

Gestão de Equipes Multidisciplinares para a Inovação de Produtos de Higiene Oral a partir de Polímeros Biodegradáveis

Ana Paula Testa Pezzin (UNIVILLE) paulapezzin@univille.edu.br
Heloisa Pinna Bernardo (UNIVILLE) heloisabernardo@hotmail.com
Ivone Manske (UNIVILLE) imanske@univille.edu.br
Ivan Medeiros (UNIVILLE) design@univille.edu.br
João Eduardo Chagas Sobral (UNIVILLE) Sobral41@terra.com.br
Marli Teresinha Everling (UNIVILLE) marli.teresinha@univille.net
Palova Santos Balzer (UNIVILLE) palova@terra.com.br
Priscila Valente (UNIVILLE) pri@netvision.com.br
Rosângela Canônica (UNIVILLE) rcanoni@yahoo.com.br

Resumo

O artigo que aqui se apresenta visa relatar os desafios e contribuições de uma equipe multidisciplinar que visa a inovação integrando tecnologias de materiais, de design e de gestão da produção para o desenvolvimento de produtos de higiene oral a partir de polímeros biodegradáveis.

Palavras chave: Gestão da produção, Engenharia de materiais, Design e escova dental.

1. Introdução

Desde o início do século passado, o uso de polímeros tem se tornado cada vez mais freqüente na sociedade. Basta olhar ao redor para se perceber a incrível quantidade de artefatos produzidos pelo homem que utilizam materiais poliméricos como matéria-prima (FILHO *et al.*, 2001). Infelizmente, estas mesmas qualidades os transformam em um grande problema ambiental. A maior parte destes artefatos é descartada muito rapidamente, gerando um sério impacto ambiental, pois os polímeros convencionais levam cerca de meio século para serem degradados. Somente na cidade de Joinville, recolhe-se diariamente 600 toneladas de lixo, sendo que essa produção cresce 6 % ao ano. A quantidade de lixo plástico é estimada em cerca de 30 % deste valor (FORMOLO *et al.*, 2003). Alternativamente, os polímeros biodegradáveis vêm despertando grande interesse, pois possuem propriedades similares aos plásticos convencionais (de origem petroquímica), além da vantagem de serem degradados no solo pela ação de microrganismos em poucos meses, sendo totalmente transformados em água e gás carbônico.

O grupo de pesquisa em 'Materiais poliméricos' vinculado à Universidade da Região de Joinville com o apoio do CNPq vem pesquisando e sintetizando a classe de polímeros bacterianos denominada polihidroxialcanoatos (PHAs), que são produzidos e acumulados como reserva de energia por inúmeras bactérias, na forma de grânulos localizados no interior das células (FORMOLO *et al.*, 2003). Com o avanço da pesquisa, a partir de 2003, pesquisadores das áreas do design, da engenharia de materiais e da Gestão da produção passaram a integrar a equipe com o objetivo de (1) identificar produtos já existentes, ou concebíveis, cujos materiais fossem substituíveis por polímeros biodegradáveis, (2) desenvolver o produto selecionado a partir do levantamento realizado e identificar a blenda (mistura de polímeros) apropriada aos requisitos do produto, e, (3) estudar a viabilidade de produção em escala industrial. Essa parceria originou o projeto 'A Contribuição do Design'

para a Inovação de Produtos Ambientalmente Amigáveis a partir de Polímeros Biodegradáveis’ financiado com recursos da Univille.

Com os objetivos atingidos, em 2004 o projeto atingiu sua segunda fase recebendo o título de “A Contribuição do Design para a Inovação de Produtos de Higiene Oral a partir de Polímeros Biodegradáveis” e apoio da FUNCITEC (Fundação da Ciência e Tecnologia do Estado de Santa Catarina). Nesta fase, ainda em andamento, estabeleceu-se como objetivos: (1) desenvolver o projeto e o modelo da escova dental (que foi identificada como produto ideal para a investigação), (2) modificar as propriedades dos polímeros biodegradáveis existentes para atender as especificações do modelo de escova dental proposto, (3) estudar a viabilidade de produção em escala industrial, e, (4) conduzir o processo de registro de patente do material polimérico e o registro de desenho-industrial da escova dental

Para atingir estes objetivos, além do relacionamento interdisciplinar de pesquisadores e estagiários vinculados as três áreas distintas de conhecimento e da necessidade de atender às exigências dos órgãos de fomento e das instituições às quais o projeto está vinculado, o estudo provocou ainda contatos com indústrias de produtos de higiene oral e escritórios de marcas e patentes. Esta ‘rede’ de intra e inter-relacionamentos logo evidenciou que o grande desafio para o sucesso da proposta seria a comunicação.

Os pesquisadores de cada área verbalizavam conceitos e interpretavam as informações apresentadas a partir de modelos mentais característicos de suas áreas que, naturalmente divergiam dos modelos mentais que os demais traziam em suas mentes. Esse fato, que nem sempre está claro entre membros de equipes multidisciplinares, para Senge (1990) é tão importante que considera ‘modelos mentais’ uma das cinco disciplinas sobre as quais se organizam os princípios de gestão do conhecimento.

A partir de modelos mentais tão variados os profissionais de cada área possuíam vocabulário próprio, metodologias específicas e, repertório e foco particulares. A palavra ‘plásticos’ por exemplo, provocava entre os pesquisadores da engenharia de materiais associações vinculadas à ‘composição’ e as ‘propriedades’ destes; já na fala dos profissionais e estagiários do *Design* o mesmo termo evocava palavras como ‘textura e plasticidade’, ‘comportamento de pigmentos’, ‘dureza e maciez do material’, enquanto que, entre os membros da equipe da gestão da produção a menção de tal material logo suscitava preocupações com a possibilidade de injeção e a viabilidade de custos.

Diante deste quadro, sentiu-se a necessidade de capacitar os membros da equipe para compreender a linguagem e as preocupações das outras áreas envolvidas. Esse processo ocorreu por meio de reuniões semanais e da troca de bibliografias. As reuniões semanais serviam ainda para atualizar toda equipe sobre a fase em que se encontrava cada participante e readequar o foco e o método de trabalho de cada área para a próxima etapa. Frente a estas questões, esse artigo visa relatar o método de trabalho de cada equipe e os desafios enfrentados para sincronizar etapas de trabalho de cada área.

2. O Caráter Multidisciplinar da Equipe.

No início do projeto, em 2003, a equipe era composta de três pesquisadores da área de Design, dois da área de Engenharia de Materiais, um estagiário bolsista e dois estagiários voluntários. Os membros das equipes de todas as áreas (incluindo os dois bolsistas) se reuniam semanalmente para traçar diretrizes de trabalho para a semana. Durante os primeiros dois meses estes encontros consistiam basicamente em trocas de sugestões de literatura entre as áreas, esclarecimentos sobre termos de cada área, e, discussões, levantamentos e análises para identificar o produto ideal, sob a perspectiva das três áreas, a ser confeccionado em

polímeros biodegradáveis. A escova dental foi escolhida por atender a requisitos das 3 áreas de conhecimento envolvidas no projeto e por atender a critérios ambientais.

A partir da definição do produto, as três equipes de suporte ao projeto - design, engenharia de materiais e gestão de produção - re-orientaram os seus estudos para o desenvolvimento da escova dental: a) o design para a definição do público-alvo, geração do conceito e a elaboração de alternativas; b) a engenharia de materiais para o estudo de misturas poliméricas que pudessem substituir polímeros tradicionais atendendo às características sugeridas pela equipe do design, c) a equipe de gestão da produção com o estudo do ciclo de vida com base nos parâmetros das normas ISO 14000 e a verificação dos impactos ambientais do processo.

Os bolsistas, além dos encontros semanais com a equipe do design também agendavam reuniões com pesquisadores de áreas específicas para discutir pontos vitais para o projeto. Ressalta-se que durante o período de projeção da escova-dental, a participação das equipes de engenharia de materiais e Gestão da produção, além de reuniões com cirurgiões dentistas e periodontistas, foi essencial para que a proposta fosse viável. Entretanto, foi também uma fase que exigiu paciência destas equipes, pois elas dependiam da definição de características e requisitos da escova dental em desenvolvimento.

Com a proposta da escova dental concluída, a participação destas equipes passou para o primeiro plano. Nesta etapa buscou-se analisar a alternativa gerada como um todo e se discutiu se todo o produto seria projetado em material polimérico biodegradável, ou, apenas parte dele. Por meio de pesquisas, a equipe levantou os requisitos de materiais que cada parte da escova deveria atender definiu-se que apenas o corpo da escova dental seria projetado com o biopolímero. O passo seguinte foi a preparação de algumas misturas poliméricas, denominadas de blendas. Estas misturas foram caracterizadas quanto às propriedades mecânicas com o objetivo de selecionar um material que atendesse às especificações exigidas para uma escova dental. O biopolímero (PHB) foi escolhido com base nas propriedades do material plástico empregado atualmente no produto (polipropileno).

Em 2004 o projeto entrou em uma nova fase com foco na patente, no registro de desenho industrial e em testes de produção. Nesta nova fase os estagiários foram substituídos e o contato com indústrias de produtos voltadas para a higiene oral e escritórios de marcas e patentes tornou-se mais intenso. Neste ano também foi encaminhado um projeto com o objetivo de investigar a reação de bactérias da flora oral com o material escolhido para a confecção da escova dental, que foi aprovado e iniciou-se em março de 2005.

3. Metodologia de trabalho, Desafios e Contribuições da Equipe do Design

As atividades da equipe do design podem ser divididas em duas fases. A primeira fase conduzida em 2003 compreendeu a concepção, análise e desenvolvimento de uma alternativa viável de escova-dental e contou com a participação de dois bolsistas do design e uma voluntária que deixaram o projeto ao final desta fase devido a formatura. A segunda fase, conduzida em 2004 focalizou a avaliação do modelo proposto e o registro de desenho industrial e contou com a participação de duas estagiárias bolsistas além de uma estagiária voluntária. A transição das equipes de estagiários ocorreu através de uma reunião, com os novos estagiários, onde foi compartilhada toda a trajetória do projeto, desde a coleta de dados, passando por gerações de alternativas, estudos de usabilidade, anseios e dúvidas.

As reuniões entre a equipe do design continuaram mantendo a frequência semanal mas, ao contrário do ano anterior, todos os estagiários trabalharam de forma integrada, com a socialização dos conteúdos sendo feita também por meio eletrônico. Este fato está ligado a outro princípio da gestão do conhecimento: o 'Princípio da Cultura do Compartilhamento'. Este princípio está relacionado ao modo como os membros encaram a necessidade de

compartilhar o conhecimento. Conforme Ferrari (2001), com este princípio busca-se a alteração da idéia “Quem detém o conhecimento, tem o poder” para “quem compartilha o conhecimento, detém o poder”.

4. Metodologia de trabalho, Desafios e Contribuições da Equipe de Engenharia de Materiais

No início da primeira fase do projeto a equipe da engenharia de materiais discutiu com as outras equipes características que as blendas a serem obtidas para a confecção da escova dental deveriam apresentar. Na segunda fase, com alternativa gerada, buscou-se analisá-la como um todo, para identificar se todo o produto deveria ser projetado em material polimérico biodegradável, ou apenas parte da escova-dental. Com as pesquisas, a equipe levantou os requisitos de materiais que cada parte da escova deveria atender e foi definido que apenas o corpo da escova dental seria projetado com o biopolímero. O passo seguinte foi a preparação de algumas misturas poliméricas, denominadas de blendas. Estas misturas foram caracterizadas quanto às propriedades mecânicas com o objetivo de selecionar um material que atendessem às especificações exigidas para uma escova dental. O biopolímero (PHB) escolhido foi com base nas propriedades do material plástico empregado atualmente no produto (polipropileno). Foi necessário ainda obter blendas de PHB, e desta forma optou-se pela blenda que mais se aproximou das propriedades de origem.

Para conduzir o processo foram realizados ensaios mecânicos dos materiais processados, e ensaios mecânicos de resistência à tração que serão relatados a seguir:

Ensaio mecânicos dos materiais processados

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma ISSO 572 na máquina Universal de Ensaios Kratos com célula de carga de 5000 Kgf e a 50 mm/min e o comprimento útil de 50.00 mm. Para obtenção dos valores médios e a estimativa do desvio padrão experimental da resistência à tração ($\delta_{m\acute{a}x}$), deformação na ruptura (DR) e módulo de elasticidade (E), os ensaios foram realizados com 8 corpos de prova para o P(3HB) e com 4 corpos de prova para a blenda P(3HB)/PCL (70/30).

Os cabos das escovas são geralmente constituídos de polipropileno (PP), polímero derivado do petróleo com lenta degradabilidade. Como as escovas dentais são produtos de rápida descartabilidade, o acúmulo destes materiais em aterros sanitários, que já estão saturados de resíduos plásticos, dificulta a circulação de líquidos e gases e retarda a estabilização da matéria orgânica, gerando sério impacto ambiental (Formolo et al., 2003).

O P(3HB) e o PP possuem propriedades similares. Ambos os polímeros fundem a temperaturas muito próximas, 180°C para o P(3HB) e 174°C para o PP. Os valores de temperatura de transição vítrea (T_g) dos dois polímeros indicam que o PP, por possuir $T_g = -17^\circ\text{C}$, mostra-se como mais flexível que o P(3HB) ($T_g = 5^\circ\text{C}$). A maior flexibilidade do PP em relação ao P(3HB) é confirmada através do módulo de elasticidade do PP (1700 MPa), que é bem inferior ao do P(3HB) (3500 MPa). Ambos os polímeros apresentam alto grau de cristalinidade (Formolo et al., 2003).

Ensaio mecânicos de resistência à tração

Nos ensaios de resistência à tração realizados no P(3HB) injetado, a resistência à tração máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$) foi de 24,53 ($\pm 0,77$) MPa, a deformação na ruptura foi igual a 17,68 % ($\pm 1,89$) e o módulo de elasticidade (E) igual a 3820,0 ($\pm 0,0644$) MPa. Estes valores estão de acordo com os valores encontrados por Gomes & Bueno Netto (1997). Rosa e colaboradores (2001) encontraram valores de resistência à tração muito próximos aos encontrados neste ensaio, porém o módulo de elasticidade foi bem superior, o que também pode estar relacionado com diferenças na massa molar e na cristalinidade do P(3HB). A dificuldade em se comparar com a literatura é pelo fato que na grande maioria, o P(3HB) é preparado por

evaporação de solvente ou moldado por compressão, apresentando valores de módulos de elasticidade inferiores (cerca de 1,5 GPa) (Kumagai & Doi, 1992).

A blenda P(3HB)/PCL (70/30) apresentou resistência à tração máxima ($\sigma_{\text{máx}}$) igual a 21,88 ($\pm 0,40$) MPa, deformação na ruptura de 86,72 % ($\pm 19,97$) e módulo de elasticidade (E) igual a 2170 ($\pm 0,25$) MPa. Comparando-se as propriedades do P(3HB) injetado com a blenda, percebe-se que a blenda apresenta uma diminuição de 10,8 % na resistência à tração e 43,2 % no módulo, além de um aumento muito acentuado na deformação na ruptura de 79,62 %.

De acordo com os resultados, pode-se verificar que o PCL abaixou o módulo de elasticidade, diminuindo a rigidez do material. Isto foi verificado também por Gassner & Owen (1994) para as blendas P(3HB)/PCL (60/40) obtidas por moldagem por compressão, que afirmaram que esta diminuição no módulo é resultado da ação plastificante do PCL e que o polímero também auxilia na processabilidade da blenda.

O P(3HB) injetado mostrou a resistência à tração e módulo de elasticidade de um material rígido, enquanto as blendas de P(3HB)/PCL (70/30) injetadas apresentaram menor módulo de elasticidade, diminuindo a rigidez do material, o que comprova a ação plastificante do PCL. Estas características são apropriadas para diversos campos de aplicações, onde uma das exigências é o tempo de vida útil do produto. A composição polimérica sugerida para a confecção dos cabos das escovas dentais foi a blenda de P(3HB)/PCL (70/30). Como continuidade deste trabalho, o estudo da degradação da blenda com a saliva deve ser realizado.

4. Desafios no relacionamento da equipe com empresas externas

Os pesquisadores da área de Gestão da Produção estão encontrando os maiores desafios no relacionamento com equipes externas a instituição. Para viabilizar os testes de injeção dos polímeros contatou-se empresas da região que trabalham com produtos de higiene oral e buscou-se sedimentar parcerias para testar a blenda obtida em uma escova comercial com o intuito de verificar as propriedades do produto. O desafio está sendo conciliar a rotina de convênios de diferentes instituições para viabilizar a parceria. Esta fase ainda está em andamento e está exigindo o envolvimento dos pesquisadores e do representante das empresas no sentido de mobilizar as instâncias internas para a importância da parceria.

A relação com escritórios de assessoria ao registro da propriedade industrial já está em andamento. O objetivo da parceria é viabilizar o processo de registro de proteção da forma plástica ornamental, junto ao Instituto Nacional de Patentes Industriais (INPI) e ainda registrar uma patente de invenção para proteção do polímero biodegradável utilizado para a obtenção do produto destinado a higiene oral. Para isso, contou-se com uma empresa especializada que está prestando consultoria à equipe, capacitando os estagiários para o processo de Registro de Patentes. Semanalmente, um membro desta empresa participa das reuniões orientando o processo de redação do registro de desenho industrial e da patente de invenção que se pretende registrar. Para isso, ele faz uso de exemplos e troca de e-mails com os membros da equipe.

6. Conclusão

O projeto iniciado em 2003 está ainda em fase de andamento e deverá ser concluído ao final de 2005. Assim, os membros da equipe ainda se defrontarão com novos impasses e desafios que exigirão avaliação e reflexão diante deles. Percebê-los parece ser fundamental para que se possa lidar com eles e solucioná-los. Mas para que se possa solucionar impasses e superar desafios, a equipe percebe que o mecanismo essencial é a comunicação, e aprendizagem informal dos conceitos das áreas que se complementam no projeto para que se possa sintonizar interpretações produzidas por mapas mentais tão divergentes. Esse fato que se tornou claro no relacionamento inter e intra-equipes, se revelou no relacionamento com periodontistas, com indústrias, na

parceira com o escritório de marcas e patentes e, muito provavelmente se evidenciará no relacionamento com a equipe que visa de investigar a reação de bactérias da flora oral com o material escolhido para a confecção da escova dental.

Agradecimentos

Ao Fundo de Apoio a Pesquisa – FAP/UNIVILLE, à FUNCITEC, entidades financiadoras do projeto.

Referências

- BÜRDEK, Bernhard. *Diseño*. Barcelona : Gustavo Gili, 1994.
- BRAUNEGG, G.; LEFBVRE, G.; GENSER, K. F.; *Journal of Biotechnology*, v.65, p.127-61,1998.
- BYROM, D. Polymer synthesis by microorganisms; technology and economics. *Trends Biotechnol.* 5: 246-250, 1987.
- CASARIN, S.A.; BELEM, L. P.; MALMONGE, S. M.; Blendas de polietileno - polihidróxialcanoatos In: 6 Congresso Brasileiro de Polímeros, 2001, Gramado. *Anais do 6 CBPol.* , 2001.
- FILHO, R.P., ROSA, D.S., CHUI, Q.S.H., AGNELLI, J.A.M. Avaliação da biodegradação de PHB, PHB-V e PCL em solo compostado. In: *6º Congresso Brasileiro de Polímeros*, 2001. Anais. Belo Horizonte.
- FORMOLO, M. C., DUARTE, M. A. T., SCHNEIDER, A. L., FURLAN, S. A., PEZZIN, A. P. T. Polihidroxialcanoatos: biopoliésteres produzidos a partir de fontes renováveis. *Revista Saúde e Ambiente*. Joinville: , v.4, n.2, 2003.
- GASSNER, F.; OWEN, A. J.; *Physical properties of poly(β-hydroxybutyrate)-poly(ε-caprolactone) blends*, Polymer Report, v. 35, p. 2233-2236, 1994.
- GOMES, J. G. C. & BUENO NETTO, C.L. *Produção de plásticos biodegradáveis por bactérias*. *Revista Brasileira de Eng. Química*. 17: 24-29, 1997.
- KUMAGAI, Y.; DOI, Y.; Enzymatic degradation and morphologies of binary blends of microbial poly(3-hydroxybutyrate) with poly(ε-caprolactone), poly(1,4 – butylenes adipate and poly(vinyl acetate), *Polymer degradation and Stability*, Elsevier Science ,v. 36, p.241-248, 2002.
- PACHEKOSKI, W. M., AGNELLI, J. A. M.; ROSA, D. S.; ROSÁRIO, F. Envelhecimento em solo de amostras de PHB e da mistura PHB/PP (90/10), *Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímero*, p.1264-1266, 2001.
- REHM, H. J., REED, G. *Biotechnology*. v.6 Weinheim: VCH, 1988.
- SANTOS, C. E. O., RODRIGUES, T. C., ROSA, D.S., CALIL, M. R. O efeito da irradiação UV – B na biodegradação dos polímeros PCL e PHB. In: *6º Congresso Brasileiro de Polímeros*, 2001. Anais. Belo Horizonte.
- SENGE, Peter. *A Quinta Disciplina*. São Paulo : Editora Best seller. 1990.
- VOGELSANGER, N.; FORMOLO, M. C.; PIRES, A. T. N.; FURLAN, S. A.; SCHNEIDER, A. L.; DUEK, E. A. R.; PEZZIN, A. P. T.; Blendas biodegradáveis de P(3HB)/ PCL para aplicação como filmes para agricultura. In: *X Encontro de Química da Região Sul*, 2001. Anais. Joinville.
- VOGELSANGER, N.; FORMOLO, M. C.; PEZZIN, A. P. T.; SHNEIDER, A. L. S.; FURLAN, S. A.; BERNARDO, H. P.; PEZZIN, S. H., PIRES, A. T. N.; DUEK E. A. R. *Materials Research*, 6:359-365, 2003.
- WILLIAMS, S.F.; MARTIN, D.P.; HOROWITZ, D.M.; PEOPLES, O.P. *Int. J. Biol. Macromol.*, 25, 111. 1999.