos de ‘reescrever’, há mudança semântica. Por exemplo, uma nova faceta desse último tipo consideraria que o aprendiz pode programar usando novos comandos que não existem no AS e também serão semanticamente interpretados pelo sistema. É como se o aprendiz pudesse digitar ‘o agente A segue o agente B’ e o interpretador estivesse preparado para executar esse novo comando. Este tipo de faceta é mais complexo porque envolve outro sistema de significação. Mas também desenvolve as habilidades de programação de modo mais livre, com a criação de novas expressões, conteúdos e intenções. Exatamente pela possibilidade de modificações mais amplas, é preciso ponderar a criação e o uso de facetas desse tipo no contexto de ensino. Algumas perguntas que surgem nesse contexto são: Que tipo de ajuda pode apoiar o entendimento dos aprendizes quando deparados com facetas mais complexas? Será que as facetas de ressignificação, paráfrase e figura de linguagem servem como apoio para um melhor entendimento das facetas com expansão linguística?

Considerando a ontologia de metacomunicação, do ponto de vista do sistema, as modificações que envolvem reescrita devem ser realizadas com atenção. Este caso envolve uma nova interpretação computacional dos dados para gerar uma nova faceta. Esta reinterpretação precisa ser correta e fazer sentido no contexto do programa original, especialmente sem modificar o significado de signos que fazem parte da identidade da aplicação. Possivelmente, essas observações sobre o uso do modelo para criação das facetas devem orientar o uso do modelo, mas ainda não temos resultados conclusivos sobre essas orientações. Deve ser realizado um trabalho futuro pesquisando que tipo de orientação deve ser disponibilizada para o uso do modelo PoliFacets.

Outro estudo interessante seria a aplicação prática do modelo de modo recursivo. Teoricamente, isto é possível considerando que dois documentos ativos (sobre ambientes de ensino diferentes) formam um novo sistema de significação que pode ser analisado para criação de uma nova ontologia de domínio contemplando os dois ambientes. O tipo de documento ativo gerado seria composto de facetas ‘transversais’ que poderia ter como objetivo, por exemplo, a transição entre os sistemas com a transferência do que foi aprendido em um deles para a aplicação do conhecimento adquirido no outro sistema.

5.4.3. Pesquisas de longo prazo

Uma oportunidade de pesquisa interessante em longo prazo é a exploração dos aspectos colaborativos no *design* e no uso das facetas. Os ambientes de ensino utilizados em escola propiciam um contexto de colaboração, mas grande parte das ferramentas disponíveis ainda não favorece essa possibilidade. Considerando essa necessidade, o modelo poderia ser utilizado para o *design* da metacomunicação e para gerar uma documentação ativa com possibilidades de colaboração? Que tipo de mudança o modelo poderia conter para contemplar esse novo objetivo?

Percebemos a possibilidade da realização de pesquisas envolvendo contribuições teóricas para a Engenharia Semiótica. No estudo das regras e narrativas de programas, observamos as variações entre o modo como os participantes explicaram seus programas. Podemos organizar um trabalho futuro que pesquise a relação entre esse tipo de situação e os princípios de abstração interpretativa e do contínuo semiótico (de Souza *et al.*, 2001). Estes princípios

foram propostos para avaliação de linguagens de programação para usuários finais. Por exemplo, uma linguagem de interface é uma abstração interpretativa quando um usuário entende seu significado sem conhecer a linguagem de programação que gerou a interface. Quanto ao contínuo semiótico, um usuário pode escrever em determinada linguagem e prever o que acontecerá na linguagem de interface. Esses princípios estão relacionados com o fato dos participantes transitarem da linguagem mais próxima à programação para a linguagem mais próxima do domínio dos seus programas. Seria interessante realizar estudos sobre a relação desses princípios teóricos da Engenharia Semiótica e a construção das narrativas em linguagem natural disponibilizadas nas ferramentas.

Ainda não foi realizada uma avaliação de comunicabilidade para testar a recepção da mensagem de metacomunicação do PoliFacets-AS. O sistema tem como característica principal ser uma documentação ativa. Por enquanto, não podemos afirmar se os métodos de avaliação disponíveis permitem verificar um sistema nesta categoria. Para isso, é preciso realizar estudos que observem participantes utilizando o PoliFacets-AS e outras variedades de documentações ativas similares verificando se os métodos de avaliação são eficazes. Nesse caso, seria estudado se o método permite identificar onde os problemas que forem encontrados estão fundamentados. Ou seja, se é uma falha de comunicação que foi iniciada a partir da criação da faceta no modelo ou se é um problema de implementação e *design* final da representação.

Como uma tese na área de Computação e IHC, nossos objetivos sempre estiveram fundamentados sobre a questão tecnológica. Para uma pesquisa de longo prazo, seria interessante estudar como os documentos ativos desenvolvidos para auxiliar no ensino de programação poderiam ser se fossem baseados em um tipo específico de pedagogia. Nesse caso, seria necessário um projeto maior e multidisciplinar que envolvesse especialistas em educação e outros setores.

Além disso, estamos promovendo a aquisição de raciocínio computacional, ensinando como os alunos de escolas do ensino médio e fundamental podem se expressar através de *software*. O último estudo realizado com alunos, usando o SideTalk para se comunicar com o seu professor, explicitou o elo entre programação e autoexpressão. Os participantes aproveitaram a oportunidade para complementar o que tinham desenvolvido em seus jogos. O uso efetivo do PoliFacets-AS nas aulas ainda não foi verificado porque as escolas ainda estão

dependentes dos membros do projeto SGD-Br. O sucesso da ferramenta PoliFacets-AS deve ser avaliado posteriormente a grande avaliação do projeto SGD-Br. Em longo prazo, e com uma equipe de pesquisa multidisciplinar, poderíamos estudar como o conhecimento que aprendizes adquiriram participando do projeto, utilizando o AgentSheets e PoliFacets-AS, influencia no aprendizado das outras disciplinas nas escolas. Mais do que isso, uma pesquisa ainda mais abrangente seria sobre como o aprendizado influenciaria no modo como os alunos que aprenderam a programar e se expressar através de *software* irão atuar na sociedade.