



PROJETO E FABRICAÇÃO DE MATERIAL DE ATRITO SUPORTADO POR MODELOS DE INFORMAÇÕES E RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

MARCOS ALEXANDRE LUCIANO¹, CARLOS ALBERTO COSTA¹ E FERNANDO ANTÔNIO FORCELLINI²

¹Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Caxias do Sul
Cidade Universitária – Caixa Postal 1352 – CEP 95001-970
Caxias do Sul – RS / Brasil

²Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário – Caixa Postal 476 – CEP 88010-970
Florianópolis – SC / Brasil

(Recibido 1 de abril de 2004, para publicación 18 de julio de 2005)

Resumo – Uma das etapas mais críticas do ciclo de vida de um produto, é o seu projeto, por ser um processo intensivo que trata de uma grande e diversificada quantidade de informações e conhecimentos. Para que as decisões tomadas nesta etapa sejam as melhores possíveis, é necessário que os projetistas disponham, de informações e conhecimentos sobre o produto em si, bem como aquelas relacionadas com seu ciclo de vida. Um caso onde essas características podem ser evidenciadas é no desenvolvimento de materiais de atrito para sistemas de freios. Neste caso o projeto está bastante direcionado à formulação da matéria-prima e ao seu processo de fabricação. Desta forma, as características finais do produto material de atrito dependerão não somente da formulação, que é um processo empírico, como também dos parâmetros utilizados para o processo de fabricação. Este trabalho aborda aspectos relacionados com a identificação, captura e compartilhamento de informações e conhecimentos envolvidos no projeto do material de atrito utilizado em sistemas de freio. Uma abordagem baseada em modelos de informações é utilizada como forma de possibilitar uma visão integrada do produto, além de apoiar a reutilização de informações e conhecimentos gerados em projetos anteriores. Dois modelos de informações são propostos, a saber, o modelo de produto que contempla informações sobre um produto em específico e o modelo de conhecimento do projeto que captura o histórico das informações e conhecimentos gerados ao longo do projeto do material de atrito. A representação destes modelos é baseada na tecnologia orientada a objetos e a recuperação das informações em uma abordagem de Raciocínio Baseado em Casos.

Palavras chave – Modelos de informação, sistemas de freio, material de atrito, reutilização de informações e conhecimentos.

1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) tem sido apontado como um fator associado ao sucesso das empresas, sendo caracterizado pela identificação das necessidades do mercado, criando rápida e eficientemente produtos que atendam tais necessidades a um baixo custo [1]. Uma das principais atividades do PDP é o projeto, sendo responsável pela determinação de mais de 60% dos custos envolvidos na manufatura do produto [2, 3]. Além disso o processo de projeto está baseado em inúmeras tomadas de decisões as quais devem estar suportadas por informações de qualidade. Alguns produtos, como o material de atrito para sistemas de freio, possuem processos de projetos do tipo adaptativo, ou seja, novos produtos são tratados como variações de produtos existentes, tornando-se fundamental a reutilização das informações e conhecimentos (I&C) existentes na empresa, na busca de uma maior agilidade do PDP [4, 5].

Embora o material de atrito seja um produto conceitualmente definido, seu desenvolvimento é complexo por envolver uma quantidade significativa de I&C relacionadas à matéria-prima, aos processos de

fabricação, às máquinas e à seqüência de operações, entre outros [6]. A alta sensibilidade da composição e o grande número de critérios de desempenho a serem atendidos, tornam a “intuição do projetista” uma ferramenta essencial ao desenvolvimento do material de atrito [7, 8].

A integração das I&C associadas aos diferentes ambientes envolvidos com o PDP, evita a segmentação do conhecimento e o surgimento de visões parciais e distorcidas sobre um mesmo produto. Uma das formas de integrar as informações necessárias e geradas pelas diferentes atividades distribuídas ao longo de ciclo de vida do produto é através do uso de padrões, como por exemplo o STEP (*STandard for the Exchange of Product model data*), que apresenta-se mais consolidado nos aspectos relacionados a geometria do produto [9, 10].

Outra abordagem adotada para a captura e integração das informações associadas ao ciclo de vida do produto, e que vão além da geometria são os Modelos de Informações [11, 12]. Informações adicionais e específicas podem ser necessárias para apoiar a tomada de decisões, tornando imprescindível o desenvolvimento de Modelos Adicionais de Informações. Tais modelos devem ser usados para suportar atividades pontuais e específicas realizadas ao longo do ciclo de vida e que podem influenciar diretamente no desenvolvimento do produto [13, 14].

Uma vez armazenadas, as I&C devem ser recuperadas e reutilizadas, existindo duas técnicas principais. A primeira refere-se aos Sistemas Baseado em Conhecimento (KBS – *Knowledge Based Systems*) que estão associados a existência de um conhecimento estruturável, sendo sua representação realizada através de regras [15 - 17].

A segunda aplica-se a situações onde o conhecimento apresenta dificuldades de estruturação, e denomina-se Raciocínio Baseado em Casos (CBR – *Cased Based Reasoning*). Nesta técnica o conhecimento é representado através de casos, sendo seu conteúdo formado pela descrição do problema, pela solução adotada, e o resultado final obtido [18, 19]. Um sistema CBR é altamente dependente de sua base de casos, tanto em qualidade como em quantidade, envolvendo desde a definição de que estrutura utilizar para descrever seus conteúdos, como serão armazenados e indexados, para que possam ser recuperados no momento apropriado [20, 21].

Este artigo apresenta uma abordagem baseada no uso de modelos adicionais de informações em conjunto com a técnica de raciocínio baseado em casos, como um mecanismo integrado para a reutilização de I&C no processo de projeto do produto. A adoção de material de atrito como estudo de caso, deve-se ao fato de ser um problema industrial que envolve significativos valores monetários e uma questão científica e tecnológica complexa. As próximas seções descrevem o ambiente que está sendo utilizado para explorar os conceitos desta pesquisa, apresentando a identificação das informações necessárias ao longo do processo de projeto, a estrutura de dados do produto, o relacionamento entre o modelo de produto e o modelo de conhecimento do projeto, e por último as considerações finais.

2. REUTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES NO PROJETO DE MATERIAL DE ATRITO

O processo de desenvolvimento do material de atrito pode ser dividido em três etapas principais: a definição das especificações do produto, o projeto do material de atrito e a homologação do produto. Este trabalho trata principalmente da etapa de projeto devido a sua complexidade, por englobar inúmeros parâmetros físicos e químicos que o influenciam, e por serem basicamente empíricos os conhecimentos envolvidos. Além disso, deve satisfazer requisitos de desempenho tais como: o coeficiente de atrito “consistente dentro de um determinado nível”, adequada transferência de calor, integridade estrutural e baixo custo. O uso de materiais compostos permite a obtenção das características de desempenho desejadas, normalmente apoiado em observações empíricas e pela realização de diversos ensaios [7].

No início da etapa do processo de projeto do material de atrito, baseado nas especificações do produto, o engenheiro de aplicação define as principais características técnicas do material de atrito a ser produzido. Com base nisto, o engenheiro químico é o responsável por sintetizar tais características em um fórmula química capaz de atender as especificações do cliente. Durante o projeto são realizados diversos ciclos – doravante tratados como ciclos de projeto de material de atrito – compostos de três atividades principais: a definição da formulação química, o estabelecimento dos parâmetros de fabricação e a análise dos resultados dos testes de laboratório e campo.

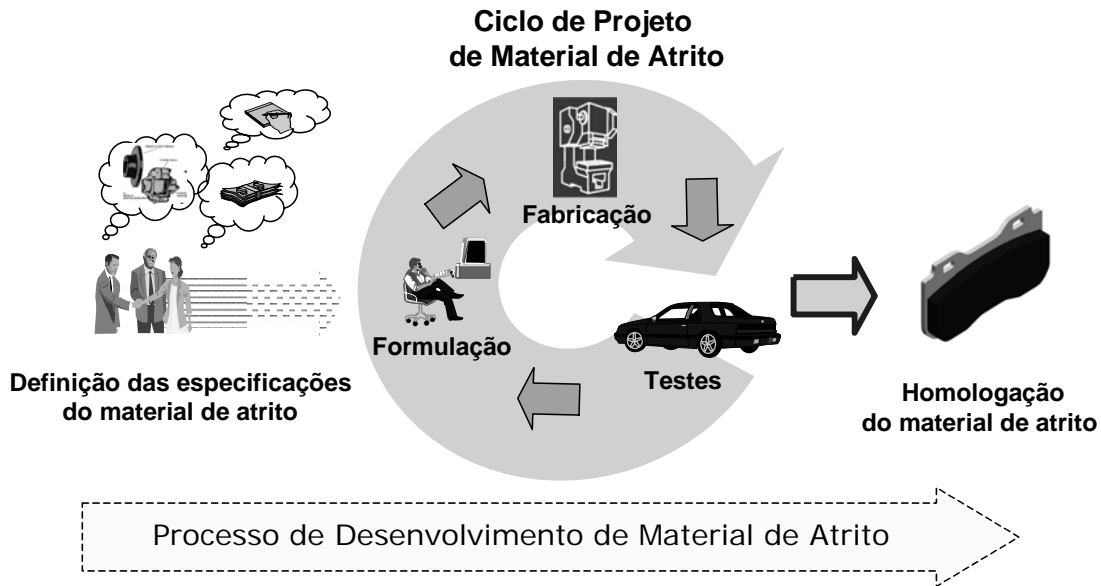


Fig. 1. Processo de desenvolvimento de material de atrito.

A Fig. 1 apresenta o ciclo de projeto como uma das etapas do processo de desenvolvimento do material de atrito.

A definição da formulação, dos parâmetros de processo e a conseqüente fabricação do material de atrito, referem-se a um lote piloto, que passará por testes de laboratório e de campo, onde verifica-se o atendimento ou não das especificações de projeto. Se estas são atendidas, o material é aprovado e pode passar a ser produzido em escala industrial. Se as especificações não são atendidas inicia-se um novo ciclo de projeto, alterando-se a fórmula ou os parâmetros de fabricação, produzindo-se um novo lote piloto, até que o produto demonstre através dos testes, ter condições de suprir as especificações de projeto.

Cada ciclo de projeto do material de atrito, tem associado um conhecimento específico, seja de composição do material, seja dos resultados que tal composição traz, sendo necessário que os sistemas computacionais permitam sua captura de forma integrada, mesmo que sua sistematização seja difícil por ser altamente empírico.

A etapa do ciclo de projeto do material de atrito, como representado na Fig. 1, poderá ocorrer uma única vez, assim como diversas vezes dependendo do acerto da formulação e dos parâmetros do processo de fabricação. Todas estas funções (atividades) possuem um custo, contudo a de testes é onde este torna-se mais acentuado principalmente devido ao custo dos equipamentos utilizados para tal. O desafio é, então, acertar a formulação e os parâmetros de processo num menor número de vezes, o que, na visão deste trabalho, pode ser feito através de um meio que apoie a recuperação de informações relativas a ciclos (casos) passados.

A Fig. 2 mostra, através de um diagrama IDEF0 (**I**ntegration **D**EFinition language **0**) [22], as cinco macro-funções associadas ao processo de desenvolvimento do material de atrito. Através do diagrama IDEF0 tais funções podem ser desdobradas em sub-funções até o nível necessário para a descrição e entendimento completo do processo. Contudo, este artigo não explorará este nível de detalhamento.

O conjunto total de macro-funções (A1 – A5) descrevem de uma forma geral o processo de desenvolvimento do material de atrito – contido no ciclo de vida do produto – e armazenado em um modelo mais abrangente denominado PM (*Product Model*). As três macro-funções intermediárias (A2 – A4) descrevem o processo de procura pela melhor solução, ou seja o ciclo de projeto e são armazenadas no DKM (*Design Knowledge Model*).

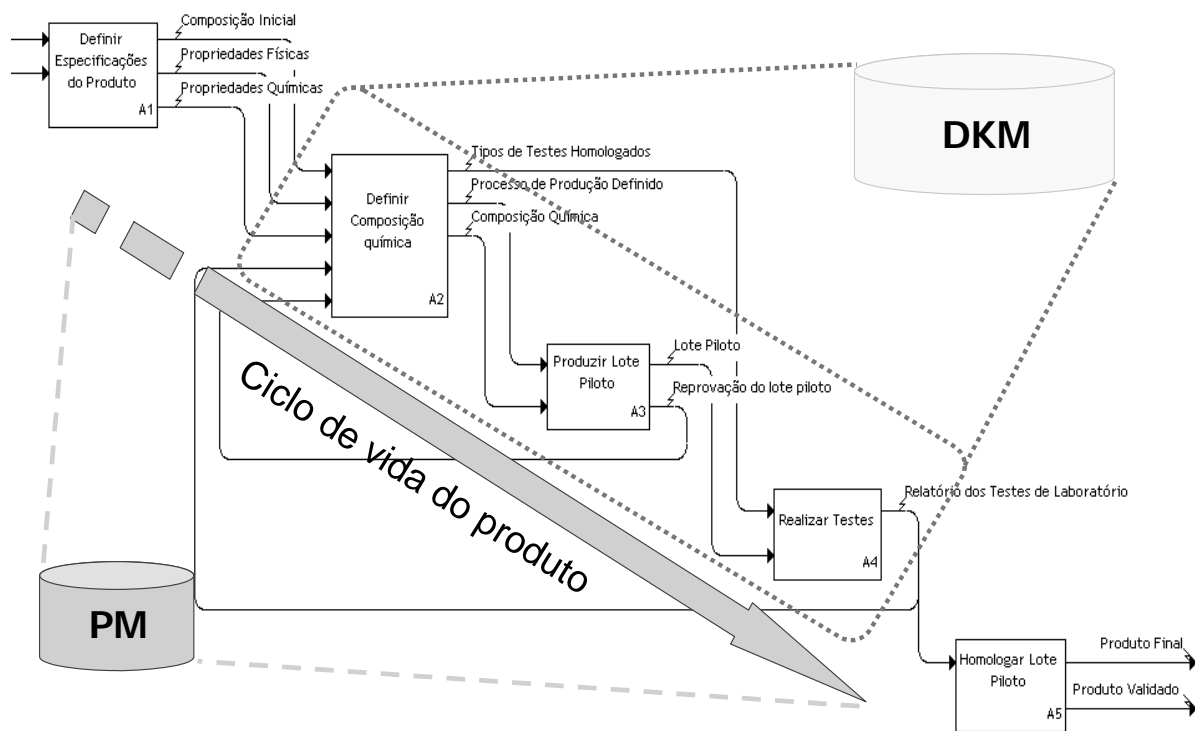


Fig. 2. O processo de desenvolvimento do material de atrito modeladas no IDEF0.

Na seção seguinte serão mostradas as estruturas de dados de cada um dos modelos de informações utilizados para apoiar o processo de armazenamento de I&C, sua recuperação e apoio a decisão nas fases iniciais do projeto de material de atrito. Além disso serão tratados os motivos que conduziram a escolha de uma abordagem de interdependência entre os diferentes modelos de informações.

3. MODELOS DE INFORMAÇÕES APOIANDO A REUTILIZAÇÃO DE I&C

A definição da estrutura de dados dos diferentes modelos de informações, foi realizada considerando uma abordagem orientada à objetos, utilizando-se diagramas de classe com a notação UML (*Unified Modeling Language*) [23]. Através dessa notação o sistema pode ser projetado com consistência e, conseqüentemente, ser compreendido por profissionais de outras áreas permitindo representar um melhor entendimento dos modelos de informações propostos.

3.1. Interdependência entre os modelos de informações

Conforme abordado na seção anterior, dois modelos de informações foram adotados. A Fig. 3 mostra uma representação de ambos os modelos com ênfase em suas interdependência e suas relações com os engenheiros desenvolvedores do produto material de atrito.

Apesar de haver a compatibilidade entre ambos os modelos no que se refere as suas estruturas de dados, o formato destas é diferente em função dos objetivos e funcionalidades de cada um.

O modelo de produto (PM) abrange as informações íntegras e únicas relacionadas a um produto específico, e que são importantes em todas as etapas do seu ciclo de vida. O modelo de conhecimento de projeto (DKM), captura e compartilha as I&C que apoiam uma fase específica do ciclo de vida do produto, ou seja, a etapa de projeto do material de atrito.

Esta abordagem apresenta uma boa flexibilidade, possibilitando que o usuário consiga visualizar o conhecimento gerado e utilizado durante o projeto de um material de atrito específico a partir do modelo do

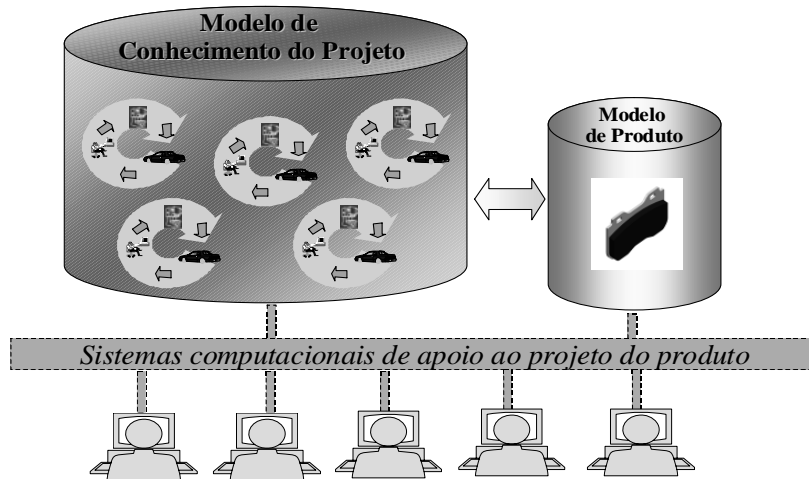


Fig. 3. Interdependência dos modelos de informações.

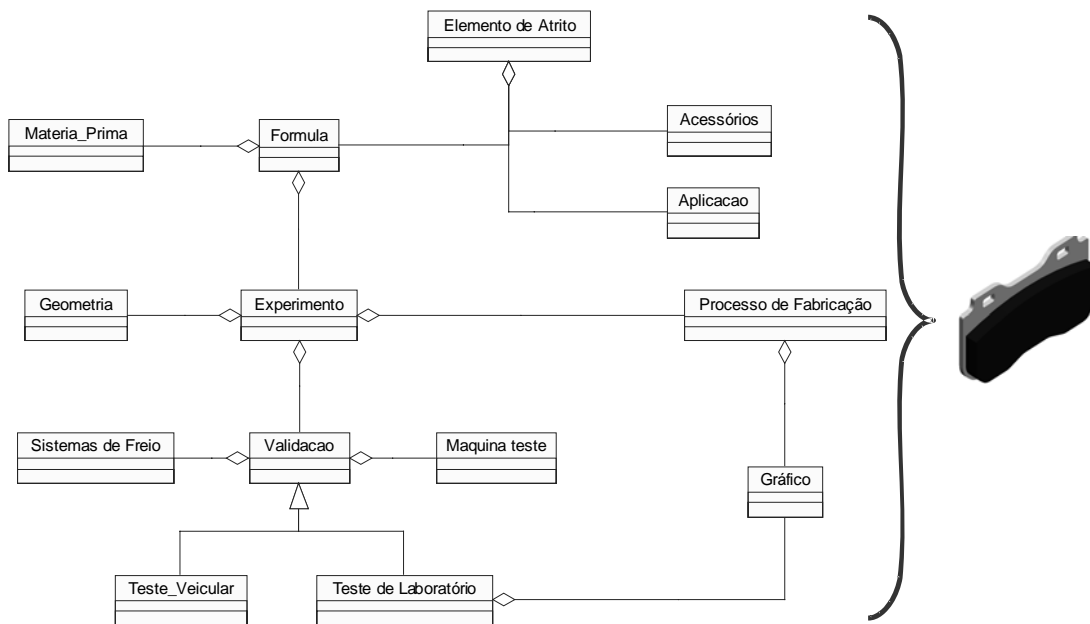


Fig. 4. Estrutura de dados do modelo de produto.

produto, ou visualizar as I&C de um produto específico a partir do seu modelo de conhecimento do projeto.

O uso de dois modelos de informações evita a criação de um modelo monolítico excessivamente grande, que dificultaria a manipulação nas etapas posteriores do ciclo de vida do produto. Outra vantagem refere-se ao fato de que determinadas I&C possuem importância em etapas específicas, não apresentando valor para o processo decisório das demais atividades.

Mesmo assim, a integração das estruturas de dados permite que uma informação ou um conhecimento sejam usados no processo decisório de outra atividade, desde que o usuário tenha permissão para acessá-la. Além disso, mudanças futuras na estrutura de dados de um modelo único poderiam resultar na perda de I&C armazenadas.

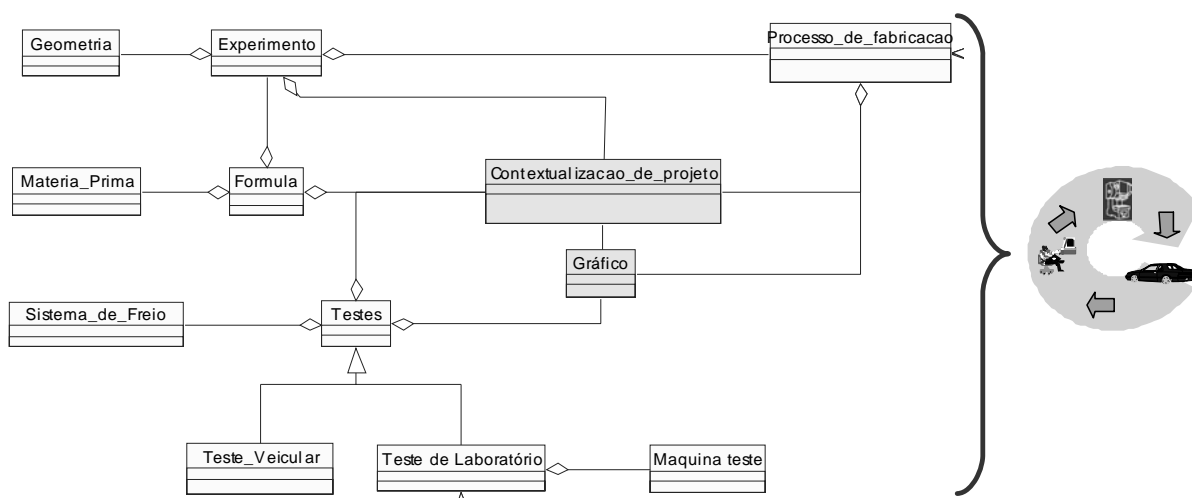


Fig. 5. Estrutura de dados do modelo de conhecimento.

3.2. Estruturas de dados dos modelos de informações

Ao modelo do produto estão vinculados os produtos ditos de sucesso, ou seja, aqueles que serão produzidos em escala comercial. A estrutura de dados deste modelo deve conter conhecimentos e informações abrangentes, relacionadas a um produto específico e que poderão ser usadas no apoio as diferentes fases do ciclo de vida do produto. A Fig. 4, apresenta na notação UML, o diagrama de classe com os objetos que compõe a estrutura de dados do modelo de produto.

O objeto “Elemento de Atrito” encontra-se no nível mais elevado da estrutura, podendo ser exemplificado como uma pastilha de freio utilizada em veículos automotores. Tal objeto, bem como os objetos “Aplicação” e “Acessórios” estão presentes apenas na estrutura do modelo de produto e não no modelo de conhecimento de projeto, pelo fato de possuírem informações importantes ao produto comercial, e não significativas ao seu projeto.

O modelo de produto traz ainda associado a si principalmente as características dos processos de fabricação em escala industrial, bem como o resultado dos testes que garantiram a validação e homologação do produto internamente na empresa, permitindo a liberação de sua produção e posterior comercialização.

Ao modelo de conhecimento de projeto, Fig. 5, estão associadas as I&C geradas durante o processo de projeto do material de atrito, ou seja, o estabelecimento de uma fórmula, a fabricação de um lote piloto e a realização de testes. Uma vez fabricada uma amostra esta é testada sob diferentes métodos e normas gerando diferentes resultados, normalmente expressos através de gráficos, como por exemplo: coeficiente de atrito *versus* desgaste, temperatura *versus* desgaste, entre outros. A análise destes gráficos, por parte do engenheiro químico, permite estabelecer se o material atendeu ou não as especificações de projeto.

A análise dos gráficos, apesar de eficiente, não é puramente objetiva, baseada em fatos, regras ou números, em algumas situações o bom senso e a experiência são fundamentais. Este tipo de situação dificulta a utilização de um sistema KBS para a armazenagem do conhecimento uma vez que não existem regras claras para estas análises, sendo apropriado neste caso o uso da técnica CBR, que permite a avaliação dos casos recuperados como um todo, ou como um ponto de partida.

Na Fig. 5 a classe *Contextualização_de_projeto* tem como objetivo capturar o conhecimento específico associado a cada um dos ciclos de projeto. Através dos atributos desta classe (descrição do problema, solução adotada e resultado) parte do conhecimento implícito do projetista é transformado em explícito e então armazenado, podendo ser reutilizado em projetos futuros.

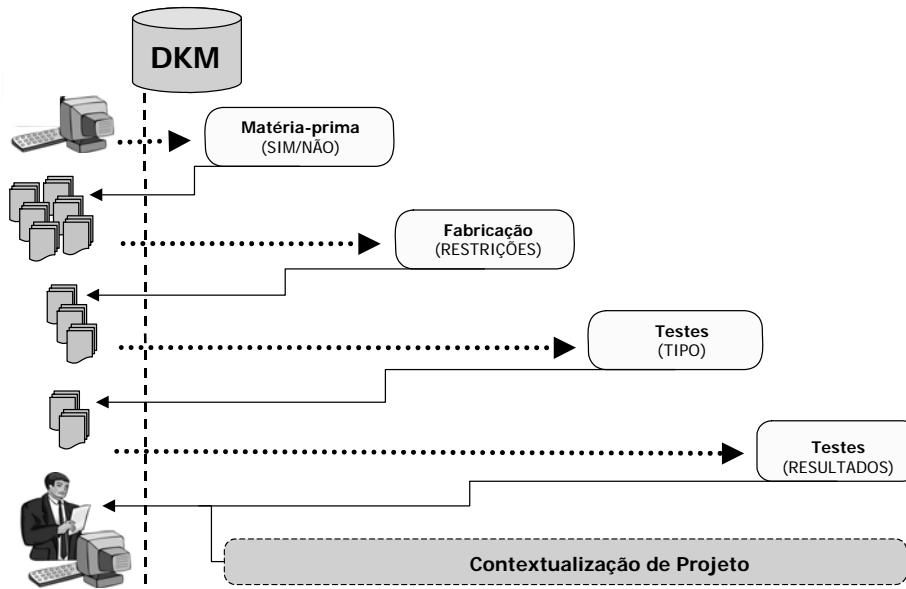


Fig. 6. Parâmetros de recuperação de I&C dos modelos de informações.

Esta situação permite que a reutilização de casos passados na solução de problemas novos, esteja baseada não apenas em valores numéricos ou gráficos, que podem ser interpretados de forma diferente, mas também em argumentos e fatos que apoiaram as tomadas de decisões do projetista. A medida que armazena-se os motivos e as intenções que apoiaram o processo decisório, tem-se informações contextualizadas, ou seja, tem-se armazenado o conhecimento de projeto.

Na seção seguinte, é mostrado que forma e que ferramentas estão sendo usadas para a implementação computacional do conceito proposto.

4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL VISANDO A RECUPERAÇÃO DE I&C

A interação entre o projetista e os modelos de informações está associada à existência de um aplicativo computacional responsável por esta interface. Uma vez definidas as estruturas de dados para os modelos de informações, tanto para o modelo de produto como para o modelo de conhecimento de projeto, é possível inserir I&C referentes à produtos específicos, possibilitando verificar a integridade das estruturas, através de sua recuperação.

O aplicativo deve permitir a recuperação das I&C, armazenadas no modelos de informações, baseada em diferentes parâmetros do material de atrito. Os principais parâmetros de busca estão associados à matéria-prima, à fabricação e ao resultados dos diferentes testes, como mostrado na Fig. 6. Isto ocorre pois a busca varia em função das diferentes pessoas e objetivos envolvidos no projeto e também pelas características do novo de material de atrito a ser desenvolvido.

Cada um dos ciclos de projeto é tratado como um caso, contudo no aplicativo computacional utiliza-se o termo experimento, sendo que cada ciclo é representado pelo atributo número do experimento.

A busca de casos ou experimentos, relacionados a matéria-prima, refere-se a existência ou ausência de uma ou mais matérias-primas específicas, ou seja, o sistema verificará em todas as formulações armazenadas aquelas que contém ou não a matéria-prima desejada, retornando um grupo de experimentos que atendam esta restrição.

Em uma segunda etapa a filtragem dos experimentos pode ser feita considerando restrições associadas aos diferentes processos de fabricação, ou seja, atributos como por exemplo, pressão específica, temperatura, tipo de máquina, entre outros. Estas devem atender as restrições definidas pelo usuário.

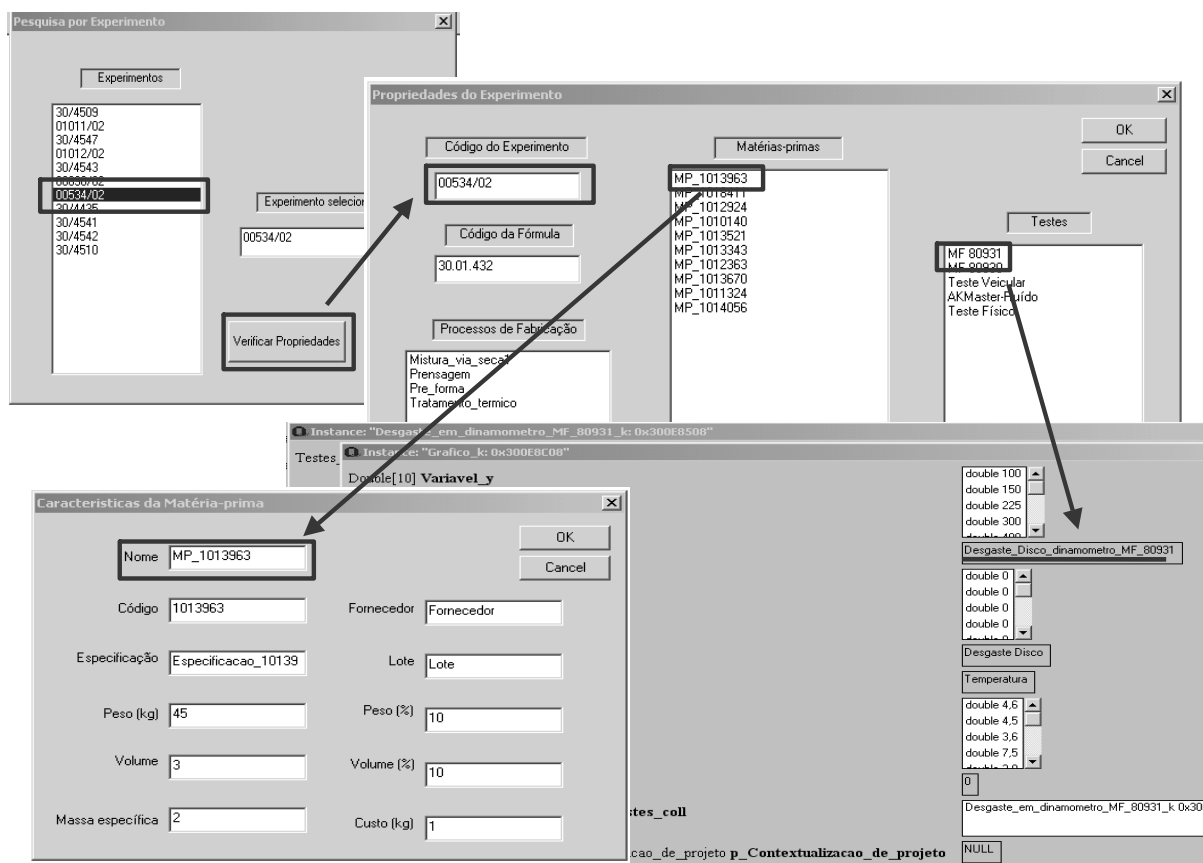


Fig. 7. Navegação no sistema computacional.

Em uma terceira etapa o refinamento da filtragem pode estar associado ao fato de que o material de atrito tenha sido submetido a um determinado teste, cujo resultado, normalmente expresso através de um gráfico deve estar contido dentro de uma variação aceitável.

O resultado de qualquer uma destas etapas pode não satisfazer ao projetista, tendo ele liberdade de refazer sua busca estabelecendo novas restrições. Uma vez concluído o processo de busca o projetista tem a sua disposição uma certa quantidade de experimentos, os quais serão avaliados e poderão ser reutilizados como o ponto de partida para um novo projeto. A avaliação sobre a viabilidade de se utilizar ou não um determinado caso, está associado não apenas aos valores gráficos ou numéricos dos testes, mas também sobre o conteúdo da contextualização de projeto, a qual descreve os motivos pelos quais tal experimento foi aprovado ou rejeitado, e se foi rejeitado que alternativas foram tomadas para buscar um melhor desempenho.

A implementação das estruturas de modelos de informações está sendo realizada utilizando o banco de dados orientado a objetos ObjectStore®, em conjunto com o ambiente de programação Visual C++. Este banco de dados possui um ferramenta, denominada inspector, a qual permite a navegação nos dados armazenados, possibilitando testar a integridade das estruturas propostas e sua interação, mesmo que de modo inicial.

Admitindo que a busca por experimentos, considerando as restrições associadas a matéria-prima, fabricação e testes, tenha como resultado 11 experimentos como mostrado na Fig. 7, tem-se então 11 possíveis pontos de partida, devendo-se escolher aquele que mais se adapta ao novo projeto. A escolha do experimento mais adequado é função das suas propriedades, cabendo ao projetista verificá-las. A primeira propriedade refere-se a formulação usada no experimento e as matérias-primas associadas, sendo que cada matéria-prima possui características específicas àquela formulação, como por exemplo sua especificação, peso e custo, entre outros. Outra propriedade refere-se aos processos de fabricação sendo possível con-

hecer os processos usados e seus parâmetros. Por último, a propriedade testes refere-se aos diferentes tipos realizados para àquele experimento, bem como os resultados destes testes.

Através da análise destas propriedades o projetista pode escolher de forma segura, aquele que mais se adapta as especificações do novo produto, iniciando um novo processo de projeto.

A navegação ou procura no banco de dados pode ser iniciada, bem como concluída, em qualquer uma das classes da estrutura de dados dos modelos de informações, seja ele de produto ou de conhecimento de projeto. A escolha está associada principalmente a necessidade do projetista.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma abordagem para a reutilização das informações e conhecimentos gerados durante o processo de projeto de material de atrito, baseada no uso de modelos de informações em conjunto com a técnica de raciocínio baseado em casos.

O estabelecimento de uma estrutura de dados tanto para o modelo de produto como para o modelo de conhecimento, exigiu o estabelecimento de uma ontologia, evitando que sejam utilizados termos diferentes para uma mesma situação. Isto foi facilitado com o uso de uma abordagem de orientação a objetos.

A separação em dois modelos garante maior flexibilidade e segurança ao sistema, impedindo que seja criado um único modelo com tamanho excessivamente grande, dificultando sua manipulação. Somado a isso, além da facilidade de manipulação, tal separação se justifica pois informações específicas que são importantes para suas respectivas atividades podem ser pouco importantes para outras fases do ciclo de vida do produto.

Para um melhor entendimento das funções e informações envolvidas no processo de desenvolvimento do produto, uma forte interação com os profissionais da empresa foi necessária, sendo utilizadas para isto ferramentas como o IDEF0 e UML.

Trabalhos adicionais devem ser desenvolvidos principalmente no que se refere a possibilidade de recuperação de casos em função da percepção dos engenheiros descrita nos contextos de projeto, sem a necessidade de se estabelecer atributos numéricos para a busca. Além disso, é necessário estudar critérios de descarte de casos que não apresentem contribuição significativa para um novo projeto, minimizando o "tamanho" dos modelos de informações.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Caxias do Sul (UCS), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio financeiro. À FRAS-LE S.A. pelo seu apoio para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] K. T. Ulrich e S. D. Eppinger, *Product Design and Development*, McGraw-Hill, Inc. (1995)
- [2] A.R.Venkatachalam, J.M. Mellichamp e D.M. Miller, "Automating design for manufacturability through expert systems approaches", *Concurrent Engineering - Contemporary Issues and Modern Design Tools*, Chapman & Hall 426-446 (1993)
- [3] W. Hsu, e I.M.Y. Woon, "Current Research in the Conceptual Design of Mechanical Products", *Computer Aided Design*, **30**(5), 377-389 (1998)
- [4] M.Rezayat, "Knowledge-Based Product Development Using XML and KCs", *Computer-Aided Design* **32**, 299-309 (2000)
- [5] S. Sivaloganathan e T.M.M. Shahin, EDC'98 - Engineering Design Conference'98, Design Reuse, Professional Engineering Publishing Ltd., IMechE, London, ISBN 1 86058 132 3 (1998)
- [6] M. A. Luciano, C. A. Costa, P. E. Varante, e G.Pitseys, "Representação de Informações e Conhecimentos para o Apoio ao Projeto de Material de Atrito". *11º Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade* - Congresso SAE Brasil, São Paulo (2002)

- [7] D. M. Elzey; R. Vancheeswaran, S. W. Myers, R. G. McLellan, "Intelligent Selection of Materials for Brake Linings". SAE Congress 2000, 181-191(2000)
- [8] J. Sauer, E. Dimke, "New Developments in the Field of Binders for High-Performance Brake Linings", *5th International Brake Colloquium, Engineering Display*. SAE Brasil, Seção Caxias do Sul, RS (2001)
- [9] J. Fowler, STEP for Data Management, Exchange and Sharing. Ed. Technology Appraisals. London. (1995)
- [10] Goh, S. C. Hui, B. Song, "An Integrated Environment for Product Development Using STEP/EXPRESS". *Computers e Industry* **31**, 305-313 (1996)
- [11] R. Anderl, "Trends in Product Modelling", *11th International Conference on Engineering Design*, Edited by Riitahuhita, Vol. 1, Tampere University of Technology, 113-120, ISBN 951-722-788-4 (1997)
- [12] L. Wang, W. Shen, H. Xie, J. Neelamkavil, A. Pardasani, "Collaborative Conceptual Design – State of the Art and Future Trends". *Computer-Aided Design* **34**, 981-996 (2002)
- [13] A. Molina, T. I. A. Ellis, R. I. M. Young, R. Bell, "Modelling Manufacturing Capability to Support Concurrent Engineering". *Concurrent Engineering: Research and Applications* **3**(1), 29-42 (1995)
- [14] C.A. Costa, "Product Range Models in Injection Mould Tool Design". Thesis of Ph.D., University of Loughborough. (2000)
- [15] C.A. Costa, "A Aplicação da Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para o Suporte ao Projeto de Sistemas Computacionais Dentro de um Modelo de Referência". *Revista Gestão e Produção*, Universidade Federal de São Carlos, **8**(1), 19-36 (2001)
- [16] J.R. Dixon, "Knowledge-Based Systems for Design". *Transactions of the ASME*. 117, 11-16 (1995)
- [17] R. Lee, Y. Chen, C. Lee, "Developmente of a Concurrent Mold Design system: a Knowledge-Based Approach". *Computer Integrated Manufacturing Systems* **10**(4), 287-307 (1997)
- [18] Watson, "Case-Based Reasoning is a Methodology not a Technology". *Knowledge Based Systems* **12**, 303-308 (1999)
- [19] Aamodt, E. Plaza, "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches". *Artificial Inteligence* **7**(1), 39-59 (1994)
- [20] J. Kolodner, Case-Based Reasoning. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. (1993)
- [21] M.L. Maher, A. Gomez de Silva Garza, "Case-Based Reasoning in Design". *IEEE Expert* (March-Abril) 34-41 (1997)
- [22] G.J. Colquhoun, R.W Baines, R. Crossley, "A state of art review of IDEF0", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* **6**(4), 252-264 (1993)
- [23] G. Booch, I. Jacobson, J. Rumbaugh, *The unified modeling language: user guide*, Addison-Wesley, Boston (1999)

DESIGN AND MANUFACTURING OF FRICTION MATERIAL SUPPORTED OF INFORMATION MODELS AND CASE BASED REASONING

Abstract – The product development process usually encompasses a very complex and interdisciplinary environment in which product knowledge and information is seen by different views related with the life-cycle functions. An approach based on information models can provide an integrated view of the product, supporting also product information and knowledge (I&K) reuse acquired in previous development processes. This paper proposes the use of an additional information and knowledge models to support the capture and reuse of I&K within a brake system friction material development environment. In this kind of product the design process is focused on the composite material formulation along with the manufacture process parameters. Two information models are proposed: the Brake Friction Material Product Model, which captures information about a specific product and the Friction Material Design Knowledge Model, which captures design and manufacturing information and knowledge history generated throughout the time. For the representation of the information models object oriented technology has been used and Case Based Reasoning was proposed for supporting the I&K retrieving. A real case in a Brazilian brake lining manufacturer is being used to explore the research concepts.

Keywords – Information models, brake system, friction material, information and knowledge reuse.