

# Mineração de Dados de IHC para Interface Educativas

ANA EMILIA DE MELO QUEIROZ<sup>1</sup>  
ALEX SANDRO GOMES<sup>2</sup>  
FRANSISCO DE ASSIS TENÓRIO DE CARVALHO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFPE – Universidade Federal de Pernambuco  
CIN – Centro de Informática  
Caixa Postal 7851 - 50.740-540 - Recife - PE - Brasil  
{aemq, asg, fatc}@cin.ufpe.br

**Resumo:** Este artigo apresenta uma teoria de IHC - Interface Homem Computador - de base construtivista para fundar a avaliação e o design de interfaces educativas, centrados na ação do usuário - *user centered design* - e no processo de aprendizagem de conceitos específicos. Apresentamos ainda uma técnica de análise de dados que permite a extração de regras sobre o uso da interface e a aprendizagem por ela promovida. Ilustramos a aplicação dessa teoria e da técnica de análise de dados com um estudo de caso, no qual analisamos um software para o ensino de geometria. Os resultados da mineração dos dados mostraram que há relações importantes entre a forma de funcionar da interface educativa e a aprendizagem de conceitos matemáticos.

**Palavras Chaves:** Mineração de dados; Aspectos teóricos e multidisciplinares de IHC; Análise da tarefa, Modelagem do usuário, Critérios de avaliação e métodos de análises de interfaces, Interfaces Educativas.

## 1 Introdução: Teorias em IHC e avaliação de interfaces educativas

Grande quantidade de software educativo para o ensino de matemática é de baixa qualidade para o ensino, não agregando informações sobre aprendizagem de conceitos [CH1996]. As facilidades proporcionadas pela manipulação direta [She1998] e as facilidades de cálculo, há muito tempo propaladas como as vantagens dos sistemas informatizados, não contribuem efetivamente na criação de situações verdadeiramente diferentes e consistentes para a produção de sentido em conceitos matemáticos.

No processo de concepção de software educativo, parece haver uma diferença significativa entre as representações que os designers têm acerca do processo de aprendizagem de conceitos matemáticos e o processo de aprendizagem em si, como observa [Man1997]. Usualmente, os procedimentos de design de software envolvem análises da atividade. No caso do design de softwares educativos, a análise da atividade parece ser insuficiente. Parece-nos necessária uma análise do processo de aprendizagem experimentado por usuários, no caso, alunos e professores, mediante o uso do software. Portanto, procedimentos iniciais de concepção deveriam estar baseados em testes de usabilidade intermediários que considerassem a aprendizagem de conceitos específicos que é proporcionada pelo uso dos softwares, por exemplo, conceitos matemáticos.

Tradicionalmente, a avaliação de interfaces educativas ocorre mediante a observação de seus aspectos constitutivos e da qualidade do feedback. Usa-se a mesma metodologia e o mesmo paradigma de qualidade adotados com software não educativo. Interfaces são avaliadas de forma descritiva, observando-se a aplicação correta de princípios e guide lines restritos para criação das interfaces [Gla2001] [Oli1987] [Cam1993]. Dado que software educativo visa não apenas a auxiliar na resolução de problemas, mas também ensinar conceitos, é necessário analisar o processo de aprendizagem, inserindo essa análise na metodologia de avaliação das interfaces educativas. É

necessária, pois, uma mudança de paradigma. A posição defendida aqui é que a aprendizagem de conceitos ocorre mediante o uso da interface.

O processo de criação e avaliação de softwares educativos demanda a identificação ou inferência dos conhecimentos que, provavelmente, emergem das ações dos usuários com as interfaces, que ocorre de forma não sistemática [Gom1999, Gom2000, GA2001]. Ter uma visão sistemática acerca da relação entre o uso da interface e da aprendizagem implica aplicar um modelo teórico de análise que modele o processo de organização de ação com a interface de forma inteligível. Essa modelagem deve ocorrer em termos de elementos teóricos que revelam a adaptação progressiva dos usuários à interface e os conhecimentos que emergem durante o uso.

No que tange à teoria de IHC mais adequada, é necessário articular, dentro de um único modelo, aspectos materiais e cognitivos. Poucos estudos utilizam modelos construtivistas de desenvolvimento cognitivo para modelar as ações dos usuários com os sistemas [Shn1998]. De uma forma geral, as teorias em IHC avaliam a aprendizagem de uso das interfaces. No caso de software educativo, deseja-se, além de analisar essa aprendizagem para o uso, é necessário analisar a aprendizagem de conceitos específicos que ocorre com o uso do software. Portanto, não se trata apenas aprender a FAZER algo, mas de aprender para APRENDER algum conceito.

Há várias teorias em IHC que podem servir à avaliação de interfaces educativas e orientar no processo de design de interfaces educativas. Há teorias e modelos para análise dos tempos de aprendizagem e retenção - Keystroke-level model, descrever os estados das ações que os usuários executam ao tentarem usar as interfaces [Nor1988] [BMDD2000]. A mais popular delas é a família de modelos GOMS [JK1996]. GOMS é uma das poucas concepções teóricas amplamente utilizadas em estudos sobre interação humano-computador. Há várias técnicas variantes do conceito original de GOMS, entre elas: CMN-GOMS, KLM, NGOMSL, CPM-GOMS. Elas foram suficientemente testadas e codificadas, a ponto de permitirem seu uso sem a necessidade de nenhuma outra validação empírica. Apesar da grande quantidade de teoria, poucas são as que abordam a aprendizagem de conceitos específicos, como os conceitos matemáticos, por exemplo.

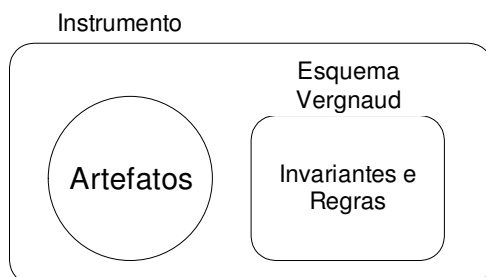
## **2 Teoria construtivista para análise de interfaces educativas**

Utilizar uma teoria construtivista de base piagetiana na análise e no design de interfaces educativas significa assumir que as ações dos usuários são previamente organizadas por esquemas mentais, estruturas que representam conhecimentos e viabilizam a organização das ações [Pia1996]. Há duas vantagens em adotar-se tal referencial teórico: a existência de um extenso trabalho realizado dentro dessa tradição teórica sobre o processo de aprendizagem [Fla1992], e a existência de definições explícitas de conceitos como *instrumento* e *conceito*. Partimos do princípio construtivista de que os indivíduos desenvolvem-se mentalmente mediante a adaptação progressiva de esquemas mentais a novas situações.

Para criar a teoria que ora descrevemos, adotamos o modelo de esquema mental proposto por Vergnaud [Ver1997], o qual permite descrever a organização das ações e identificar, por meio de inferências, os elementos e a dinâmica internos de tais esquemas mentais. Esse autor propõe que a representação interna a um esquema seja composta de informações acerca da realidade que rodeia o usuário e do uso de artefatos (regras de ação), de seus objetivos e conhecimentos identificáveis como científicos, mesmo que implícitos e não explicitáveis pelos usuários (invariantes). As regras são conhecimentos acerca de: (i) aspectos da estrutura de problemas a serem resolvidos, (ii) característica, funções e propriedades do artefato escolhido, (iii) aspectos subjacentes à escolha de um determinado artefato, ou ainda (iv) aspectos subjacentes a uma interação social. Os invariantes são conhecimentos que correspondem a conceitos ou propriedades de conceitos de uma teoria de referência. No estudo de caso que conduzimos, são colocados em evidência vários invariantes acerca de conceitos geométricos.

Para estabelecer de forma coerente uma relação entre a adaptação dos usuários às interfaces e a consecutiva aprendizagem, propomos um modelo que articule as dimensões material e cognitiva da atividade, como ocorre no uso de interfaces [Gom1999]. Para tanto, é necessário analisar as ações dos usuários com as interfaces como sendo ações instrumentais, o que implica a adoção do conceito de instrumento definido pela teoria da gênese de instrumentos [Mou1970] [Rab1995]. Segundo esses autores, um instrumento existe quando um esquema mental organiza a ação com um artefato (parte de uma interface, por exemplo). Artefatos, materiais ou virtuais, são meios para atingir um objetivo. Esquemas especializam-se ao uso de artefatos particulares. Essa definição não leva em consideração os elementos das representações internas dos esquemas e sua dinâmica interna, assim como definido por [Ver1997]. Como esse não é incompatível com a definição de instrumento, temos a possibilidade de redefinir a noção de instrumento tal como proposta por [Rab1995]. Assim, substituímos a definição original de esquema que figura no

conceito de instrumento, pela versão de esquema definida por Piaget<sup>1</sup>, adotando o esquema definido por [Ver1997] na constituição de um novo conceito de instrumento. Adotamos um modelo de esquema de ‘ação instrumental’ que toma como base a noção de esquema proposto por [Ver1997] para definição de um novo conceito de instrumento. A partir dessa nova concepção de instrumento, podemos finalmente tratar o problema da aprendizagem que ocorre durante o uso de artefatos de forma direta. A **Figura 1** apresenta a estrutura do instrumento assim definido.



**Figura 1.** Estrutura do instrumento com esquema proposto por Vergnaud.

Para este modelo, o uso de interfaces educativas é analisado em duas etapas. Em primeiro lugar, analisa-se a adaptação dos usuários à interface, processo denominado de gênese instrumental. Nesse caso, são analisados: a organização do esquema mental e os aspectos da estrutura do artefato. Num segundo momento, analisa-se a aprendizagem que ocorre durante o seu uso.

No caso da análise da qualidade de softwares educativos, os elementos de sua interface são tratados como artefato e integram instrumentos. A emergência de instrumentos particulares favorece a aprendizagem de conceitos específicos. Um software educativo é tão melhor para aprendizagem quanto maior for o número de propriedades de conceitos que seu uso faça emergir nos usuários.

## 2.1 Forma de análise

Uma primeira informação anotada é uma descrição da ação básica que é esperada, i.e., descrevemos a tarefa que é executada na unidade de ação correspondente. Na primeira coluna, colocamos uma breve descrição da ação que é esperada em termos de objetivos; por exemplo, ‘traçar retas paralelas’ com um software para o ensino de geometria. O acompanhamento do conteúdo dessa coluna nos permite comparar posteriormente a ação observada com a ação efetivamente realizada. Na segunda coluna da tabela, colocamos uma informação acerca da avaliação do procedimento executado. Uma ação pode ser avaliada como sendo ‘correta’ ou ‘incorreta’. Na coluna seguinte procedemos com a descrição de aspectos dos Instrumentos que emerge no momento da ação do sujeito. Descrevemos sua Organização, em termos da descrição de um esquema e o Artefato utilizado na ação instrumental (parte de uma interface do software educativo). Para realizar uma posterior análise da aprendizagem, faz-se necessário obter informações a acerca dos invariantes subjacentes às ações.

Analisa-se a gênese instrumental por meio do acompanhamento das transformações dos elementos constituintes dos instrumentos: artefatos e esquemas. A análise do que ocorre com os artefatos é feita do ponto de vista do usuário. Pode-se portanto, analisar a evolução das funções atribuídas pelos usuários ao longo do tempo. Essa evolução é denominada instrumentalização e reflete a adaptação dos sujeitos à interface. O mesmo acompanhamento pode ocorrer com relação às adaptações dos esquemas de ação instrumental. O processo de evolução dos esquemas recebe o nome de instrumentação. O acompanhamento desse processo permite observar a adaptação dos usuários às interfaces.

A análise da aprendizagem de conteúdos matemáticos ocorre mediante análise dos invariantes que são mobilizados em cada uma das tentativas de ação com os artefatos. É possível criar uma representação detalhada da conceitualização que emerge em relação ao uso da interface educativa [Gom1999] [Gom2000].

Partindo da definição de esquema, como sendo *uma organização invariante da ação*, procedemos à localização de seqüências de ações com o mesmo conjunto de artefatos ou com conjuntos diversos de artefatos. Durante o

---

<sup>1</sup> “o que, numa ação, é transponível, generalizável ou diferenciável de uma situação a seguinte, ou seja, o que há de comum nas diversas repetições ou aplicações da mesma ação” [Pia1996, p. 16]

processo de análise, identificamos classes de situações que servirão para realizar, por exemplo, a análise da influência de um uso anterior de um conjunto de artefatos na adaptação a um outro sistema. A determinação do tipo de situação é mais complexa, pois ocorre mediante a identificação indireta de uma classe de esquemas que pode vir a corresponder ao conjunto de situações sob análise. Teoricamente, não existem esquemas equivalentes, dado que a evolução é um processo contínuo, e uma ação subsequente nunca é idêntica a uma ação anterior, o que constitui a dialética do modelo construtivista. No entanto, podemos definir um critério de similaridade que definirá o grau de similitude entre duas organizações de ações.

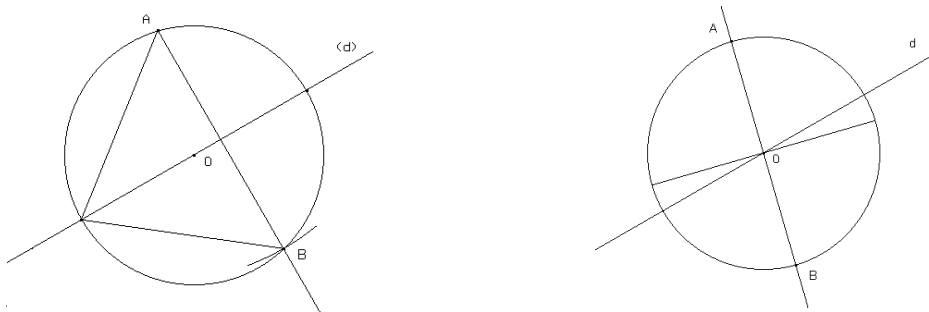
### 3 Estudos de caso

No estudo de caso, analisamos a resolução de problemas de geometria com dois sistemas de instrumentos (SI) diferentes: um primeiro denominado de 'régua e compasso', e o segundo, um software de geometria dinâmica, Cabri Géomètre. Acompanharemos as atividades de resolução de cinco (05) duplas de alunos da 5ª série do ensino fundamental. Cada dupla resolveu um conjunto de seis (06) problemas de geometria. Para ilustrar a aplicação da teoria, neste artigo selecionamos apenas um (01) problema de apenas dois (02) alunos, EA e EB, para ilustrar a aprendizagem mediada com dois conjuntos distintos de artefatos. Após a análise qualitativa, descreveremos a forma como os dados foram preparados para que seja possível extrair regras sobre o uso da interface e da aprendizagem que é gerada durante seu uso.

Analisamos a influência do uso de artefatos de construção de figuras geométricas no papel - régua e compasso - e um sistema informatizado de construção de figuras geométricas, Cabri Géomètre, na aprendizagem de geometria. À medida que analisamos as tentativas de resolução, identificamos um conjunto de invariantes e de regras que são mobilizados nas ações.

#### 3.1 Análise da usabilidade do software Cabri

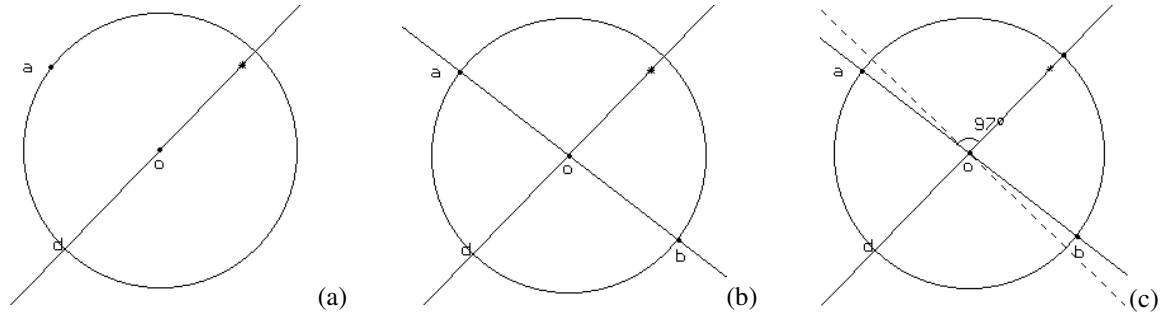
Antes de iniciar o teste de usabilidade do Cabri, analisamos como os alunos resolvem problema idêntico com régua e compasso. Com esse sistema de instrumentos, os alunos trabalharam isoladamente. Aqueles que conseguiram resolver este problema usaram o conceito de simetria axial. No entanto, em detrimento desse fato, o aluno EA errou. Ele começou por construir um ponto B simétrico ao ponto A em relação a uma reta  $d$  com uma régua graduada e um esquadro. Para encontrar o ponto B, ele reporta a distância de A a  $d$  com o compasso e instala um ponto C sobre  $d$  na intersecção entre o círculo e a reta  $d$ . Ao final, o triângulo desenhado por EA é isóscele, mas de base AB. O aluno EA não encontra o ponto C pois não respeitou a primeira condição do problema: ABC é isóscele de base BC. O aluno EB, por sua vez, errou. Ele não respeitou nenhuma das três orientações. A origem primeira do seu erro é devido ao fato que ele começou a construção pela simetria central e não pela simetria axial. Ele traçou um círculo centrado em O com um compasso; depois com uma régua e um esquadro ele traça a mediatriz de AB. Na **Figura 2** apresentam-se suas construções.



**Figura 2.** Construções de EA e de EB

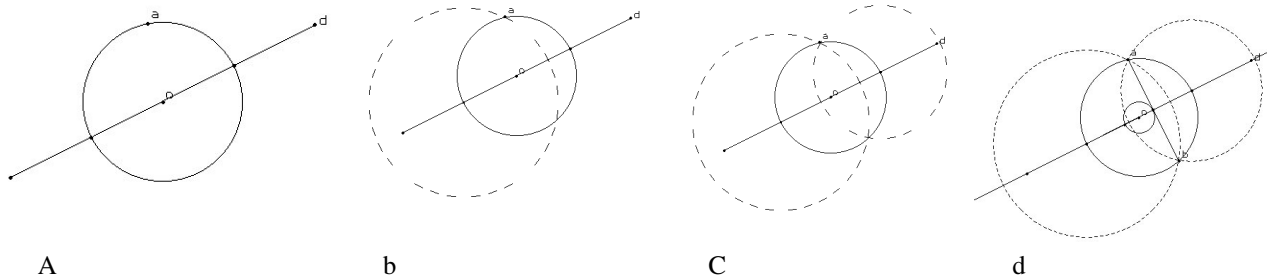
Esse binômio realizou cinco tentativas com o software Cabri. A cada etapa, a função de certos artefatos evolui, num processo de gênese instrumental. Numa primeira tentativa os alunos começaram pela utilização da simetria central do ponto A, e isso os impediu de encontrar a solução correta. Na **Figura 3** tem-se a configuração final dos seus desenhos. Nós observamos uma tentativa dos alunos resolverem o problema pela simetria axial; eles não conseguem porque eles escolheram o ponto O para fazer passar a reta perpendicular. Na resolução do mesmo problema com a régua e o compasso, observa-se que os alunos dispõem do conhecimento necessário à resolução do

problema. A simetria de um ponto com relação a um eixo é co-linear ao primeiro ponto e a um ponto marcado sobre o eixo e utiliza-se uma reta perpendicular para encontrar a simetria de um ponto com relação a um eixo. No entanto, eles não utilizam esses dois elementos. Em seguida, os alunos tentam encontrar a simetria de A com relação a B, no entanto eles fazem passar uma reta pelo ponto O em lugar de passar uma perpendicular a  $d$ . Depois, eles constroem a perpendicular ao eixo, mas a fazem passar pelo ponto O em lugar de fazerem passar pelo ponto A.



**Figura 3.** Construção realizada pela dupla para *Construir um triângulo isóscele*

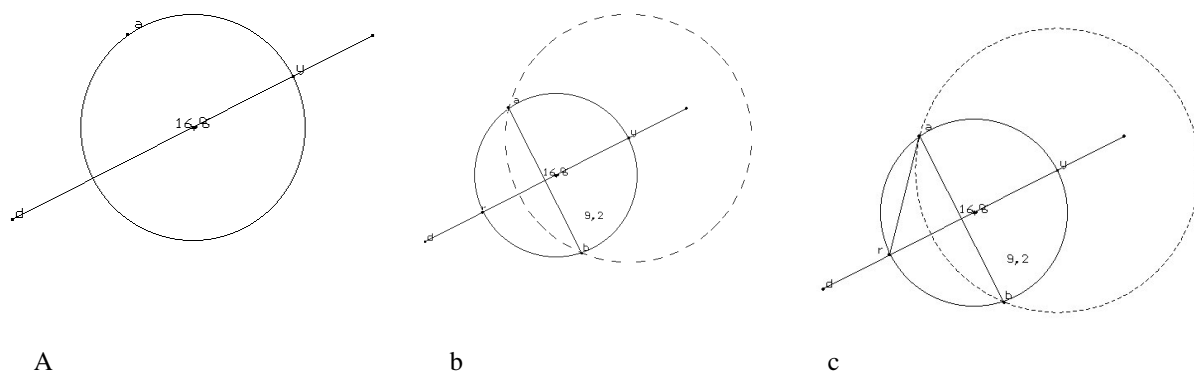
Na segunda tentativa, os alunos avançaram em relação à tentativa anterior. Eles conseguem encontrar corretamente o ponto B simétrico de A com relação a D e em seguida AB. É esse procedimento que observamos de mais próximo. Os alunos fazem uma construção intermediária que deve permiti-los a encontrar o ponto B. O conjunto que serviu de meio para a ação evolui. Parece que essa evolução se faz a partir do esquema de ação instrumental associado ao uso do compasso. No entanto, eles não tentaram encontrar o ponto C; eles preferiram recomeçar a construção. Nesse exemplo, remarca-se a emergência de um conjunto composto de dois círculos centrados sobre  $d$ . Esses círculos constituem dois pedaços de um novo instrumento que foi utilizado para encontrar o ponto B.



**Figura 4.** Segunda tentativa da dupla

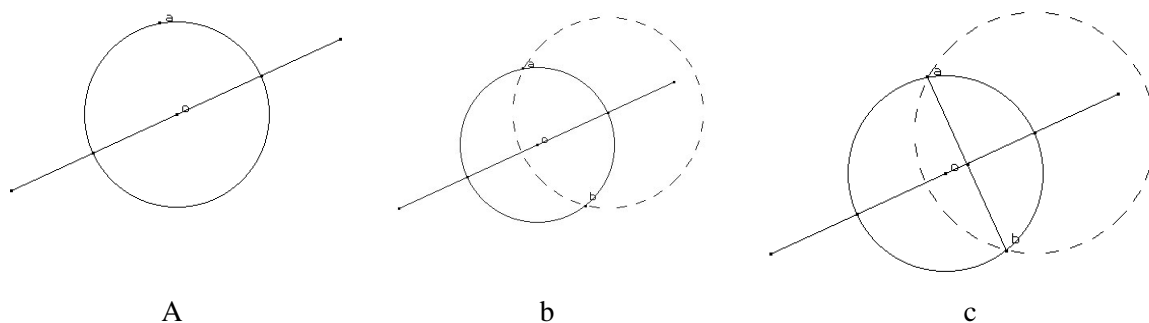
Essa manobra é equivalente àquela realizada com o compasso. A diferença é que, aqui, os dois círculos têm diâmetros diferentes. Ora, na construção com o compasso, os alunos usualmente não instalam o centro dos círculos em qualquer lugar sobre o segmento. Com o compasso, espera-se aqui que a identificação do ponto de simetria seja feita com dois traços equivalentes.

Os alunos não avançam muito na terceira tentativa. Mais uma vez, eles conseguem encontrar o ponto B, simétrico de A com relação a  $d$ . Eles tentam encontrar o ponto C. O procedimento não leva a um resultado satisfatório. Uma particularidade dessa tentativa é o uso de uma ferramenta até então não utilizada: a medida automática de Cabri. Os alunos utilizam uma configuração mais simples e mais eficaz que a precedente para encontrar o simétrico do ponto A; nessa tentativa são os círculos centrados sobre  $d$  que são utilizados para encontrar o ponto B. Seus pontos de intersecção são simétricos com relação ao eixo. O artefato foi simplificado; ele teve a sua composição transformada. Ele se tornou mais simples todavia conservando sua função de origem.



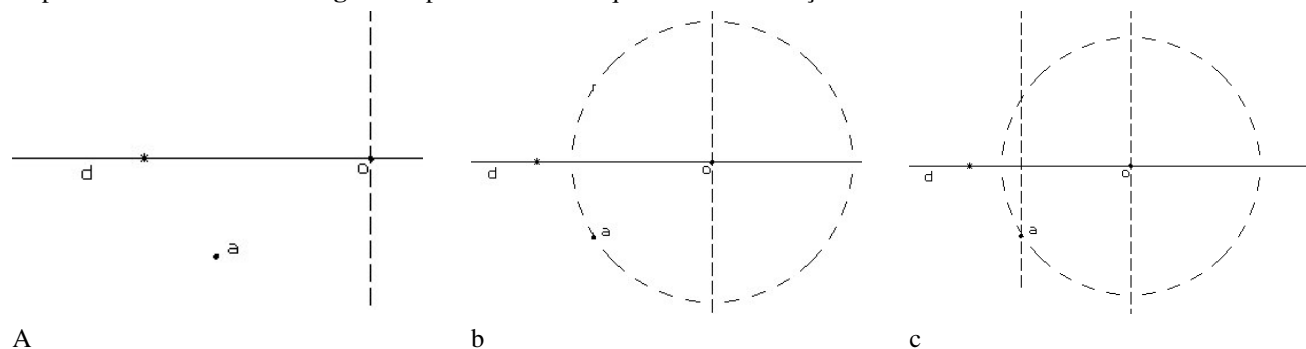
**Figura 5.** Terceira tentativa da dupla

A particularidade da quarta tentativa deve-se ao fato de que o conjunto ao qual havíamos seguido a simplificação na etapa precedente se estabiliza. Não observamos processos de instrumentalização para encontrar a simetria axial. As medidas não são mais utilizadas (**Figura 6**).



**Figura 6.** Quarta tentativa da dupla

Finalmente, a dupla tem sucesso. Os alunos constroem algo ligeiramente diferente do anterior, pois não utilizam mais o círculo suplementar para encontrar o ponto B. Nessa tentativa, eles o encontram com a ajuda de uma reta perpendicular à reta  $d$ , e com a ajuda de um círculo, descrito no enunciado. Esse par de elementos serve de instrumento em uma etapa intermediária da construção. Os alunos parecem ter assimilado bem a função do componente **RETA PERPENDICULAR** da interface e um novo esquema mental desenvolve-se em associação com o mesmo. Esse esquema coordena o uso do desenho traçado no Cabri para encontrar a simetria axial do ponto A. O conceito mobilizado é o de simetria axial. Eles encontram ainda o ponto C sem dificuldade com o auxílio de um círculo passando por C centrado em A. Eles atribuem uma função ao círculo que outrora atribuíram ao compasso para reportar uma distância. Na **Figura 7** apresentamos a seqüência da construção desse desenho.



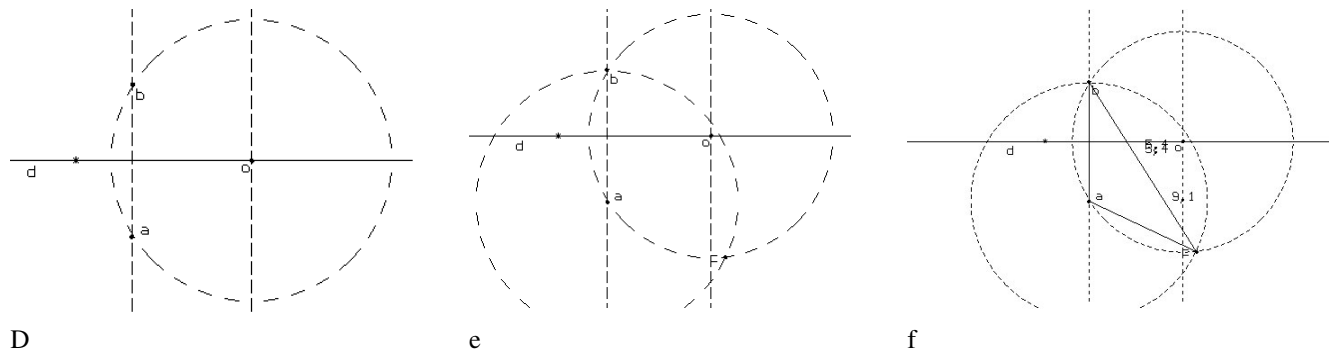


Figura 7. Quinta tentativa da dupla

A reta perpendicular a  $d$  passando pelo ponto  $O$  parece não ter nenhuma função na atividade. Eles retomam um procedimento de construção parecido com o da primeira tentativa, quando uma conceitualização falsa sobre simetria central foi mobilizada. Eles parecem, ainda, ser guiados por uma conceitualização falsa sobre simetria axial. Os alunos procuram encontrar a simetria central de um ponto, traçando uma reta perpendicular passando por um ponto outro que aquele do qual procuramos o simétrico.

Observamos que a forma dos desenhos sucessivos dos alunos com Cabri evolui. Os alunos passam de uma configuração com três círculos e uma reta perpendicular à reta  $d$  (segunda tentativa) a uma configuração a dois círculos e uma reta perpendicular (terceira e quarta tentativa) para chegar finalmente a uma versão com apenas um círculo e uma perpendicular. O uso do Cabri permitiu a acomodação do esquema de reportar um comprimento para a localização do ponto simétrico de um ponto. Observem que o uso de régua e compasso influencia na forma como os alunos desenvolvem estratégias de construção de figuras geométricas com o Cabri. Essa conclusão aponta na mesma direção do que é proposto por diversos autores que investigam a aprendizagem de geometria com o uso de sistemas computacionais como o Cabri Géomètre [LC1994] [PA1997] [Höll1997]. Do ponto de vista da usabilidade de interfaces educativas, temos até aqui uma descrição da adaptação dos usuários à interface. Ainda não podemos concluir nada a respeito da aprendizagem de conceitos geométricos e, portanto, da contribuição dessa interface ao ensino de geometria.

### 3.2 Mineração de dados

Nesta seção descreveremos a base de dados resultante do teste de usabilidade, os processos de tratamento da base bruta, a aplicação dos algoritmos de extração de regras e a análise do conhecimento minerado. Abaixo mostraremos o modelo entidade-relacionamento da base de dados.

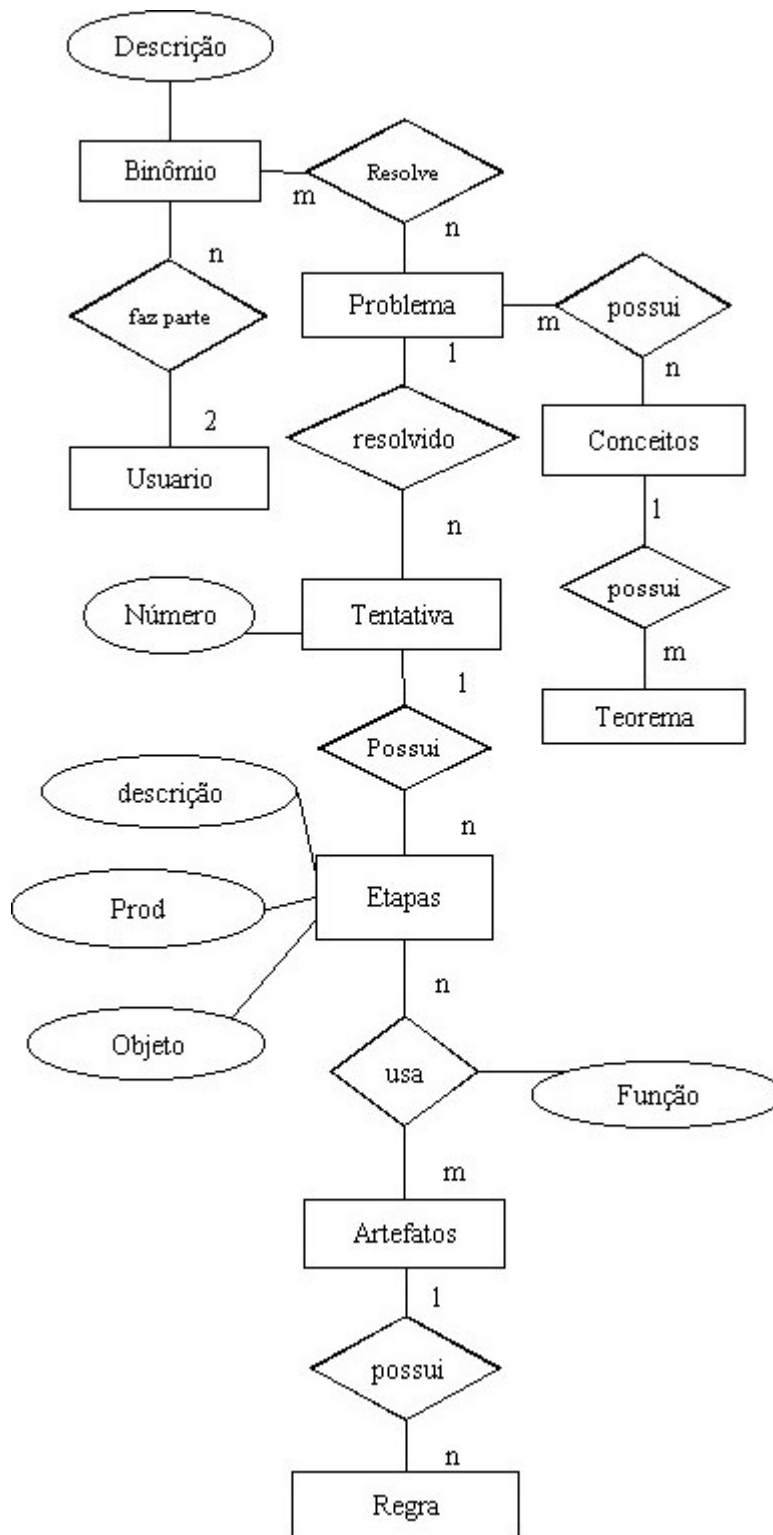
O modelo de dados entidade-relacionamento (E-R) baseia-se numa percepção do mundo real que consiste em uma coleção de objetos básicos chamados de entidades, e de relacionamentos entre esses objetos. Uma entidade é um objeto que existe e é distinguível de outros objetos. A distinção é conseguida associando-se a cada entidade um conjunto de atributos que descrevem os objetos. Por exemplo, os atributos descrição e código descrevem um problema em particular. Um relacionamento é uma associação entre diversas entidades. Por exemplo, o relacionamento Problema/Binômio associa um binômio a um problema que ele tenha resolvido.

Adicionalmente, o modelo E-R representa certas restrições às quais o conteúdo do banco deve-se adequar. Uma restrição importante é o mapeamento de cardinalidade que expressa o número de entidade às quais outra entidade pode ser associada via um conjunto de relacionamento.[Korth1989].

A estrutura lógica global de um banco de dados pode ser expressa graficamente por um diagrama E-R que consiste nos seguintes componentes:

- **Retângulos**, que representam conjuntos de entidades.
- **Elipses**, que representam atributos.
- **Losangos**, que representam relacionamentos entre conjuntos de entidades.

- **Linhas**, que ligam atributos a conjuntos de entidades a relacionamentos.



**Figura 8:** Modelo Entidade-Relacionamento do banco de dados minerado

A base de dados original estava em um arquivo excel que foi salvo como CSV<sup>2</sup>; a partir deste arquivo foi introduzido cabeçalho adequado para transformá-lo num arquivo do formato ARFF<sup>3</sup>. O sistema Weka [Weka99] foi a ferramenta de mineração de dados escolhida e as razões para isso é que o Weka que possui licença pública GNU, é fácil de instalar, e sua implementação é feita em JAVA [Java2000], o que garante portabilidade ao sistema.

Inicialmente avaliemos o estado em que se encontrava a base de dados no momento em que se iniciou o processo de tratamento.

- a) O arquivo inicial continha 442 registros.
- b) Os campos que não tinham valor deveriam ser completados por interrogação (?);
- c) A ferramenta utilizada no nosso trabalho não suporta espaços em branco na descrição dos valores categóricos nos campos;
- d) Alguns caracteres também não são suportados na descrição dos valores, ex. apóstrofo;
- e) Havia campos (Teorema e Regra) com problema de multivaloração

Os itens (b), (c) e (d) foram resolvidos manualmente sempre que identificados; já o último item (e) requeria um tratamento mais elaborado, por duas razões, a primeira é que a ferramenta não minera atributos multivalorados e a segunda é que a solução deste problema deveria minimizar o impacto no resultado final da mineração, ou seja, evitar perder informação. Segue abaixo a tabela contendo a estratégia escolhida e sua descrição

Estratégia	Análise
Cruzar os campos com multivaloração (como um produto cartesiano) gerando novos casos na base	Neste caso apresenta a vantagem de não perder informação, entretanto introduz o problema de aumento de quantidades de casos de forma artificial (não real), o que altera algumas métricas utilizadas na avaliação do conhecimento minerado, ex. suporte. Apesar do surgimento de um novo problema com uso desta técnica, esta abordagem foi utilizada.
Agrupamento de categorias	Uma grande dificuldade do projeto foi a grande variedade de valores possíveis para os atributos categóricos, acompanhados com a questão de se ter um conjunto limitado de casos para minerar. Uma estratégia de agrupamento foi adotada, essa estratégia possibilitou a aplicação dos algoritmos de extração de regras.

**Tabela 1:** Estratégia de pré-processamento utilizada.

Após a aplicação da estratégia descrita na tabela 1 demos início à seleção manual de atributos. O processo de seleção de atributos dar prioridade aos dados que vão beneficiar a extração de regras, reduzindo a dimensionalidade dos dados diminuindo o tamanho do espaço de hipóteses e permitindo ao algoritmo operar com mais eficiência. Em alguns casos o processo de seleção de atributos pode melhorar a exatidão do esquema de classificação, em outros o resultado pode ser mais compacto, e a representação do conceito aprendido pode ser facilmente interpretada. A seleção de atributos envolve a combinação de busca com avaliação da utilidade dos atributos [Hall M.A. 2000]. Neste contexto deseja-se estimar a aprendizagem mediada por instrumento e os conceitos matemáticos utilizados durante o processo de aprendizagem. Em seguida apresentamos os atributos relevantes e a descrição de cada atributo.

<sup>2</sup> Arquivo gerado pelo excel onde todas as células são separadas por virgula.

<sup>3</sup> Arquivo gerado pelo Weka [Weka].

Atributo	Descrição
Prod	O Resultado de uma etapa: Bom ou Ruim
Artefato	O Artefato utilizado durante a resolução da etapa.
Função	Função do artefato durante a etapa.
Objeto	O objeto sobre o qual a etapa está sendo resolvida.
Teorema	Teorema matemático que o binômio utilizou durante a resolução da etapa
Regra	A regra de utilização do artefato

**Tabela 2:** Atributos e suas descrições

Atributo	Categorias
Prod	BOM, FALSO
Artefato	Compas_Règle, Compas_Crayon, Compas, Crayon, Équerre, I2O, MUA, SD2P
Função	Reporter, Tracer, Trouver
Objeto	Distance, Droite, Mesure, Milieu, Ouverture_du_compas, Point_d'intersection, OUTROS
Teorema	CR, ED, OUTROS, MT, SA, SC, TG, TI, VI, MS
Regra	CM-01_(A), CM-02_(A), EQ-02, EQ-02_(A), FI-01_(PI), SD2P-02_(A), RG-07_(A), COR

**Tabela 3:** Atributos e seus valores possíveis.

### 3.3 Escolha do algoritmo e análise de predições incorretas

Antes da aplicação do algoritmo de extração de regras, é necessário escolher este algoritmo e efetuar uma análise das predições incorretas levando em o impacto que estas podem causar. O custo de uma predição incorreta é mais importante do que o número de predições incorretas em muitos domínios, tais como, aplicações de diagnóstico médico e aplicações financeiras[Gama2001]. Neste contexto, o custo associado a diferentes erros de classificação é de extrema relevância no processo de acompanhamento do aprendizado mediado. Durante a análise das ações [Gom1999], caso uma ação correta seja classificada como incorreta não traz muitos problemas, e uma outra ação pode ser analisada, caso contrário, se uma ação errada for classificada como correta esse erro implica dizer que um desvio da interface gráfica está sendo mascarado. A intenção é que o sistema possa acompanhar o aprendizado mediado por instrumentos. Uma predição incorreta neste aspecto pode indicar uma falha grave da interface.

### 3.4 Avaliação do conhecimento descoberto

Nesta sessão falaremos sobre as técnicas de análise de dados e apresentaremos os resultados de um benchmark de classificadores. Neste benchmark foi comparada a precisão, a cobertura do modelo e porcentagem de acertos. Os testes foram realizados com o ambiente Experiment do Weka © que possibilita criar, executar e analisar experimentos permitindo a ordenação dos classificadores baseada nas métricas escolhidas. Os classificadores escolhidos para participar do teste foram, ZeroR, Prism, NaiveBayes, j48.PART.J48 disponíveis no Weka ©; a motivação para tal escolha é que estes são classificadores de predição categórica, ou seja, preditores que oferecem resultados para domínios discretos e categóricos. No nosso contexto estamos pretendemos prever o valor do atributo Prod identificado como sendo Bom ou Falso. Os resultados destes testes servirão como base para a escolha do algoritmo que será implementado no servidor ADeCUI.

O classificador que alcançou os melhores resultados foi o J48.PART. O algoritmo J48.PART (para partial decision trees) é baseado em duas técnicas: dividir-para-conquistar<sup>4</sup> e separar-para-conquistar<sup>5</sup>. Objetivando obter resultados condizentes com análise de predições incorretas, presente na sessão 3.3 usamos o algoritmo J48.PART associado com o classificador MetaCost [Domingos1999].

Caso uma outra amostra melhor do ponto de vista do número de registros e ausência de ruído for utilizada, é possível que ocorram variações nas métricas (precisão, cobertura do modelo e porcentagem de acertos), todavia essas variações não invalidam os resultados aqui obtidos, dado que, além das regras interpretadas na sessão 3.5, o processo de análise de dados aqui utilizado orientará na coleta e no tratamento dos dados que estarão disponíveis no servidor ADeCUI.

### 3.5 Regras sobre o uso da interface

Do ponto de vista da avaliação da qualidade das interfaces educativas, e em específico, do ponto de vista da aprendizagem de conceitos específicos, a informação que é mais relevante é saber se há uma aprendizagem efetiva de determinado conceito no uso da mesma. Saber se houve acerto ou erro de forma significativa mediante o uso de artefatos específicos apontando para vantagens e limitações desses artefatos. A partir desse gênero de informação, pode-se descer ao detalhe, dentro de um outro paradigma de pesquisa, eminentemente qualitativo, para responder as perguntas: por quê? Ou por quais fatores, um determinado artefato é bom ou ruim para aprendizagem.

No que tange à aplicação dos resultados aqui encontrados, na produção de interfaces inteligentes de softwares educativos, as regras aqui extraídas podem orientar no desenvolvimento de agentes capazes de discernir sobre a correção e a inadequação de uma ação, num contexto específico.

A seguir, discutiremos os resultados encontrados a partir da aplicação do algoritmo de extração de regras descrito anteriormente. Demonstraremos suas contribuições no contexto inicial de avaliação da qualidade dos softwares educativos. O fato de a interface permitir a realização de construções errôneas do ponto de vista da teoria geométrica deve ser interpretado como sendo uma característica intrínseca da interface aberta, a qual permite a emergência de procedimentos errôneos. O que buscamos é identificar regularidades entre o uso de determinados componentes da interface, e os passos errôneos dados na intenção de atingir a resposta do problema. Essas regularidades vão constituir-se no modelo do usuário [Fis2001] necessário à geração de intervenções pertinentes por parte da interface.

Objeto = MESURE: FALSO (43.0/2.0).

Essa regra relaciona o uso de artefatos da interface do software Cabri Géomètre com a correção da ação do usuário. Ela nos informa que nas ações que tinham como objetivo operar sobre uma medida (MESURE), fizeram o usuário realizar uma ação diversa de uma estratégia ótima, levando a um erro. Esse uso correspondia a uma etapa que, dentro do contexto da resolução de um problema de geometria, estariam conduzindo o aluno a uma solução equivocada do problema. Durante o procedimento de resolução de problemas de geometria, usar uma medida pode estar associado ao que se denomina como 'procedimento empírico'. Normalmente, a resolução correta de um problema geométrico ocorre mediante a realização de uma seqüência de passos que se encadeiam numa construção lógica. O uso de medidas para construção de conjecturas e formulação de hipóteses é, em muitos casos, considerada fraca. Um objeto (da ação) tendo sido uma medida, implica o fato de que o aluno tenha usado um procedimento de medida em seu procedimento de resolução. Do ponto de vista da aplicabilidade da regra, podemos dizer que a mesma pode classificar como procedimento incorreto uma ação que tenha como objeto uma medida. Essa classificação é relativamente segura dentro desse contexto de resolução de problemas geométricos. A interpretação da regra parte de um indício e indica um procedimento errado. Mas não é o caso geral dentro de contexto mais amplo em matemática. Esse resultado nos alerta, entretanto, para a necessidade de aplicação de análise de dados para outros contextos tratados, por exemplo, aritmética e álgebra.

Função = Traçar AND Artefato = Compasso AND Teorema = TI: Bon (135.0/2.0).

---

<sup>4</sup> Método de geração de árvore de decisão [Michell97]

<sup>5</sup> Método utilizado por algoritmos de cobertura [Witten, Frank].

Essa regra informa que o uso do compasso para resolver problemas relacionados com o triângulo isósceles produz uma grande quantidade de acertos. Ela informa mais ainda: que há aspectos dessa interface, o compasso, que favorecem o acerto em problemas envolvendo o conceito de triângulo isóscele. Em, Gomes (1999), o autor havia sugerido a hipótese de uma interface criar em torno de seu uso, um 'campo de aplicação' tal e dentro desse campo ocorreria o favorecimento da aprendizagem de determinados conceitos. Em outras palavras, as interfaces, dentro de suas limitações de uso, favoreceriam ou desfavoreceriam a emergência de determinadas propriedades de conceitos. Aqui temos uma primeira comprovação quantitativa que corrobora com a confirmação da hipótese de existência de tais campos conceituais. Essa regra nos indica que o compasso, devido a sua estrutura e a classe de formas como o compasso pode ser usado pelas pessoas, ele é um artefato que direciona as ações, influenciando de forma positiva a emergência de um conhecimento matemática correto.

Regra = CM-01\_(A) AND Função = Reportar: Bon (22.0).

Essa regra é menos abrangente. Ela diz apenas que quando um compasso é utilizado para reportar um comprimento, os alunos acertam. Ela é uma boa regra, na qual um agente de interface poderia servir-se para julgar se uma etapa de um procedimento é correta e agir adequadamente.

Objeto = Milieu: Bon (29.0).

Igualmente, essa regra informa apenas que a localização de um ponto médio de segmento é atingida com sucesso independente do artefato utilizado.

Regra = COR AND Teorema = MT AND Artefato = Compasso: Bon (32.0/2.0).

Teorema = MT: Bon (4.0)

Essas regras informam que, quando o aluno resolve algo envolvendo o conceito de mediatriz, ele acerta. É um conceito simples. A primeira regra informa ainda que, quando essa atividade ocorre com o uso do compasso, ele acerta.

Regra = EQ-02\_(A): Bon (20.0).

Essa regra nos informa que o uso do esquadro implica sucesso. Podemos replicar o raciocínio anteriormente feito para o compasso e concluir que há determinadas características na interface esquadro que levam ao sucesso e muito provavelmente a uma boa aprendizagem. Do ponto de vista do designer de interfaces, restamos conseguir abstrair quais são os aspectos da interface desses dois instrumento que tornam o trabalho com o compasso e com o esquadro tão produtivo quanto a aprendizagem de conceitos. Interfaces educativas deveriam ser concebidas a partir desses princípios abstratos.

Regra = COR AND Função = Trouver AND Artefato = Compasso AND Teorema = SA: FALSO (20.0).

Essa regra mostra que a mesma interface do compasso, adequada e promotora de uma aprendizagem correta em outra situação, mostra-se inadequada para tratar a resolução de problemas envolvendo o conceito de simetria axial (SA) de forma direta, sem o uso de outro artefato. O fato é que esse problema demanda a utilização de uma interface que tenha propriedades de linearidade. No caso a régua graduada parece muito mais adequada. Cabe ao usuário saber escolher o artefato mais adequado à resolução dos problemas. No caso de interfaces inteligentes, a informação de que o usuário seleciona um artefato identificado como inadequado para uma tarefa é tal que orienta na forma como a mesma interface poderá reagir a essa ação. Esse conjunto de fatores que levam a uma tomada de decisão da interface denomina-se contexto da ação do usuário. Quando o contexto é conhecido em termos de regras, a interface tem um alcance sobre o mesmo.

Regra = COR AND Teorema = SA: Bon (18.0/1.0).

Essa regra complementa a anterior pois informa que, o compasso deve ser usado na resolução de problemas a respeito da simetria axial (SA), no entanto, de forma indireta. Aqui ele é adequado a reportar uma medida.

Teorema = CR: Bon (15.0).

Essa regra informa que o uso do círculo (CR), um dos elementos da interface do Cabri, ocorre sempre de forma correta. Isso significa que esse elemento não permite que o aluno erre. Essa informação, no contexto de uso de uma interface inteligente, orienta novamente sob a forma como um agente de interface pode reagir à seleção desse elemento.

Regra = COR AND Objeto = OUTROS AND Artefato = Compas: FALSO (23.0/2.0).

Essa regra informa que quando o compasso é usado para encontrar os seguintes objetos: Point\_sur\_cercle, Point, Points\_équidistants, Segment, Trait\_sur\_[Ax, Marque, Mesure\_de\_l'angle, Droite\_perpendiculaire, C2, [AO, [AC]\_[BC], o aluno erra com mais frequência que acerta. Para alguns desses objetos, é clara a interpretação. É o caso, por exemplo, quando o aluno tentar identificar um ponto equidistante de dois outros sobre um segmento. Uma outra ação que é possível identificar o erro é quando o usuário tenta traçar retas perpendiculares usando o compasso. Para os outros objetos, no entanto, não fica claro, no entanto, pelo menos da forma como os dados foram codificados em sua origem, e por isso não podemos identificar que ações a mais o compasso é uma interface inadequada. Essa informação só poderia ter sido resgatada aqui se na codificação inicial, após a análise das ações com os artefatos, tivesse sido bem registrado o significado dos nomes dos objetos. Essa conclusão orienta futuros procedimentos de coletas de dados, transcrição e análise..

#### 4 Conclusões

Buscamos neste artigo demonstrar a inexistência de uma teoria de IHC que permitisse a análise de interfaces educativas do ponto de vista da aprendizagem de conceitos que ocorre durante seu uso. A análise da qualidade de softwares educativos, centrada no processo de aprendizagem do conteúdo veiculado, permitiu a avaliação da abrangência das interfaces com relação à aprendizagem dos conceitos de campos conceituais aprendidos. Dessa maneira, essa abordagem permitiu verificar que a interface do software Cabri não é inócua à aprendizagem de geometria, promovendo situações relevantes à construção de sentido para conceitos geométricos.

A teoria que apresentamos permitiu termos acesso a informações acerca da aprendizagem mediada pelo uso das interfaces e, portanto, permitiu avaliar as interfaces quanto a sua contribuição à aprendizagem de conceitos específicos, em ocorrência, geométricos. Diferente da facilidade de uso de tantas teorias em IHC [Sch1996] - motivo do sucesso da família de teorias GOMS [JK1996], os processos de concepção e análise de interfaces educativas exigem uma abordagem particular e pouco mais complexa. A criação de interfaces educativas deveria buscar criar interfaces adequadas à aprendizagem de determinado conceito. Parte da equipe de desenvolvimento de softwares educativos deveria estar apta a lidar com a aprendizagem de conceitos.

A partir dos resultados da fase de pré-processamento executada neste trabalho e descrita na seção 3.2, percebeu-se que a interface de sistemas educativos deve fornecer a um agente uma quantidade muito limitada de informações, dado que informações em excesso não permitem o processamento direto. No presente estudo, analisou-se o uso da interface aberta, Cabri Géomètre ®. Em situação de uso, as ações são tão diversas quanto a possibilidade de combinação entre elementos de construção disponíveis na interface. Outro ponto observado neste trabalho é a necessidade de uma melhor padronização da codificação dos dados, fazendo uso de um glossário de termos que será utilizado para auxiliar na interpretação das regras. Finalmente, a metodologia que ora apresentamos não objetiva ser uma alternativa para a análise da interface. Pelo contrário, acreditamos que ela poderia apenas complementar o repertório de teorias utilizadas pelos profissionais que desenvolvem e avaliam softwares educativos.

## 5 Referências Bibliográficas

- [BK1996] Balacheff, N., Kaput, J., Computer based Learning Environments in Mathematics. Editor(s): Bishop, Alan J.; Clements, Ken; Keitel, Christine; Kilpatrick, Jeremy; Laborde, Colette, Dordrecht: Kluwer. 1996, p. 469-501;
- [BMDD2000] Barnard P., May J., Duke D., Duce D., Systems, Interactions, and Macrotheory, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, No. 2, June 2000, Pages 222–262;
- [Cam1993] Campos, G. H. B., Rocha A. R., Avaliação da qualidade de Software Educacional, Em Aberto, Brasília, ano 12, n. 57, jan./mar. 1993;
- [CH1996] Cuoco A. e Hoyles C. (Eds.), software criticism - Helen m. Doerr : Stella ten years later: a review of the literature, *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 1: 201–224, 1996.
- [DD1996] Denning P. e Dargan P., Action-Centered Design, In Terry Winograd (Ed.), *Bringing Design to Software*, New York: ACM Press, 1996, pp. 105-102;
- [Domingos1999] Domingos, P. “A General Method for Making Classifiers Cost-Sensitive”. Artificial Intelligence Group, Instituto Superior Técnico, Lisboa 1049-001 Portugal 1999.
- [Fis2001] Fischer G., User Modeling in Human-Computer Interaction, *User Modeling and User-Adapted Interaction* 11: 65-86;
- [Fla1992] Flavell J. H., *A Psicologia do Desenvolvimento de Jean Piaget*, São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1992;
- [GA2001] Gomes A. S., Alves F. J. A.. ADeCUI: sistema de análise da qualidade da interface de softwares educativos baseados em modelo construtivista de cognição. *SBIE'2001*. 2001. v. 1, pp. 304-311;
- [Gom1999] Gomes A. S., *Développement conceptuel consécutif a l'activité instrumentée - L'utilisation d'un système informatique de géométrie dynamique au collège*, Tese de doutorado, Université Paris V, Paris [www.cin.ufpe.br/~asg/gomes1999.exe], 1999;
- [Weka99] Site da biblioteca WEKA. Disponível em <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/>, 1999.
- [Gom2000] Gomes A. S., Modelo para a análise da aprendizagem consecutiva ao uso de artefatos computacionais, *SBIE 2000*. 2000. v. 1, pp. 304-311;
- [Gra1997] Gravemeijer K., Mediating between concrete and abstract. In T. Nunes et P. Bryant (Eds.) *Learning and teaching mathematics: An international Perspective*, Psychology Press, Hove, pp. 315-346, 1997;
- [HM2001] Hinostroza J. E., Mellar H., Pedagogy embedded in educational software design: report of a case study, *Computers & Education* 37 (2001) 27–40;
- [Hol1996] Hölzl R., How Does ‘Dragging’ Affect The Learning Of Geometry, *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 1: 169–187, 1996;
- [JK1996] John B. E. e Kieras D. E., The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 3, No. 4, December 1996, Pages 320–351.
- [Michell1997] Mitchell, T. *Machine Learning*. McGraw-Hill, 1997.
- [Mou1970] Mounoud P. *Structuration de l'instrument chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé: Lausanne, 1970;
- [Nor1988] Norman, D. A., *The psychology of everyday things*, Basic Books, Inc., Publishers New York, 1988;

- [Oli1987] Oliveira C. C., Avaliação de Software Educativo, *Tecnologia Educacional*, Rio de Janeiro- v.16 (77): 50-54, Jul./Ago 1987;
- [PA1997] Pratt D. e Ainley J., The construction of meanings for geometric construction: two contrasting cases. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. v. 1(3) p. 293-322, 1996-1997.
- [Pia1996] Piaget, J., *Biologia e Conhecimento*, Editora Vozes, Petrópolis, 1996;
- [Rab1995] Rabardel P., *Les hommes et les technologies Approche cognitive des instruments contemporains*, Paris: Armand Colins, 1995;
- [Sch1999] Judah I. Schwartz, Can technology help us make the mathematics curriculum intellectually stimulating and socially responsible? *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 4: 99–119, 1999.
- [Shn1998] Shneiderman B., *Designing the user interface: strategies for effective human-computer-interaction*, Addison, 1998;
- [Ske1996] Szendrei J., Concrete materials in the classroom. *International handbook of mathematics education*. Editor(s): Bishop, Alan J.; Clements, Ken; Keitel, Christine; Kilpatrick, Jeremy; Laborde, Colette Dordrecht: Kluwer. 1996. p. 411-434;
- [Ver1997] Vergnaud G., The nature of mathematical concepts. In T. Nunes e P. Bryant (Eds.), *Learning and teaching mathematics: An international Perspective*, Psychology Press, Hove, 1997, pp. 5-28.
- [Witten2000] Witten H. e Frank E. *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations* (2000).
- [Korth1989] Kort F. e Silberschartz. *Sistema de Banco de Dados*.(1989).
- [Java2000] Site oficial da linguagem Java. Disponível em: [www.javasoft.com](http://www.javasoft.com).
- [Hall M.A. 2000] Benchmarking attribute selection techniques for discrete class data mining. Working Paper 00/10, Department of Computer Science, University of Waikato; July
- [Gama2001] João Gama. Avaliação de Classificadores [http://www.liacc.up.pt/~jgama/Aulas\\_ECD/aval.pdf](http://www.liacc.up.pt/~jgama/Aulas_ECD/aval.pdf)