

INCORPORAÇÃO DE BIOCIDA EM POLIPROPILENO

Erik William Moura

Centro Universitário Padre Anchieta

Flávio Gramolelli Júnior

Centro Universitário Padre Anchieta

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar e testar o desempenho da incorporação de um agente antimicrobiano em resina de polipropileno para a injeção de peças plásticas. Foram realizados testes para a verificação da ação de um agente microbicida capaz de inibir a ação de bactérias e fungos em materiais plásticos. As principais etapas deste trabalho foram as incorporações do biocida em polipropileno, extrusão e granulação do polímero, testes físicos e microbiológicos. Os resultados deste estudo demonstram um efeito positivo na inibição do crescimento de bactérias e também um aumento na resistência do material.

Palavras-chave: Polipropileno. Agentes biológicos degradadores. Biocidas.

Abstract

The objective of this paper was to study and test the entry of an antimicrobial agent in the polypropylene resin for the injection of plastic parts. Tests have been performed to check the action of a microbicide agent capable of inhibiting the action of bacteria and fungi in plastics. The main stages of this work involved the entry of the biocide in polypropylene, extrusion and granulation of the polymer, physical and microbiological tests. The results of this study have shown a positive effect in inhibiting the growth of bacteria and also in increasing the strength of the material.

Keywords: Polypropylene. Biological agents. Biocide.

1 – INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros para as mais diversas finalidades induz à busca de novos compostos que possam aumentar o tempo de vida útil do produto. Dos agentes degradadores, os biológicos também são de grande importância econômica.

Um bom conservante antimicrobiano deve ser tóxico ao ataque de agentes biológicos, mas não para homens ou animais. Quando incorporados nos materiais poliméricos, os biocidas devem ter ação inibidora e letal contra agentes deterioradores, alta penetrabilidade e facilidade na incorporação, alto

grau de fixação no material, não ser prejudicial às características físicas e mecânicas do polímero, além de apresentar segurança para manipulação.

Os biocidas organosintéticos são substâncias químicas destinadas a eliminar todas as pragas nocivas ao produto que se quer preservar. Porém, devido à alta toxicidade, o uso de biocidas vem crescendo em todo o mundo, provocando sérios problemas para o homem e o meio ambiente.

O polímero por si só não é suscetível à contaminação por bactérias, fungos ou algas, mas sim os componentes de sua formulação. A composição de uma resina polimérica possui nutrientes capazes de alimentar colônias de microorganismos, tais como plastificantes e modificadores de processo, que são moléculas suscetíveis a ataques enzimáticos, já que os microorganismos buscam uma fonte de carbono em alguns ingredientes da fórmula.

Novos biocidas orgânicos vêm sendo desenvolvidos há pouco mais de uma década com o objetivo de substituir os preservantes tóxicos utilizados em materiais. Com isso, justifica-se o estudo da incorporação de biocidas em polipropileno e a avaliação da atividade antimicrobiana de uma nova geração de preservantes produzidos industrialmente.

O mercado de biocidas para plástico se configura em nichos. Os fabricantes dessas especialidades químicas confirmam se tratar de um setor pouco dinâmico e marcado por pequenos volumes. A falta de informação a respeito dos benefícios do aditivo compromete o seu avanço, assim como a escassez de regulamentações sobre o seu uso. No entanto, nem por isso os produtos são desprovidos de qualidade ou deixam de estar em linha com as tendências apontadas por importantes segmentos, como o de preservantes para tintas. Essa postura se comprova com o desenvolvimento de moléculas mais ambientalmente seguras e de baixa toxicidade.

A preocupação da indústria alimentícia em proteger os alimentos contra bactérias deve ser constante, mas, em muitos casos, fica restrita à etapa do processamento. Nesses casos, quando os alimentos passam para os baús frigoríficos dos caminhões, acabam por ficar sem a devida precaução, comprometendo a “qualidade microbiológica” e a proteção do alimento.

Outro mercado que está órfão de produtos dessa qualidade é o mercado chamado de linha branca, onde estão inseridos os fabricantes de geladeiras, fogões, entre outros. Nesse mercado é usado um grande volume de PP, e até o momento não há informações sobre o desenvolvimento de produtos para esta linha, podendo ser citados alguns pontos de ação microbiana, como o coletor de água de degelo dos refrigeradores, onde, com umidade e temperatura ideal para a proliferação de fungos e bactérias, estas entopem os coletores fazendo com que essa água passe a escorrer para outras partes do refrigerador.

2 – OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

- Testar e avaliar procedimentos de incorporação de biocidas em polipropileno;
- Avaliar a atividade antimicrobiana de um biocida incorporado em material polimérico;
- Avaliar propriedades físicas de um PP com biocida incorporado.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Polipropileno

O polipropileno (PP) é um dos termoplásticos cujo volume mais cresce atualmente no mundo. O PP apresenta baixo custo e propriedades adequadas a produtos industriais e de consumo, é um material leve, flexível, de excelente resistência química e alta temperatura de fusão. Essas propriedades contribuem para sua extensa gama de aplicações (MANO, 1991).

Hoje em dia o polipropileno está sendo qualificado entre um plástico de grande consumo e um plástico de engenharia, ao lado da resina ABS. Estudos apontam que $\frac{1}{4}$ do polipropileno é utilizado em aplicações técnicas.

Existe um conjunto de três tipos de PP: homopolímeros, copolímeros randômicos e copolímeros heterofásicos, com índice de fluidez podendo variar entre 0.6 a 100g/10 min (MICHAELI, 2005).

Os homopolímeros são produzidos pela polimerização única do propeno. Os homopolímeros apresentam alta isotacicidade, por conseguinte elevada cristalinidade, alta rigidez, dureza e resistência ao calor (CALLISTER, 2006).

Os copolímeros randômicos são obtidos quando se adiciona ao propeno um segundo monômero (normalmente eteno) no reator. As moléculas de eteno são inseridas aleatoriamente, o que reduz a cristalinidade do material. Por este motivo, os copolímeros randômicos apresentam maior transparência, menor temperatura de fusão e são mais resistentes ao impacto à temperatura ambiente que os homopolímeros.

Os copolímeros heterofásicos (muitas vezes também chamados de copolímeros de impacto ou de bloco) são produzidos em dois reatores em série; no primeiro se polimeriza somente o propeno e no segundo uma fase elastomérica composta de propeno e eteno. Por apresentar estas duas fases, os

copolímeros heterofásicos perdem transparência, porém apresentam elevada resistência ao impacto tanto à temperatura ambiente como a baixas temperaturas.

A Tabela 1 apresenta as principais características dos diferentes tipos de polipropilenos. A escolha do tipo mais adequado à aplicação final deve ser baseada no desempenho requerido no uso final, mais do que no método de processamento aplicado. O polipropileno pode ser processado de várias formas; as mais conhecidas são: sopro, injeção e extrusão.

Tabela 1 – Principais características dos diferentes tipos de polipropileno.

Tipo	Rigidez	Transparência	Resistência ao Impacto	
			Temperatura Ambiente	Temperatura Baixa
Homopolímero		  *		
Copolímero Randômico		  *		
Copolímero Heterofásico				

Legenda:  Fraco  Regular  Bom  Muito bom * Para tipos clarificados Fonte: Borealis Brasil

3.2 Biocida

Os biocidas organosintéticos foram popularmente conhecidos como agroquímicos ou defensivos agrícolas. São substâncias químicas naturais ou sintéticas destinadas a eliminar todas as pragas nocivas ao produto que se quer preservar. Surgiram no século XX, na década de 1950, com o aproveitamento das estruturas laboratoriais criadas para produção de compostos químicos durante a 2ª Guerra Mundial, para dizimar o inimigo (MORAGAS; SCHNEIDER, 2003).

O uso de biocidas vem crescendo em todo o mundo, provocando sérios problemas para o homem e o meio ambiente. Muitas são as aplicações desses compostos, que podem ser utilizados principalmente pela agricultura em etapas dos mais diversos cultivos, como tratamento de pré-plantio, tratamentos de pré-emergência das plantas, na pós-emergência e a esterilização do solo. Porém, o uso de biocidas tem sido ampliado na última década e já é incorporado em diversos materiais, como tintas, polímeros, madeiras, alimentos e produtos de higiene pessoal.

Dentre os preservantes normatizados no Brasil pela NBR 8456, e de conhecimento internacional, estão os chamados de hidrossolúveis e óleosolúveis. Os hidrossolúveis (dissolvidos em água) mais comuns são o CCA e o CCB, que asseguram sua eficácia quando aplicados por meio de pressão, utilizando-se uma autoclave.

Entre os oleosos, o mais difundido é o creosoto, um destilado do alcatrão de carvão mineral obtido pela carbonização do carvão betuminoso a alta temperatura, com faixa de ebulição de no mínimo 125°C e começando em torno dos 200°C. Destinado à preservação de madeiras, o cresoto tem baixo custo e uma alta toxicidade a organismos que destroem o material (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006).

Recentemente, os biocidas organosintéticos têm sido complexados com metais para desenvolver a atividade antioxidante e, dessa forma, prevenir a degradação dos materiais a serem preservados.

As questões ambientais e de saúde também têm que ser levadas em conta quando da escolha de um biocida. Por isso, indústrias especializadas na produção e formulação de biocidas têm investido em pesquisa e desenvolvimento de agentes preservantes mais eficazes e menos tóxicos.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção experimental, foram utilizados materiais de primeira qualidade, disponibilizados pelas empresas Borealis Brasil S/A e IPEL Ltda. A formulação do produto foi desenvolvida para dar uma característica de produto de alta qualidade, com alta propriedade mecânica e térmica, para que o produto final possa ser utilizado em uma gama de aplicações, tanto nobre como de baixa exigência.

O polipropileno utilizado foi o H 503, fornecido pela Petroquímica Braskem em forma de peletes, de índice de fluidez de 3,4 g.10 min⁻¹(ASTM D1238, 230 °C E 2,16 kg) e densidade de 0,90 g.cm⁻³. O polímero foi utilizado como fornecido. O biocida fornecido pela empresa Ipel é o FBP - 435 líquido.

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Extrusora dupla-rosca Werner Pfleiderer ZSK 25;
- Dosadoras Brabender;
- Misturadores: Henschel, Orizon;
- Balanças: Marte AC/10K e Ohaus Analytica;
- Banheira para resfriamento do espaguete;
- Bomba de Vácuo;
- Exaustor para Secagem de Espaguete;

- Granulador Rieter;
- Injetora;
- Silo de Homogeneização de Produto Acabado;
- Unidade de Resfriamento da Extrusora;
- Capela de fluxo laminar;
- Incubadora;
- Placas de Petri.

4.1 Misturas obtidas por forma estática

As misturas de PP com biocida foram efetuadas num misturador denominado Henschel com capacidade para no máximo 8 kg e com rotação de 30 a 50rpm. A pesagem das matérias-primas foi executada em duas balanças, AC 10K Marte e Ohaus Analytica, sendo esta última utilizada para pesagem de pigmentos e peróxidos em pequenas quantidades (até 10g).

Foram preparadas executadas duas formulações: com 0,5% e 1% de biocida incorporado em uma massa de 25Kg de polipropileno.

O tempo de mistura foi de quatro minutos com a velocidade do misturador em 35 rpm. Esta condição foi escolhida após uma série de experimentos de incorporação previamente realizados.

4.2 Extrusão e peletização

A preparação dos peletes de PP com biocida incorporado foi efetuada numa extrusora dupla-rosca corotacional, Werner Pfleiderer ZSK 25, com os perfis de temperatura inseridos da seguinte forma: 190°C na zona de alimentação; 200°C na zona de descompressão e degasagem; 205°C-210°C na zona final e cabeçote.

Quando atingido o range das temperaturas, foi iniciada a extrusão, com rotação de 100 rpm para que não houvesse muito atrito do material com a rosca e o canhão da extrusora.

O produto foi produzido via um perfil de espaguete e depois granulado em um granulador denominado Rieter, com espessura de 3 a 4 mm. A Figura 1 apresenta um esquema típico de uma extrusora de espaguetes.

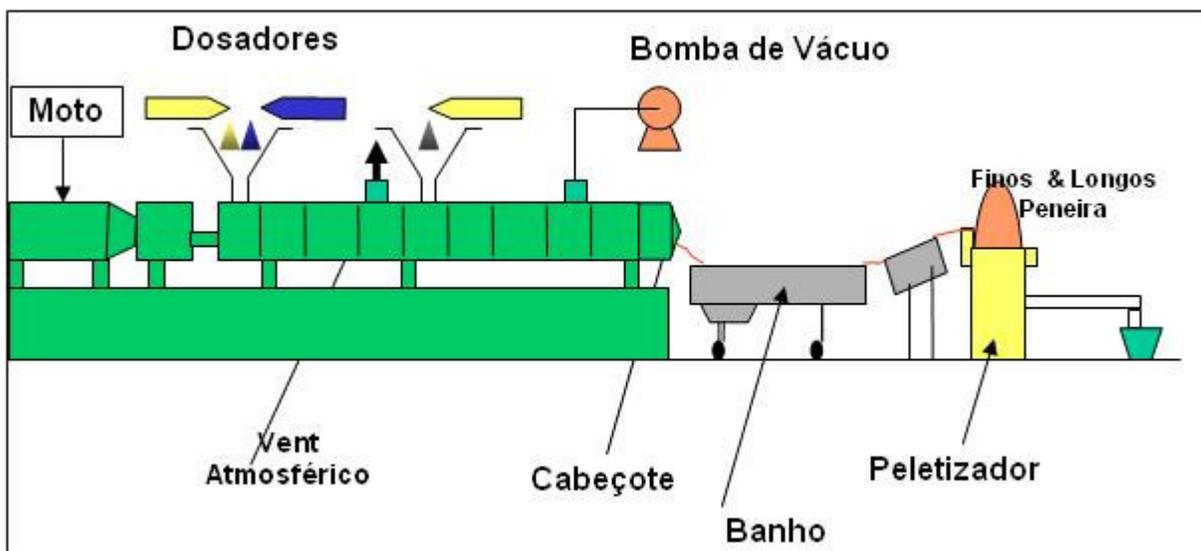


Figura 1 – Esquema típico de uma extrusora de espaguetes.

4.3 Obtenção do corpo de prova para ensaios

Com o biocida incorporado no PP e produto granulado, partiu-se para a obtenção do corpo de prova tipo “gravata” e plaquetas para realização dos ensaios microbiológicos pré-definidos. A Figura 2 apresenta a injetora Battenfeld, modelo plus 35, a 220°C, utilizada no processo. Os corpos de prova para os testes microbiológicos foram padronizados, sendo que todas as amostras tiveram a geometria em forma de esfera, com 40 mm de diâmetro e 03 mm de espessura.



Figura 2 – Injetora Battenfeld usada para obtenção dos corpos de prova.

4.4 Preparação do Meio de Cultura

Os meios de cultura líquidos contêm todos os nutrientes necessários ao crescimento do microrganismo, dissolvidos em água. Uma vez preparado, esse pode ser inoculado com uma cultura pura do microrganismo. Neste trabalho, foi cultivado e incubado o *Aspergillus Niger*. Para averiguar o grau de pureza do inóculo preparado, recorreu-se à transferência de uma amostra do inóculo para a superfície de um meio de cultura sólido com a mesma composição, contido numa placa de Petri.

Os meios de cultura sólidos foram preparados a partir da adição, ao meio líquido correspondente, de um agente solidificante, o Agar, com uma concentração de cerca de 1,5-2% p/v, antes da esterilização do meio. Os meios de cultura podem ainda ter um estado físico intermédio (semi-sólido), que foi obtido por meio da adição de uma quantidade reduzida de agente solidificante (0,3 a 0,5% de Agar). A consistência menos firme destes meios permite a mobilidade de microrganismos que sejam móveis, o qual foi utilizado nos testes deste trabalho.

4.5 Análise microbiana

O procedimento do ensaio microbiológico foi executado de acordo com os padrões laboratoriais, e todas as metodologias de análise foram seguidas passo a passo e acompanhadas pela professora Veronica Cristina Gomes Soares, para que não houvesse nenhuma alteração nos resultados obtidos, devido a erros ocorridos na manipulação do material e preparação dos meios de cultura, desde a preparação do meio mínimo até a aplicação do mesmo com o fungo nas placas de Petri e a aplicação do corpo de prova.

O primeiro passo do ensaio foi aquecer o substrato (Meio Mínimo), para obtenção de uma solução homogênea e líquida. Após a obtenção do líquido, a solução foi resfriada até 45°C e em seguida foi inserido o fungo *Aspergillus Niger*.

Após a inserção do fungo no meio mínimo, a amostra foi diluída em 9 (nove) placas de Petri, e foram inseridos em cada uma os corpos de prova com 0% de Biocida (3 corpos), 0,5% (3 corpos) e 1,0% (3 corpos).

Após a inclusão dos corpos na placa de Petri, as placas foram colocadas na geladeira em temperatura especificada a 20°C para a proliferação do fungo *Aspergillus Niger* (Figura 3).



Figura 3 – Placas de Petri armazenadas para a proliferação do fungo.

Passados sete dias, as placas foram retiradas da incubadora DBO e foi observado o crescimento do fungo e o ataque do mesmo nos corpos de prova. A Figura 4 apresenta os resultados, que foram considerados satisfatórios.

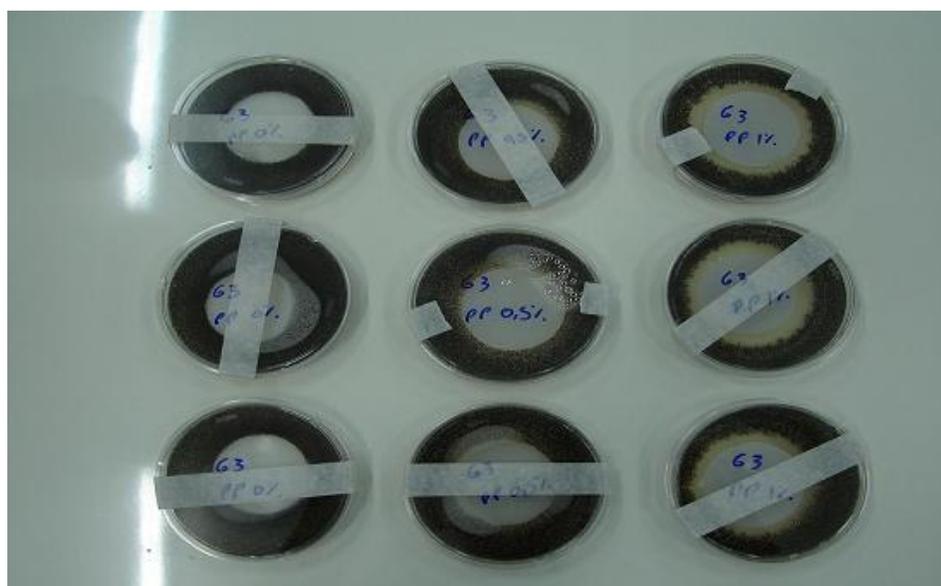


Figura 4 – Placas de Petri após sete dias.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a finalização do trabalho, constatou-se a inibição do crescimento do fungo *Aspergillus Niger* no PP incorporado com biocida, sendo a concentração de 1,0% a que apresentou melhor resultado. A Figura 5 apresenta um esquema da inibição do biocida nos corpos de prova, indicando a

diferença da preservação nos corpos de prova com diferentes concentrações de biocidas incorporados.

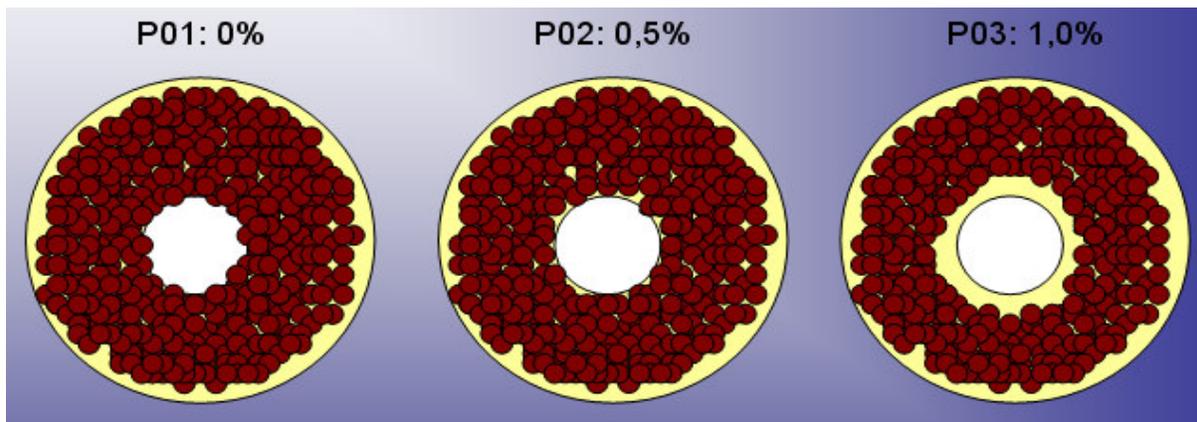


Figura 5 – Apresentação esquemática da inibição do biocida.

Os testes físicos apresentaram pequena redução na resistência ao teste do módulo de flexão. Porém, os testes também apresentaram excelente aumento na resistência ao teste de impacto, cujo valor para o corpo de prova com 1,0% de biocida incorporado é praticamente o triplo do valor para o corpo de prova sem biocida (Figura 6).

 BOREALIS		SKILL CENTER – ITATIBA RELATÓRIO DE SOLICITAÇÃO DE ENSAIO ESPECIAL	
SOLICITANTE: Vagner alves		SEE NÚMERO:	
ÁREA: Produção		ABERTURA:	
CLIENTE:		ENCERRAMENTO:	
AMOSTRAS TESTADAS:		PRAZO:	

OBJETIVO:

DESCRIÇÃO DO ENSAIO: Os ensaios foram realizados conforme NORMA ISO.

RESULTADOS OBTIDOS:

Propriedades Testadas	Condição	Unidade	Método do Teste	PP	PP+0,5%	PP+1,0%
HDT – Método A *	264 Psi	°C	ISO 75	57,1	56,5	55,4
Temperatura de Fusão	20°C/min	°C	ISO 11357-3			
Temperatura de Cristalização	20°C/min	°C	ISO 11357-3			
Izod s/ entalhe	23°C	kJ/m ²	ISO 180	39,4	45,5	99,2
Módulo de Flexão	23°C mm/min	Mpa	ISO 178	1507	1479	1470

Figura 6 – Resultados dos testes físicos.

6 – CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, pode-se constatar a viabilidade da incorporação de biocidas em PP, vislumbrando o desenvolvimento de novos produtos e a substituição de materiais suscetíveis a ataques microbiológicos, sem a redução de propriedade mecânicas desejadas.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, T. J. P.; KANEKO, T. M.; OHARA, M.T. Análise de qualidade microbiana de produtos não estéreis. In: **Controle biológico de qualidade de produtos farmacêuticos, correlatos cosméticos**. São Paulo: Atheneu, p.81-103, 2003.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. Curitiba, 2006.

CALLISTER, W.D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MANO, E.B. Polímeros como Materiais de Engenharia São Paulo: Edgard Blücher. 1991.

MICHAELI, W. Tecnologia dos plásticos 1ed. São Paulo: Ed. E. Blucher. 2005.

MORAGAS, W. M.; SCHNEIDER, M. de O. Biocidas: Suas Propriedades e seu Histórico no Brasil. **Caminhos de Geografia** v.3, n.10, p.26-40, 2003.

ESTUDO DA TROCA TÉRMICA DO MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO ASSÍNCRONO DE CORRENTE ALTERNADA

(STUDY OF THE THERMAL EXCHANGE OF THE THREE-PHASE ELECTRIC ASYNCHRONOUS ALTERNATING CHAIN ENGINE)

J. B. R. S. Lima e A. Cavalli

Centro Universitário Padre Anchieta

hot.reis@hotmail.com

Resumo

O motor elétrico assíncrono trifásico é destinado à transformação de energia elétrica em energia mecânica, e sua importância é vista em diversos segmentos da indústria. Seu desempenho está ligado diretamente às condições de seus componentes, que suportam e transferem a energia perdida em calor. Esta perda foi medida junto ao componente mecânico rolamento, na presença e ausência de seu fluido lubrificante. Tal conhecimento sobre fenômenos físicos de transferência de calor em motores elétricos pode contribuir para o avanço de sua eficiência, pelo correto diagnóstico de manutenção, prevendo e evitando aumento dos custos com falhas mecânicas agregadas a outras.

Palavras-chave: Motor elétrico assíncrono trifásico. Rolamento. Fluido lubrificante.

Abstract

The three-phase asynchronous electric engine is meant for the conversion of electrical energy into mechanical energy, its importance is seen in several industry follow-ups. Its performance is directly linked to the conditions of its components that support and transfer the energy lost in heat. This loss has been measured within the bearing, a mechanical component, in the presence and in the absence of its lubricating fluid. Such knowledge on physical phenomena of heat transference in electric engines can contribute to the advance of its efficiency, to the correct diagnosis of maintenance, foreseeing and preventing cost increase with mechanical failures combined to others.

Keywords: Three-phase asynchronous engine electric. Bearing. Lubricating fluid.

Introdução

As informações aqui apresentadas são baseadas em condições reais de operação de um motor elétrico trifásico assíncrono que trabalha acoplado a uma bomba de transporte de água tratada, que foi submetido a ensaios para qualificar a importância da utilização correta do fluido lubrificante; este último é aplicado ao componente rolamento e tem por finalidade a redução do atrito (entre as suas esferas e entre as pistas de contato) e conseqüentemente a conservação da temperatura em números que não prejudiquem o rendimento do motor.

Atualmente, o motor elétrico é um equipamento essencial para qualquer sociedade que almeje destaque na área tecnológica e industrial, ele que tem por objetivo a transformação de energia elétrica em energia mecânica, sendo este princípio responsável por grande parcela do salto de desenvolvimento da industrialização das nações. O motor elétrico trifásico de corrente alternada é um equipamento de ação rotativa, o qual se subdivide em dois grupos, que são: síncronos e assíncronos. (*Catálogo de motores WEG, 2004*). A característica principal de um motor assíncrono é o fato de ele ter velocidade constante. O motor assíncrono é composto fundamentalmente por duas partes: o estator (corpo indutor) e o rotor (corpo induzido) (*Catálogo de motores WEG, 2004*). Somente o estator é ligado à linha de energia elétrica (quando do tipo gaiola, como neste trabalho); o estator é composto pela carcaça, por chapas de material ferromagnético e pela bobina trifásica; já o rotor é um conjunto de chapas sem isolamento e ligado aos anéis contra curto-circuito. O núcleo de chapas possui uma geometria projetada a fim de diminuir as perdas das interações eletromagnéticas com o ferro, é confeccionado de aço tratado termicamente com o objetivo de melhorar as características magnéticas. A bobina trifásica ou corpo indutor se caracteriza por ter três conjuntos de bobinas para cada fase, formando o circuito pelo qual passa a corrente elétrica. O rotor ou indutor é composto pelo eixo, núcleo chapeado, barras e anéis contra curto-circuito. O eixo de transmissão de energia mecânica tem tratamento para suportar tensões de torção, flexão e fadiga. O núcleo chapeado possui as mesmas características do núcleo do estator. As barras e anéis contra curto-circuito de motores assíncronos tipo gaiola são feitas de alumínio injetado sob pressão em uma peça unitária. As linhas centrais deste indutor formam pólos que estão posicionados a 120° entre eles. Todos os motores elétricos atuais possuem sistema de resfriamento para trabalhar em temperatura definida; tal sistema é composto de ventoinha e aletas; outros ainda podem se utilizar de refrigeração por circuito hidráulico. De forma geral, o motor elétrico trifásico é o equipamento mais comum para diversas aplicações pela sua construção modesta em materiais e número de componentes, pela sua versatilidade e por seu baixo custo.

Os principais mecanismos de transferência de calor em um motor elétrico são a condução e a convecção natural e forçada. Roma⁷ define a condução como o mecanismo de transferência de calor que transfere a energia térmica através de um meio por transferência de energia vibracional das moléculas, isto é, o calor atravessa o meio sem levá-lo consigo. O mesmo autor⁷ define a transferência de calor por convecção como a transferência de energia que é carregada pelo meio, ou seja, a convecção acontece quando o calor é transferido com o auxílio da translação molecular, por exemplo: quando se aquece água em uma panela, o calor passa pela parede de alumínio por condução, enquanto o calor é transferido para a superfície superior da água por convecção, com auxílio das bolhas de vapor de água que possuem menor densidade e maior temperatura que a água líquida. (ROMA, 2003).

O motor é construído de forma a funcionar em regime permanente em uma temperatura máxima inferior à da degradação do verniz isolante dos cabos da bobina. Caso não ocorra a troca térmica entre o motor elétrico e o meio ambiente, a temperatura aumentará até atingir um valor superior ao de degradação do verniz, causando curto-circuito e interrompendo seu funcionamento. Os motores elétricos usam diversos dispositivos para melhorar a taxa de transferência de calor, como é o caso da ventoinha e das aletas. A ventoinha é responsável pelo mecanismo de transferência por convecção forçada, soprando o ar entre as aletas da carcaça, funcionando como um impelidor do fluxo de ar interferente na parede externa do equipamento, sendo projetada contra a tampa protetora e refletora posicionadas na parte externa da carcaça L.O.A. (lado oposto ao acoplamento). As aletas são superfícies estendidas que melhoram a troca de calor aumentando a área de contato entre a carcaça e o meio ambiente, por aumento de área, consegue-se assim maior dissipação do calor, causadas no sistema.

As principais fontes de calor são o efeito Joule, ocasionado pela corrente elétrica da bobina, e o atrito dos rolamentos nos mancais. O atrito mecânico que ocorre nos rolamentos pode ser reduzido utilizando-se óleos lubrificantes que atenuam a interferência deste contato. Segundo Young⁶, “o atrito molhado é sempre menor que o atrito seco entre mesmas superfícies de contato”. (YOUNG, 2003).

As propriedades de maior importância nestes óleos são a viscosidade e a temperatura de degradação (ROMA, 2003). Assim, a escolha da viscosidade deve ser feita levando-se em consideração a temperatura de funcionamento do equipamento. Contudo, com o passar do tempo, o fluido perde sua capacidade lubrificante por evaporação do óleo e pelo surgimento de partículas sólidas dos emulsificantes e aditivos, que são resíduos de carbono não volátil. (BIRD, 2004).

O bom funcionamento do motor depende de o óleo lubrificante ainda possuir suas características originais ou pelo menos na faixa de trabalho especificada pelo seu fabricante. A outra fonte de calor

(efeito Joule) é causada pela corrente elétrica. Segundo Sonntag, num material condutor, “a corrente elétrica é ocasionada por elétrons que pulam da camada de valência para a camada de condução, estes elétrons são denominados elétrons livres”. (SONNTAG, 2003, p. 84-90).

O elétron se desloca por um comprimento denominado livre caminho médio e depois decai para a camada de valência de outro átomo; neste processo, devido à resistividade elétrica do material, a qual é pequena, mas presente em materiais condutores, há um aquecimento do fio. A taxa de geração de calor pela corrente elétrica foi deduzida por Joule e recebeu seu nome. Esta lei relaciona a potência elétrica com a potência térmica; em outras palavras, relaciona a taxa de dissipação de calor devido ao produto da corrente e a diferença de potencial do fio entre dois pontos. Muito pouco se pode fazer para diminuir o calor dissipado desta forma, apenas se pode escolher um material que seja bom condutor elétrico e ventilar sua superfície de modo a diminuir a temperatura da camada de aderência.

A principal perda associada à energia mecânica em motores elétricos trifásicos assíncronos é a dissipação de calor gerado pelo atrito entre as partes girantes do motor. Manutenções corretivas não programadas, programadas ou preventivas são realizadas para troca dos lubrificantes, alinhamento de grupo girante e/ou substituição de peças e limpeza do motor. A periodicidade de manutenção é ditada pelo fornecedor do equipamento, então não leva em conta as condições de uso do motor elétrico.

O período de manutenção seria mais bem calculado com o acompanhamento do uso do motor em seu local de trabalho; as manutenções que podem ocorrer neste tipo de equipamento são as seguintes: manutenções corretivas – este modelo de manutenção é sempre indesejável em uma empresa, pois se trata de paradas para reparos em horas esporádicas e que elevam os custos de reforma por causar danos graves ao equipamento com longos períodos de indisponibilidade, ainda assim, pode ser programada ou não sua execução. Já as manutenções preventivas ganharam muitos adeptos por se tratar de atendimento que tem como objetivo principal evitar uma quebra em hora indesejada, com informações colhidas com antecedência; consegue-se atuar de forma precisa sobre oscilações ou variações, desde que acompanhadas com padrões, promovendo-se paradas em horários convenientes, com menores custos e maior confiabilidade em relação a sua qualidade. Um ponto muito importante deste último modelo de manutenção é que para seu êxito é necessária a utilização conjunta de outra ferramenta, a manutenção preditiva, esta que é responsável por apontar os exatos locais que requerem atenção, isso, claro, se estiverem com desvios de números considerados padrões para tal equipamento, sendo esse o objetivo de interesse deste trabalho.

A falta de manutenção do motor causa perda de sua eficiência, gerando mais gastos com manutenção e conseqüentemente um maior custo da produção. Medidas da temperatura do motor são

úteis na edição de um plano de manutenção que leva em conta as condições de uso do motor. Medir a temperatura em várias partes do motor pode também indicar qual o tipo de manutenção que é necessária, ou ainda elaborar formas de construção que diminuam a resistência ou aumentem a transferência do calor gerado. Assim, as manutenções deixam de ser periódicas ou esporádicas e apenas ocorrerão quando forem necessárias, e, ainda, a manutenção pode ser realizada de forma específica, ocorrendo uma diminuição do custo da produção. O intuito deste trabalho é estabelecer uma relação entre a dissipação de energia devido às partes mecânicas do motor elétrico trifásico assíncrono e os momentos de manutenção do mesmo.

Revisão Bibliográfica

A transferência de calor por difusão foi estudada por J. B. J. Fourier (1763-1830). A conclusão experimental de Fourier foi que a taxa de transmissão de calor por difusão é proporcional ao gradiente de temperatura. Para tornar essa proporção uma igualdade, foi estabelecida uma constante de proporcionalidade denominada condutividade térmica do material. Pode-se dizer que quanto maior a condutividade do material, menor será a gradiente de temperatura para uma mesma taxa de transferência de calor, ou quanto menor a resistência térmica do material, menor será o gradiente de temperatura para uma mesma taxa de transferência de calor.

A convecção caracteriza-se pela transferência de calor com auxílio do deslocamento da massa fluida. Num fluido que está em movimento, o calor é transferido entre duas regiões de temperaturas diferentes pelo mecanismo de convecção, com deslocamento de massa, e pelo mecanismo de condução, sem o deslocamento de massa fluida.

De forma geral, pode-se observar que bons condutores elétricos são bons condutores térmicos. Estes materiais (cobre, ouro, alumínio, entre outros) possuem um grande número de elétrons livres (elétrons na banda de condução elétrica), os quais também transportam energia térmica.

A transferência de calor por convecção é classificada como convecção forçada e convecção natural ou livre. Na convecção forçada utilizam-se agentes externos, como ventiladores, resistências elétricas ou bombas; nas convecções naturais ou livres, o agente causador da transferência é o empuxo devido à diferença de massa específica entre duas regiões ocasionada pela diferença de temperatura.

A convecção é descrita pela lei de Newton para o resfriamento, a qual considera uma situação de um contorno sólido que se encontra a uma temperatura mais alta que a temperatura da vizinhança. Em razão da diferença de temperatura, deve haver uma troca de calor entre o sólido e o meio, tendendo ao

equilíbrio térmico. O problema da transferência de calor entre o sólido e o fluido (convecção de calor) resume-se à determinação da vazão (descarga) térmica que ocorre entre o meio e o contorno. A formulação dessa questão foi iniciada por Newton, que estabeleceu o conceito de coeficiente de película. A taxa de transferência de calor, ou vazão térmica, é definida como o produto da densidade de fluxo térmico e a área de contacto entre a superfície sólida e o meio fluido. Geralmente, os problemas de transferência convectiva de calor são tão complicados que o coeficiente de transferência de calor por convecção, ou coeficiente de película, só pode ser determinado analiticamente para casos simples. Assim, os valores de coeficiente de película são obtidos experimentalmente.

O coeficiente de película é a razão entre a densidade de fluxo na superfície da placa sólida pela diferença de temperatura entre a placa e o meio fluido externo. Em geral, o coeficiente de calor por convecção é determinado experimentalmente, devido à dificuldade da análise da equação acima.

Outro fator importante para maximizar a troca de temperaturas por convecção é a utilização de aletas, que nada mais são que superfícies estendidas, pois, em razão da baixa eficiência de troca de calores de uma superfície com ar, principalmente em convecção natural, usa-se aumentar a superfície em contato com o ar; esse aumento de superfície é feito por extensões do mesmo material (aletas), de diferentes formatos, desde pinos circulares até barras de área constante ou não; quanto maior a área da aleta, maior será a quantidade de calor trocada entre a aleta e o fluido exterior, assim como quanto maior o número de aletas, mais calor será trocado entre a aleta e o fluido de refrigeração externo.

Metodologia e Materiais

Foram escolhidos quinze pontos distintos do motor marca WEG, modelo 132 m, de 3455 RPM com 5 CV de potência para a aferição da temperatura na presença e ausência do fluido lubrificante nos rolamentos fixos de esferas nº 6304 C3 e nº 6305 C3. Um termômetro da marca Ray-tech, modelo da série ST80XB fluke-68, com faixa de alcance de sete metros, com precisão de 1°C por metro referente à distância do ponto medido, foi usado para medir a temperatura. A medição foi iniciada do lado do acoplamento (L.A.), passando por sua parte superior e terminando no lado oposto ao acoplamento (L.O.A.). Os pontos estão dispostos na parte externa do equipamento com a configuração mostrada na tabela 1. O tempo de medida de temperaturas nos quinze pontos teve em torno de dois minutos de intervalo. Foram utilizados solvente e panos para remoção dos fluidos lubrificantes.

Tabela 1: pontos de medida de temperatura no motor trifásico assíncrono

P1	Eixo L.A. (lado do acoplamento)
P2	Tampa de mancal L.A
P3	Base da aleta superior L.A.
P4	Base da aleta superior no centro do equipamento
P5	Base da aleta superior L.O.A. (lado oposto ao acoplamento)
P6	Topo da aleta superior L.A.
P7	Topo da aleta superior no centro do equipamento
P8	Topo da aleta superior L.O.A.
P9	Base da aleta lateral L.A.
P10	Base da aleta lateral no centro do equipamento
P11	Base da aleta lateral L.O.A.
P12	Topo da aleta lateral L.A.
P13	Topo da aleta lateral no centro do equipamento
P14	Topo da aleta lateral L.O.A.
P15	Eixo L.O.A.

Resultados e Discussão

O primeiro ensaio foi realizado com o lubrificante nos rolamentos. A temperatura ambiente deste experimento foi de 18 °C e as medidas foram realizadas a cada 10 minutos. A temperatura medida com o motor desligado foi de $17 \pm 1^\circ\text{C}$. Após o motor ser ligado, as temperaturas em todos os pontos aumentaram até o valor médio de $39,5 \pm 1,3^\circ\text{C}$. A taxa de incremento foi mais rápida nos pontos 9, 10 e 13, ou seja, na região das aletas do motor. Após 1h40min, os valores de temperaturas medidas estavam estabilizados; nesse momento o motor foi desligado e os pontos de maior temperatura cederam calor para os pontos de menor temperatura, como pode ser visto na figura 1.

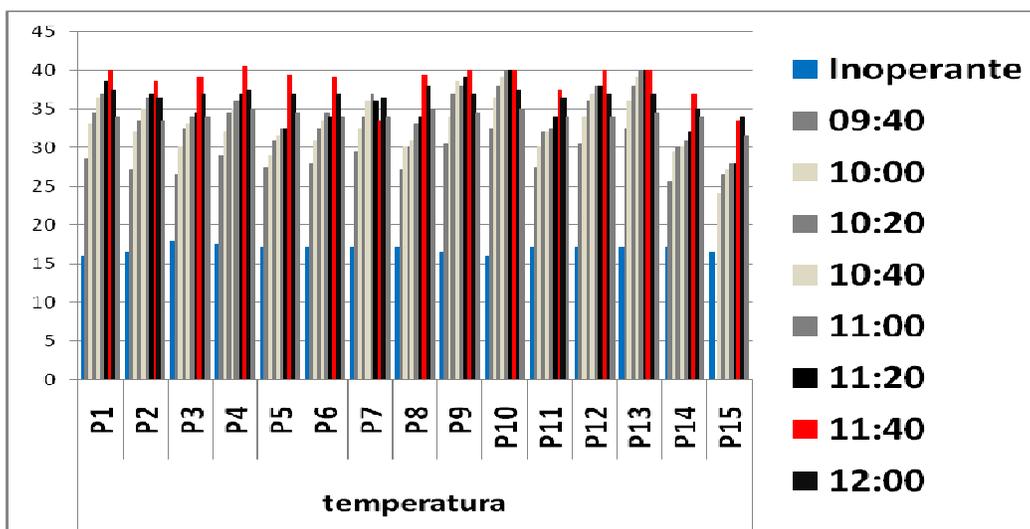


Fig. 1: Gráfico de acompanhamento térmico do motor assíncrono lubrificado.

A figura 2 mostra as medidas realizadas com os rolamentos sem lubrificante. Pode-se observar que a taxa de transferência de temperatura foi mais veloz e que em apenas 20 minutos os pontos 1 e 2 alcançaram as temperaturas respectivas de 52°C e 59°C; os pontos 9, 10, 12 e 13 atingiram a temperatura de 40°C. Nesse momento, o motor travou por causa de uma falha mecânica no rolamento próximo aos pontos 1 e 2.

Como se pode observar comparando as figuras 1 e 2, a taxa de transferência, a temperatura máxima observada e o local onde ocorreu a máxima temperatura mudaram.

A velocidade de taxa de transferência de calor é ocasionada pelos processos difusivos e convectivos de troca de calor, uma velocidade maior da transferência de calor pode ser explicada pela mudança nos materiais do meio ou por um maior gradiente de temperatura, que pode ser originada numa nova fonte de calor. Claramente, o que aconteceu para a velocidade de transferência aumentar no segundo ensaio foi a aparição de uma nova fonte de calor. A mudança dos pontos com maior temperatura evidencia que a nova fonte de calor está próxima dos pontos 1 e 2, que são, respectivamente, os pontos do eixo e da tampa do mancal do lado do acoplamento; inicialmente, os pontos com maiores temperaturas estavam próximos à parte central da carcaça, isto é, próximos às aletas do motor. Com esses dois argumentos, pode-se afirmar que uma nova fonte de calor está presente no motor.

Esta nova fonte de calor é causada pelo atrito seco no rolamento. As temperaturas máximas observadas com esta nova fonte de calor estão acima de 50°C, ou seja, acima das temperaturas do

funcionamento normal do motor que atingiram máximos próximos a 40°C.

Após o desligamento do motor, os pontos de temperatura mais alta transferiram calor para os pontos de menor temperatura; este fato evidencia que para motores trifásicos assíncronos tipo gaiola o processo de difusão é mais rápido que o processo de convecção para o meio ambiente.

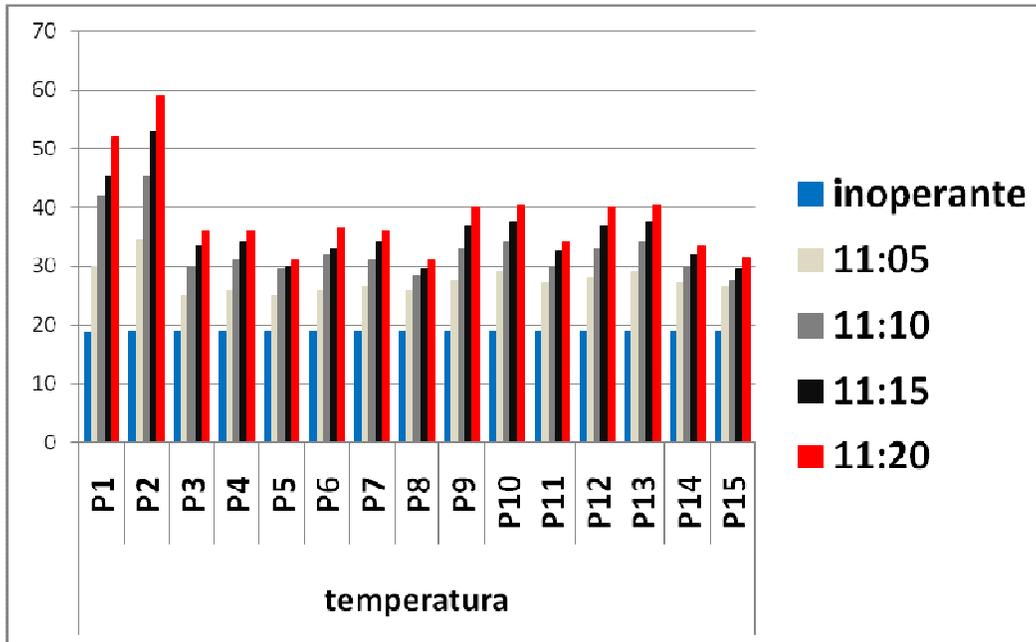


Fig. 2: Gráfico de acompanhamento térmico do motor assíncrono sem lubrificação.

Conclusão

Com um simples ensaio, foi possível acompanhar uma falha mecânica por falta de lubrificação dos rolamentos de um motor trifásico assíncrono tipo gaiola, medindo-se a temperatura em vários pontos do motor. Este experimento abre as portas para a possibilidade de se criar um método baseado em medidas de temperatura para acompanhar a eficiência do motor e prever manutenções necessárias em detrimento das datas estipuladas por seus fabricantes.

Referências

- [1] HOLMAN, Jack Philip. *Transferência de Calor*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.
- [2] SONNTAG, Richard. E, et al. Em *Fundamentos da Termodinâmica*, 6º ed, São Paulo, pg. 84-90, 2003.
- [3] SILVA, Hilton p. PASSOS, Alex Sandro B.; *Calculo da Curva de Perda de Carga dos Circuitos*

Axiais Internos de Refrigeração das Máquinas Elétricas Girantes da WEG Máquinas. *WEG indústrias S.A. - Motores*. Disponível em: <http://www.weg.com.br>. Acesso em: 8 set 2008.

- [4] HALLIDAY D., RESNICK R. and WALKER J.; Fundamentos de Física 3, 6^a Ed; LTC, Rio de Janeiro, RJ; 2002.
- [5] HALLIDAY D., RESNICK R. and KRANE K.; Física 3, 4^a Ed; LTC, Rio de Janeiro, RJ; 1996.
- [6] YOUNG H. D., FREEDMAN R. A.; Física 3, 10^a Ed, Pearson Education do Brasil, São Paulo, SP; 2003.
- [7] ROMA W. N. L.; Fenômenos de Transporte para Engenharia, Rima, São Carlos, SP; 2003.
- [8] HALLIDAY D., RESNICK R. and KRANE K.; Física 1, 4^a Ed; LTC, Rio de Janeiro, RJ; 1996.
- [9] FOX R. W., MCDONALD A. L. and PRITCHARD P. J.; Introdução à Mecânica dos Fluidos, 6^a Ed; LTC, Rio de Janeiro, RJ; 2006.
- [10] BIRD R. B.; STEWART W. E. and LIGHTFOOT E. N.; Fenômenos de Transporte, 2^a Ed; LTC, Rio de Janeiro, RJ; 2004.
- [11] KELLER F. J., GETTYS W. E. and SKOVE M. J.; Física Volume 2, Makron Books do Brasil Ltda, São Paulo, SP; 1999.
- [12] LIVI C. P.; Fundamentos de Fenômenos de Transporte, LTC, Rio de Janeiro, RJ; 2004.

TENDÊNCIAS DAS ENERGIAS DAS LIGAÇÕES II (PI) EM SISTEMAS HOMO E HETERONUCLEARES

Vanderlei Inácio de Paula
Professor nos Cursos de Processos Químicos,
Engenharia Química e Engenharia de Alimentos no
Centro Universitário Padre Anchieta

Resumo

Livros-texto de química apresentam estruturas de Lewis como método eficaz para prever a geometria dos compostos e suas propriedades. Várias abordagens para o desenho do ponto eletrônico têm sido realizadas, no entanto, o tratamento das estruturas dos compostos que envolvem os ametais de 3p a 5p é ambíguo em muitos livros didáticos, principalmente de ensino médio. A ambigüidade está na explicação dos compostos “deficientes em elétrons” e dos “hipervalentes”. A estrutura do ácido sulfúrico é discutida como neutra e iônica; assim, os valores das energias de ligações sigma e PI elucidam as tendências das ligações e sua estabilidade química.

Palavras-chave: Energia de ligação. Ligações sigma e pi.

Abstract

Chemistry textbooks present Lewis structures as an effective method to predict the geometry of the compounds and their properties. Several approaches to the design of electronic point has been made, however, the treatment of the structures of compounds involving the nonmetals of 3p to 5p is ambiguous in many textbooks, mainly in the high school's. The ambiguity is in the explanation of the "deficient in electrons" compounds and the "hypervalent" ones. The structure of sulfuric acid is discussed as ion and neutral, therefore, the values of the energies of sigma and PI bonding enlighten the trends of bonding and their chemical stability.

Keywords: Bond energy. Sigma and pi bonding.

Introdução

As ligações químicas são uniões entre os átomos e constituem as estruturas básicas de qualquer substância.

As estruturas de Lewis são representações dos elétrons da camada de valência de um átomo ou de um íon; os elétrons são representados por pontos colocados ao redor do símbolo do elemento. Cada ponto representa um elétron, por exemplo, a representação do íon sulfato é mostrada na figura 1 com os pares de elétrons livres.

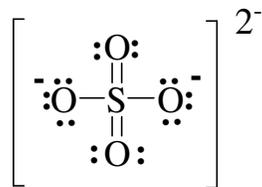


Figura 1: Representação da estrutura de Lewis do íon sulfato.

A teoria de Lewis foi publicada em 1916 e depara ultimamente com várias adaptações para se sanarem problemas conceituais (LEWIS, 1916). Alguns problemas conceituais são gerados pela extrapolação da teoria, pois a base do modelo atômico utilizado é o de Bohr, onde não há considerações que os orbitais atômicos são diferenciados em forma e simetria. As representações das estruturas se baseiam em um conceito de estabilidade química quando a configuração de um gás nobre é alcançada, e não é considerada a existência de compostos sem o “octeto completo” (LOGAN, 2001).

Na Teoria de Ligação de Valência (TLV), os elétrons desemparelhados nos orbitais atômicos tendem a se combinar, formando pares de elétrons (SHRIVER, 2003). As ligações químicas formadas são chamadas de simples e duplas pela teoria de Lewis. A ligação simples ocorre pela interação entre os orbitais atômicos: s-s, s-p e p_x - p_x ; as ligações simples são designadas ligações σ (σ sigma) pela teoria de ligação de valência. A ligação conhecida por dupla ocorre pela interação dos orbitais atômicos: p_y - p_y e p_z - p_z ; as ligações duplas são denominadas ligações π (Pi).

Existem várias estratégias descritas na literatura para a montagem de estruturas de Lewis (MIBURO, 1998), no entanto, não devem ser adotadas como uma receita de bolo, pois existem várias possibilidades para a constituição de compostos a partir da mesma fórmula molecular (isômeros). A natureza se incumbe de proporcionar uma extensa variedade de compostos a partir de alguns elementos químicos dos quais se irão constituir vários grupos funcionais químicos.

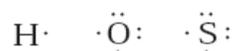
Para se dar início à estratégia da montagem da estrutura de Lewis, deve-se conhecer o máximo de informações a respeito do composto químico, principalmente do grupo funcional que o melhor descreve. Descrever os átomos com as representações dos elétrons de valência é muito interessante no caso dos átomos que podem ser descritos pela regra do octeto. Entre os átomos descritos, deve-se determinar qual átomo poderá ser o átomo central; geralmente o átomo central é o que possui o maior

número de elétrons de valência que pode ser compartilhado e é o menos eletronegativo.

Na montagem das ligações químicas, podem ocorrer vários erros caso não se tenha um conhecimento das características do composto em estudo. Primeiramente é interessante montar as ligações simples com os átomos mais eletronegativos ligados ao átomo central. Os elétrons adicionais do átomo central podem ser usados para formação de ligações duplas. Vários artigos e livros exploram a montagem didática dos compostos de Lewis; no artigo de AHMAD de 1992 e 2000 apontam-se os procedimentos de montagem da estruturas de Lewis descritos abaixo.

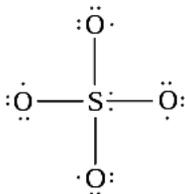
Um composto extremamente popular é o ácido sulfúrico, H_2SO_4 ; a estratégia de montagem da sua estrutura de Lewis é bem interessante.

Os átomos envolvidos na constituição do ácido sulfúrico são representados abaixo com seus respectivos elétrons de valência.

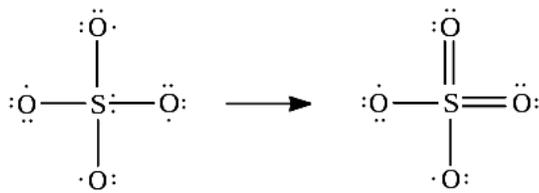


A escolha do átomo central deve privilegiar o átomo que apresenta o maior número de ligações e que seja menos eletronegativo. Neste caso, o átomo de enxofre deve ser o átomo central da estrutura de Lewis.

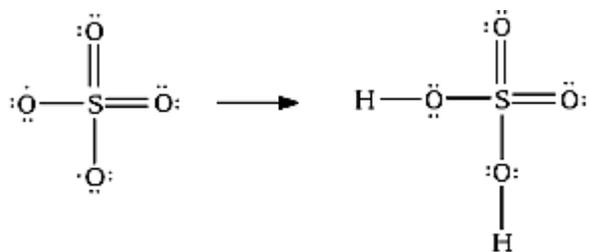
O enxofre possui seis elétrons, os quais irá compartilhar com os átomos de oxigênio. Assim, dos seis elétrons, quatro são compartilhados em ligações simples com o oxigênio, e há dois elétrons ainda não compartilhados, como mostra a estrutura abaixo.



Os dois elétrons não compartilhados poderão ser utilizados na formação de duas ligações duplas entre os átomos de enxofre e o oxigênio.



Os átomos de hidrogênio podem ser ligados com os átomos de oxigênio, pois ainda há dois átomos de oxigênio com possibilidade de compartilhamento de um elétron cada.



A estrutura apresentada é interessante pois a característica ácida é devida à facilidade de ionização do átomo de hidrogênio, e isso pode ser explicado pela ligação do átomo de hidrogênio ao átomo de oxigênio no contexto da estrutura discutida.

A estrutura apresentada para o ácido sulfúrico é coerente com as características deste composto e corretamente pertinente a fórmula molecular proposta, no entanto, há várias discussões a respeito desta estrutura. O que se discute é a existência das ligações duplas entre os átomos de enxofre e oxigênio (S=O) ou a formação de ligação simples (S-O) com diferença de cargas, ou seja, polarizada (MIBURO, 1998; STRAUB, 1995 e SUIDAN, 1995). As discussões apresentam fundamentos por dados obtidos por cálculos teóricos de estrutura e por dados apurados de equipamentos, como os de raios-X, que apresentam comprimentos de ligação.

O comprimento de ligação das moléculas deve ser avaliado para afirmar a presença de duplas ligações, pois se o comprimento de ligação for pequeno é um indício de dupla ligação. Na estrutura do ácido sulfúrico, o comprimento de ligação SO é menor em relação à ligação SOH (STRAUB, 1995). No entanto, também é possível imaginar que na estrutura do íon sulfato há uma dupla ligação ou um caráter fortemente iônico sobre o oxigênio.

Os livros didáticos apresentam a estrutura do ácido sulfúrico contendo as ligações duplas entre enxofre e oxigênio (S=O) (LEE, 1996; SHRIVER, 2003).

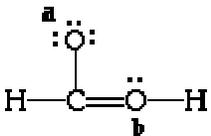
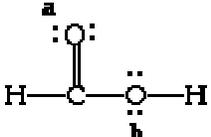
Um parâmetro importante para determinar se a estrutura de Lewis é adequada é o cálculo da carga formal da molécula. Esse cálculo consiste na carga que a molécula deveria possuir se a ligação fosse perfeitamente covalente, ou seja, o compartilhamento de elétrons ocorrendo igualmente entre os dois átomos ligados (SHRIVER, 2003). Esse parâmetro permite ajudar a decidir a localização de carga na molécula, assim como comparar se as várias estruturas de Lewis possíveis estão corretas.

O cálculo para a carga formal de um átomo em uma estrutura de Lewis pode ser feito com a fórmula abaixo:

$$\text{Carga Formal} = \text{N}^{\circ} \text{ de elétrons de valência} - \left(\text{N}^{\circ} \text{ de elétrons não ligantes} + \frac{1}{2} \text{ n}^{\circ} \text{ de elétrons ligantes} \right)$$

Para efeito de comparação entre as estruturas de Lewis, foram montadas duas estruturas de Lewis para o ácido fórmico. As características do ácido fórmico permitem imaginar determinado grupo funcional químico, porém seguem duas estruturas semelhantes, descritas na tabela 1. Os cálculos de carga formal permitem verificar que as estruturas apresentam diferenças de carga entre dois oxigênios.

Tabela 1: Cálculo da carga formal do ácido fórmico.

Estrutura 1		$\text{CF(H)} = 1e - (0e + 1/2 \cdot 2e) = 0$ $\text{CF(C)} = 4e - (0e + 1/2 \cdot 8e) = 0$ $\text{CF(O}_b) = 6e - (2e + 1/2 \cdot 6e) = 1$ $\text{CF(O}_a) = 6e - (6e + 1/2 \cdot 2e) = -1$
Estrutura 2		$\text{CF(C)} = 4e - (0e + 1/2 \cdot 8e) = 0$ $\text{CF(O}_a) = 6e - (4e + 1/2 \cdot 4e) = 0$ $\text{CF(O}_b) = 6e - (4e + 1/2 \cdot 4e) = 0$

Qual das duas estruturas de Lewis mostradas na tabela 1 melhor representa a estrutura para o ácido fórmico? Ou melhor, qual estrutura possui a menor carga formal nos átomos?

A exploração do cálculo da carga formal permite escolher a estrutura 2 como a representação de Lewis mais provável para o ácido fórmico, pois a estrutura apresenta a menor carga formal nos átomos.

Algumas vezes, uma única estrutura de Lewis não representa a estrutura de uma molécula ou íon de forma adequada, sendo necessário o cálculo das cargas formais das diversas estruturas. Há casos que várias estruturas são possíveis com a mesma carga formal, por exemplo, considere o íon carbonato (CO_3^{2-}), que possui três estruturas de ressonância, conforme mostrado na figura 2.

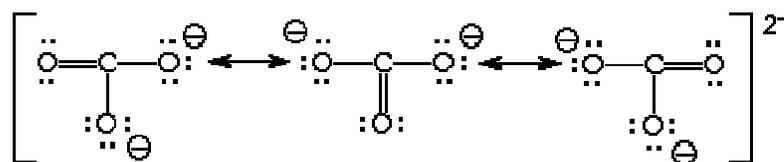


Figura 2: Possíveis estruturas de ressonância do íon carbonato.

As três estruturas de Lewis apresentadas na figura 2 são equivalentes, pois possuem a mesma carga formal; assim, as três estruturas podem ser descritas para o íon carbonato. A verdadeira estrutura

do íon é uma média destas três estruturas; esse fenômeno é chamado de **Formas de Ressonância**, que podem ser representadas entre colchetes e unidas por setas duplas. As estruturas de ressonância podem ser representadas por um **híbrido de ressonância**, sendo que a linha pontilhada é utilizada para indicar os elétrons deslocalizados, como mostrado na figura 3.

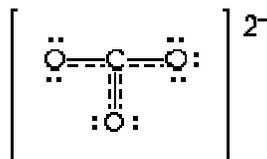


Figura 3: Esquema do híbrido de ressonância do íon carbonato.

Pelo conceito da teoria de Lewis, os elementos do 2º período não violam a regra do octeto, mas os elementos do 3º período observa-se irregularidade em relação à regra. A existência da molécula de PCl_5 (Figura 4) só é possível pela extrapolação da teoria de Lewis; nesse caso, isso se chama hipervalência. O átomo de fósforo (P) apresenta 10 elétrons em sua camada de valência; após as ligações químicas, há um par de elétrons para cada ligação P-Cl.

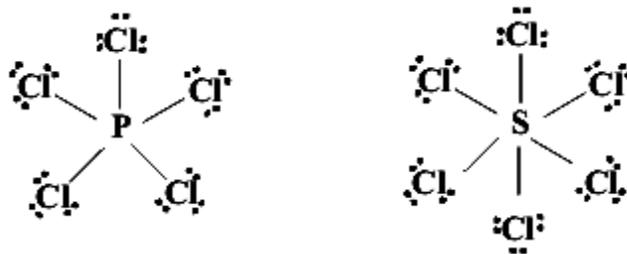


Figura 4: Estruturas de Lewis do PCl_5 e do SCl_6 .

Similarmente, a molécula de SCl_6 (Figura 4), apresenta 12 elétrons em sua camada de valência através de seis pares de elétrons nas ligações S-Cl. A explicação tradicional de hipervalência é a expansão da regra do octeto, e tal acontecimento é devido à disponibilidade de orbitais *d* para acomodar os elétrons adicionais.

Resultados / discussão:

Para elucidar os questionamentos recorrentes às tendências de ligações formalizadas acima, é necessário um estudo sobre o comportamento dos elementos e suas respectivas energias de ligação, bem como sobre as contrições das energias de ligação π (pi) e sigma nas famílias.

Para todos os elementos das famílias 4A, 5A e 6A, as energias das ligações homonucleares ($X=X$, onde $X = 4A, 5A$ e $6A$) decrescem à medida que se percorre a mesma família. A diminuição da energia de ligação dupla entre os elementos da mesma família pode ser vista no gráfico 1. A tendência descrita está relacionada com o aumento do raio atômico; conseqüentemente, maiores são os orbitais atômicos envolvidos, e assim a sobreposição dos orbitais atômicos na constituição da ligação dupla não é efetiva.

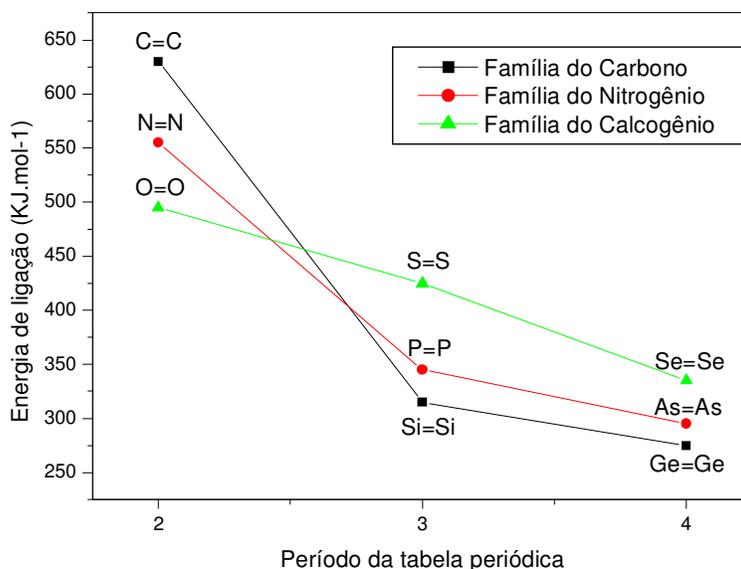


Gráfico 1: Energia de ligação homonuclear das famílias 4A, 5A e 6A.

Para o segundo período dos elementos na tabela periódica, a energia de ligação diminui nas famílias na seguinte ordem: 4A, 5A e 6^a; tal comportamento se deve ao aumento dos pares de elétrons não compartilhados existentes nas famílias, ou seja, quanto mais elétrons livres os átomos tiverem, maior será a repulsão entre os pares de elétrons e, conseqüentemente, menor será a energia de ligação.

No terceiro e quarto período da tabela periódica, a energia de ligação dos elementos diminui na seguinte ordem nas famílias: 6A, 5A e 4A (gráfico 1); esta tendência está relacionada ao tamanho dos átomos, isto é, ao tamanho dos orbitais atômicos envolvidos na ligação química. Os orbitais atômicos de menor tamanho favorecem a sobreposição, o que torna as ligações mais fortes; assim, no caso das ligações duplas para o terceiro e quarto período da tabela periódica, os orbitais crescem na seguinte ordem: 6A, 5A e 4A, e apresentam energia de ligação crescente na seguinte ordem: 4A, 5A, 6A.

A contribuição das energias de ligação sigma (σ) e pi (π) no 3^o e 4^o períodos é muito semelhante, como mostram os gráficos 2 e 3; os valores reduzidos de contribuição para as energias de ligação π ajudam a explicar a baixa estabilidade química, ou melhor, a alta reatividade dos compostos que apresentam duplas ligações homonucleares ($X=X$) no terceiro e quarto períodos.

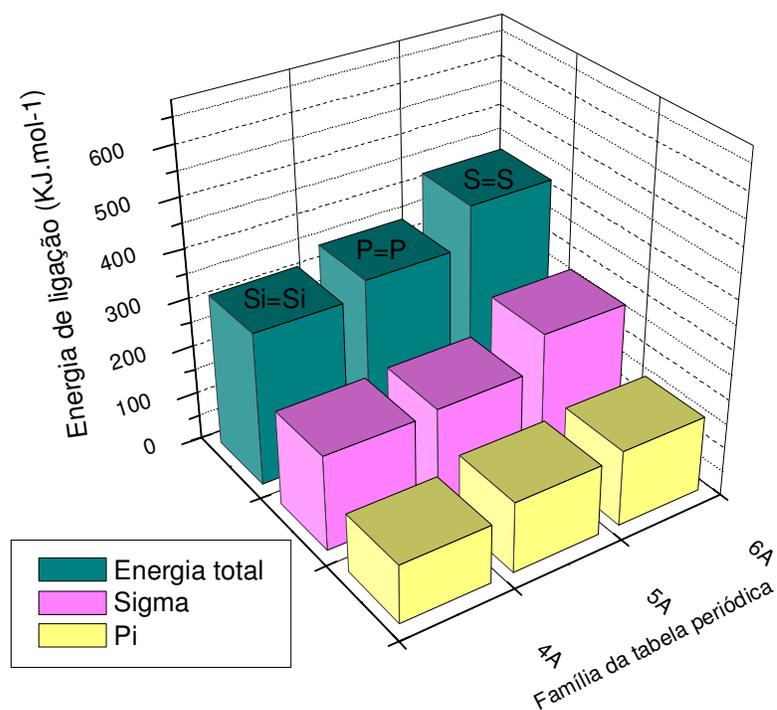


Gráfico 2: Contribuição das energias de ligação σ e π para os elementos do 3º período.

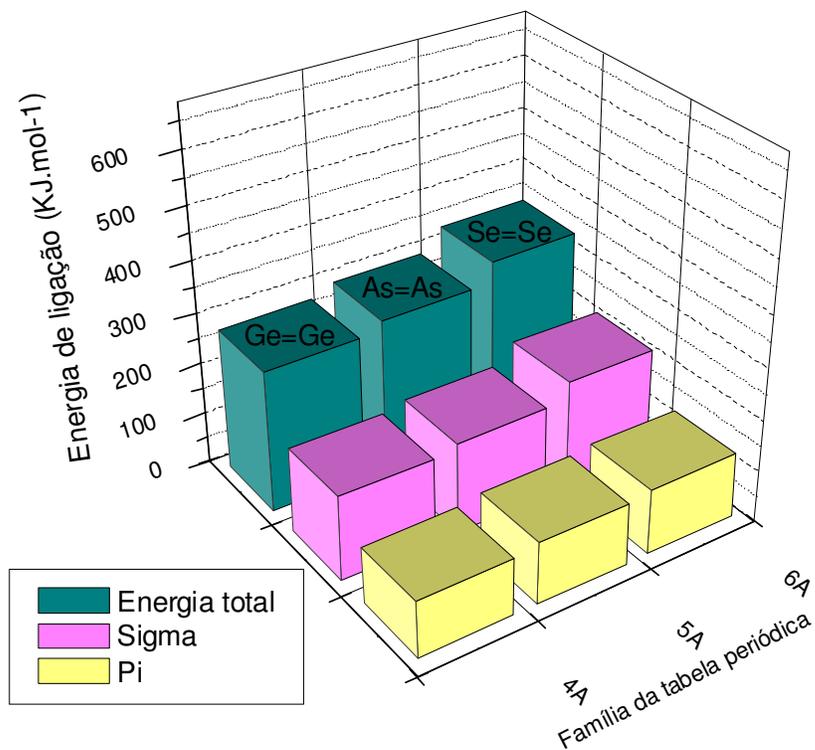


Gráfico 3: Contribuição das energias de ligação σ e π para os elementos do 4º período.

Os valores das energias de ligação heteronuclear ($X=O$, onde $X = 4A, 5A$ e $6A$) mostram praticamente as mesmas tendências das energias de ligação homonuclear em uma família da tabela periódica. No entanto, outro parâmetro tem de ser levado em consideração, que é a diferença de eletronegatividade entre os elementos. No gráfico 4 são mostradas as ligações $X=O$ entre os elementos C, N, Si, P e S. Observa-se que à medida que caminha no período há uma diminuição da energia de ligação. Não é possível comparar a família dos calcogênios com as demais famílias, pois no segundo período há uma ligação homonuclear ($O=O$), e não apresenta a influência da eletronegatividade.

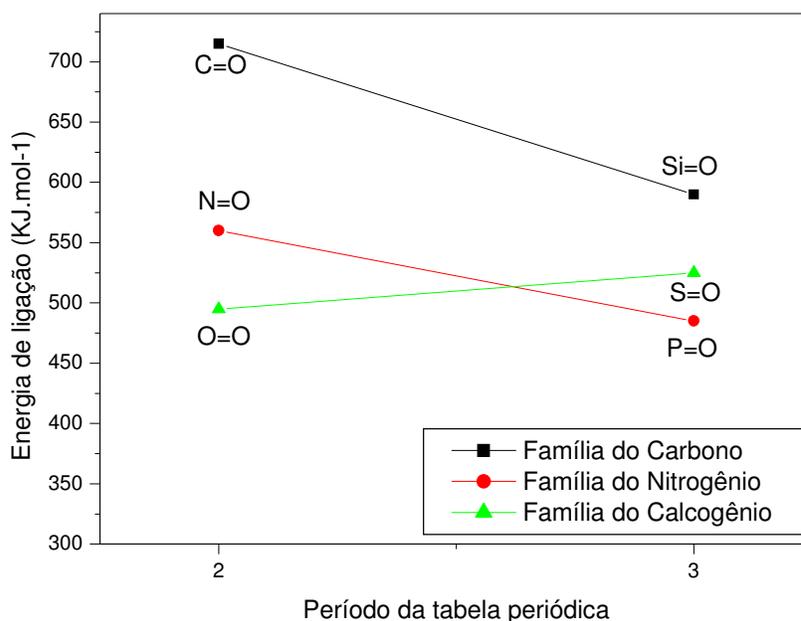


Gráfico 4: Comportamento da energia de ligação entre átomos heteronucleares.

As contribuições das energias de ligação sigma e pi na família do carbono são diferentes ao longo dos períodos (gráfico 5). Na ligação $C=O$ há uma maior contribuição de ligação π em relação à ligação σ ; os dados numéricos permitem imaginar que a ligação dupla $C=O$ apresenta estabilidade; no entanto, compostos contendo ligações duplas são largamente encontrados na natureza e proporcionam a constituição de vários grupos funcionais químicos. A ligação $Si=O$ apresenta maior contribuição energética de ligação σ e baixa contribuição de energia de ligação π , o que confere com o fato de existirem poucos compostos na natureza com esse tipo de ligação.

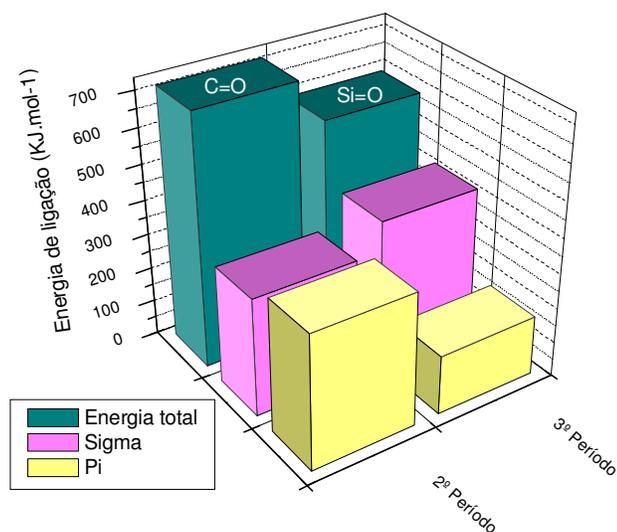


Gráfico 5: Contribuição das energias σ e π nas energias de ligação heteronucleares na família 4A.

O comportamento descrito para a família do carbono é similar ao da família do nitrogênio. Assim, ligações N=O apresentam maior estabilidade química em relação à ligação P=O devido à maior energia de ligação π (Gráfico 6).

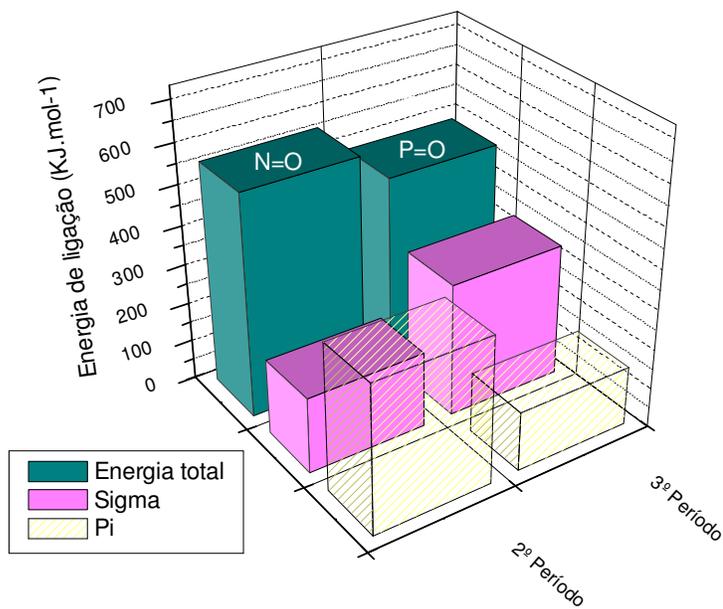


Gráfico 6: Contribuição das energias σ e π nas energias de ligação heteronucleares na família 5A.

A energia de ligação π é mais acentuada para o segundo período da tabela periódica nas ligações heteronucleares ($X=O$ e $X=N$, onde $X = 4A, 5A$ e $6A$), ou seja, a contribuição pi é maior que a contribuição sigma independente da família (gráficos 7 e 8). O menor tamanho dos átomos está relacionado com o menor tamanho dos orbitais atômicos; assim, as maiores interações entre os orbitais ligantes p-p irão constituir a ligação π .

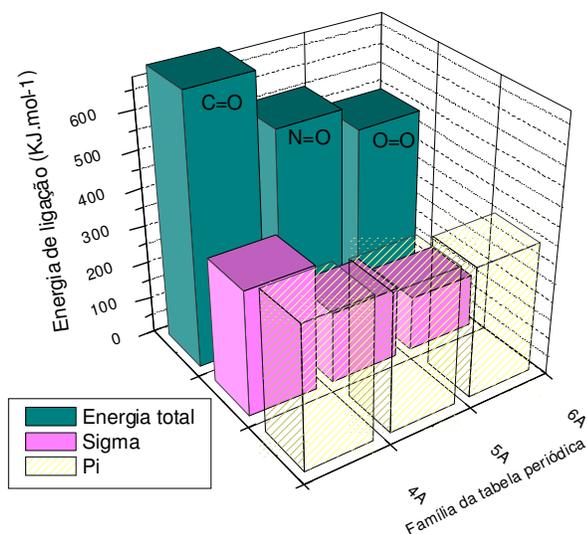


Gráfico 7: Contribuição das energias σ e π nas energias de ligação $X=O$ do 2º período.

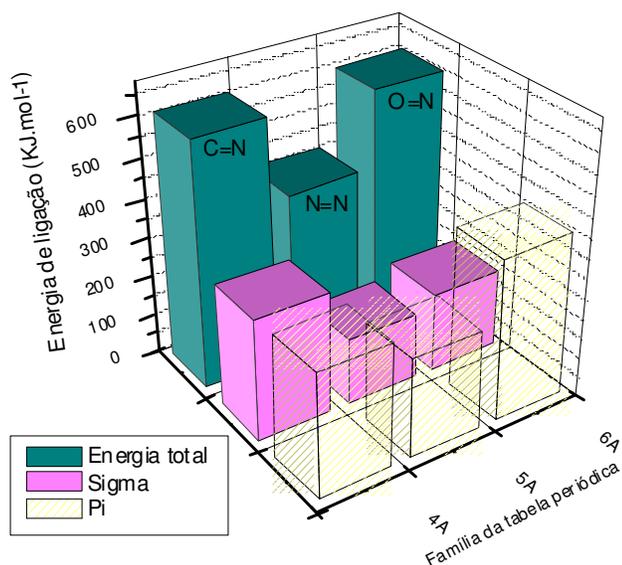


Gráfico 8: Contribuição das energias σ e π nas energias de ligação $X=N$ do 2º período.

A energia de ligação heteronuclear entre enxofre e oxigênio (S=O) apresenta similares contribuições de energias de ligação σ e π (gráfico 9); deste modo, é um conveniente argumento para a discussão da estrutura do ácido sulfúrico, como comentado anteriormente. Os valores encontrados para a energia da ligação π sugerem que a ligação S=O seja estável quimicamente, no entanto, os cálculos teóricos apontam que a estrutura de Lewis do ácido sulfúrico mais estável é a que contém o íon sulfato representado por ligações simples e número de coordenação no enxofre igual a quatro com carga formal igual a +2, conforme mostrado na tabela 2. Ambas as elucidaciones estão certas. No final das contas, o importante é saber considerar qual o modelo mais adequado para a explicação de um dado fenômeno.

Tabela 2: Cálculo da carga formal do ácido sulfúrico.

Estrutura 3		$CF(H) = 1e - (0e + 1/2 \cdot 2e) = 0$ $CF(S) = 6e - (0e + 1/2 \cdot 12e) = 0$ $CF(Oa) = 6e - (4e + 1/2 \cdot 4e) = 0$ $CF(Ob) = 6e - (4e + 1/2 \cdot 4e) = 0$
Estrutura 4		$CF(H) = 1e - (0e + 1/2 \cdot 2e) = 0$ $CF(S) = 6e - (0e + 1/2 \cdot 8e) = +2$ $CF(Oa) = 6e - (4e + 1/2 \cdot 4e) = 0$ $CF(Ob) = 6e - (6e + 1/2 \cdot 2e) = -1$

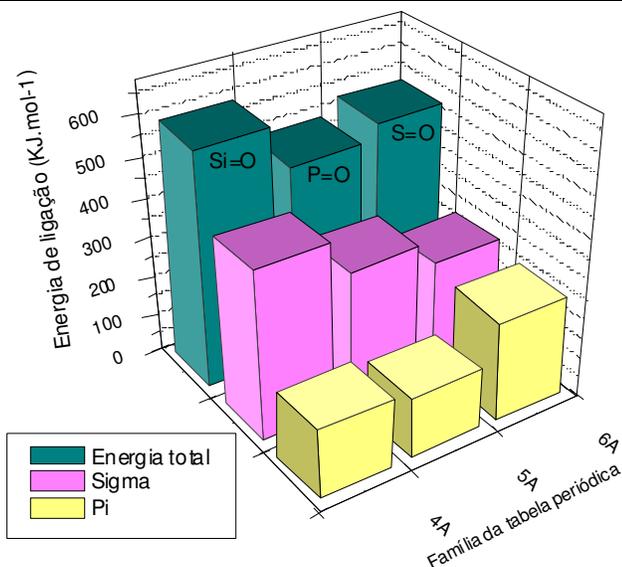


Gráfico 9: Contribuição das energias σ e π nas energias de ligação X=O do 3º período.

Conclusão:

O tamanho dos átomos, a presença de pares de elétrons e a eletronegatividade são fatores importantes para compreender as tendências de energias de ligações simples e duplas nos períodos e nas famílias.

Os valores de energias de ligação π (pi) podem ser utilizados para explicar a estabilidade química de ligações X=X, X=O e X=N, portanto, é possível prever a estabilidade das ligações.

Referências

- AHMAD, W.Y.; OMAR, S.; *Journal of Chemical Education*; v.69, nº 10, pg. 791, **1992**.
- AHMAD, W.Y.; ZAKARIA, M. B.; *Journal of Chemical Education*; v.77, nº 3, pg. 329, **2000**.
- LEE, J. D.; *Química inorgânica não tão concisa*; trad. Toma, H. E.; ARAKI, K.; Rocha, R. C.; 5º Ed.; São Paulo: Edgard Blücher, **1996**.
- LEWIS, G.N.; *The Journal of the American Chemical Society*, 38(4), pp. 762, **1916**.
- LOGAN, S. R.; *Journal of Chemical Education*; v.78, nº 11, pg. 1457, **2001**.
- MIBURO, B. B.; *Journal Chemical Education*; vol.75, nº 3, 317, **1998**.
- SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W.; *Química Inorgânica*; trad. Gomes, M. A.; 3º Ed.; Porto Alegre: Bookmann, **2003**.
- STRAUB, D. K.; *Journal Chemical Education*; vol.72, nº 10, 889, **1995**.
- SUIDAN, L.; BADENHOOP, J. K.; GLENDENING, E. D.; WEINHOLD, F.; *Journal Chemical Education*; vol.72, nº 7, 583, **1995**.

ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

COMPARATIVE ANALYSIS OF SLABS IN FIRE CONDITION

Kleber Aparecido Gomide

Professor MSc., UNIANCHIETA

kgomide@anchieta.br

Resumo

As lajes, na eventualidade de um incêndio, são os elementos estruturais que podem apresentar ruína prematura devido a sua pequena espessura e cobrimentos, geralmente, baixos. Com isso, apresentam grandes deslocamentos da porção de concreto, que deixam a armadura positiva exposta à ação direta do fogo, provocando deformações excessivas do aço, com conseqüente perda de aderência com o concreto. Neste trabalho será realizada uma análise comparativa do comportamento estrutural de lajes maciças e nervuradas treliçadas em concreto armado e lajes nervuradas protendidas, dimensionadas à temperatura ambiente e em situação de incêndio. Para a verificação da resistência estrutural destes elementos, em situação de incêndio, serão utilizados os métodos simplificados apresentados pelo Eurocode 2 (prEN 1992-1-2:2002). Os resultados obtidos, a partir desta verificação, serão discutidos por meio de uma análise comparativa entre os tipos de lajes empregados e os diferentes métodos de verificação.

Palavras-chave: Lajes. Incêndio. Dimensionamento. Segurança Estrutural.

Abstract

The slabs, in the event of a fire, are the structural elements that can make ruin premature due to their small thickness and coverings, which are usually low. Because of this, they present great concrete spalling, leaving the reinforcement exposed to the direct action of the fire, causing excessive deformation of steel with a consequent loss of adhesion to the concrete. In this paper, a comparative analysis of structural behavior of solid slabs and trellis nervure slabs in reinforced concrete slabs and nervure slabs in prestressed concrete, designed to room temperature and in fire condition will be performed. For the structural resistance verification of these elements in fire condition the simplified methods presented by Eurocode 2 (prEN 1992-1-2:2002) will be used. The results, from this verification, will be discussed by a comparative analysis between the types of slabs used and the different verification methods.

Keywords: Slabs. Fire. Design. Structural Safety.

1. Introdução

As estruturas em concreto, em situação de incêndio, experimentam acentuadas perdas de resistência e rigidez, além de redução da seção transversal, somando-se a isso o elevado risco de *spalling*, que são deslocamentos da porção de concreto que deixam a armadura exposta à ação térmica, podendo, rapidamente, acarretar a ruína da estrutura.

As lajes são elementos estruturais, em geral, de pequena espessura e cobrimentos baixos, elevando-se o risco de deslocamentos da porção de concreto, deixando a armadura positiva exposta à ação direta do fogo, provocando deformações excessivas do aço, com conseqüente perda de aderência com o concreto, além da acentuada diminuição de sua resistência.

Com isso, torna-se de fundamental importância verificar o comportamento estrutural das lajes em situação de incêndio. Neste trabalho será realizada uma análise comparativa entre os tipos usuais de lajes utilizadas no Brasil, que são as lajes maciças e nervuradas treliçadas em concreto armado, e as lajes nervuradas em concreto protendido.

Para tanto, neste trabalho, para a verificação da resistência estrutural de lajes em situação de incêndio, serão utilizados os métodos simplificados apresentados pelo Eurocode 2 (prEN 1992-1-2:2002), especificamente o Métodos de Hertz, a fim de se obter uma comparação de resultados entre os tipos de lajes e os tempos requeridos de resistência ao fogo.

Os métodos simplificados utilizam-se das equações clássicas da Teoria de Estruturas para determinação dos esforços resistentes da seção, com as devidas minorações de resistência dos materiais constituintes devido à ação térmica, além de considerarem uma seção de concreto reduzida em função da temperatura do elemento.

2. Comportamento de lajes em situação de incêndio

No caso de lajes e, também, das placas, devido a sua pequena espessura e cobrimentos menores, verificam-se deslocamentos prematuros, que deixam a armadura positiva exposta à ação direta do fogo, provocando deformações excessivas do aço, com conseqüente perda de aderência com o concreto.

Devido ao uso de aços encruados a frio (tipo “B”) em construções mais antigas, o efeito do fogo sobre lajes e placas torna-se mais preocupante, pois, conforme citado anteriormente, a perda de resistência para aços tipo “B” é de cerca de 50%, mesmo para incêndios que atinjam baixas temperaturas.

No caso de peças em concreto protendido, sob o efeito do fogo, ocorre ruína prematura por conta do aço utilizado, que é muito sensível ao fogo, conforme citado. As perdas das tensões de protensão provocam danos irreversíveis ao concreto. Encontram-se perdas de até 20% nas forças de protensão, para aumentos de temperatura de apenas 150°C (CÁNOVAS, 1988).

Em situação de incêndio em uma edificação, as lajes tomam função bastante importante, pois, além de sua resistência estrutural, estas assumem a função de compartimentação vertical da edificação, pela qual minimiza-se o risco do incêndio propagar-se de um pavimento a outro da edificação, por meio de fissuras ou por condutividade térmica do concreto.

O fator de colapso predominante no caso de lajes seria por estanqueidade e isolamento térmico, já que o fogo, atuando sob a laje, tende a provocar efeitos de fissuração excessiva na laje, por onde passam chamas e gases que provocarão o incêndio nos pavimentos superiores ao considerado.

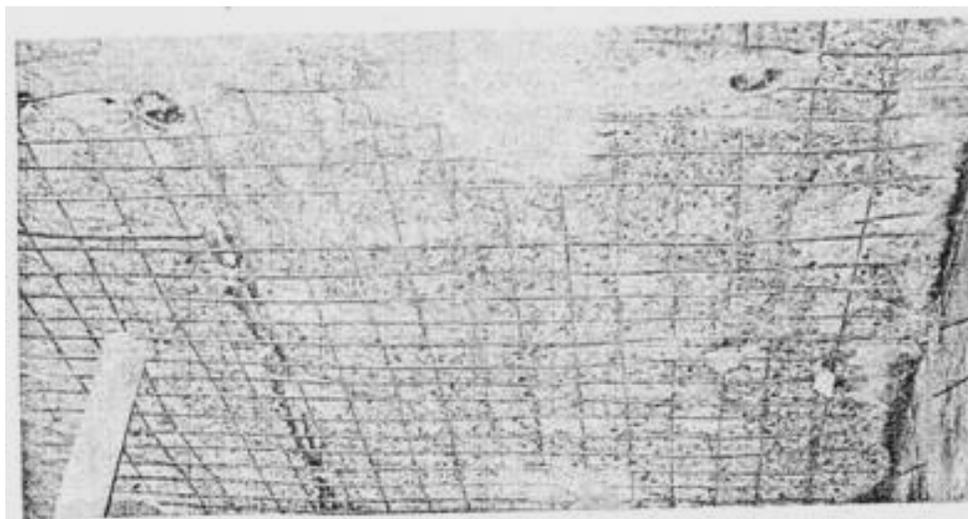


Figura 1 – Concreto desagregado e armadura exposta na face inferior da laje em que ocorreu um incêndio (CÁNOVAS, 1988)

3. Métodos simplificados de verificação

3.1 Esforços atuantes

As estruturas em concreto armado em situação de incêndio devem ser verificadas no Estado Limite Último – ELU para a combinação excepcional de ações, definida pela NBR 8681 (2003), demonstrada pela Equação 1.

$$F_{di} = \gamma_g F_{gk} + F_{qexc} + \gamma_q \sum_2^n \Psi_{2j} F_{qjk} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

F_{di} = força resultante da ação dos incêndios;

F_{gk} = força característica de ações permanentes;

F_{qexc} = força característica de ações variáveis excepcionais;

F_{qjk} = força característica de ações variáveis diretas;

γ_g = coeficiente de majoração de forças permanentes, tomado igual a 1,2 para ações permanentes desfavoráveis e 1,0 para favoráveis;

γ_q = coeficiente de majoração de forças variáveis, tomado igual a 1,0 para ações variáveis desfavoráveis e 0,0 para favoráveis;

Ψ_{2j} = coeficiente de redução para as ações variáveis diretas, adotado 0,28, neste caso.

3.2 Métodos simplificados – EUROCODE 2 (prEN 1992-1-2:2002)

Os métodos simplificados para dimensionamento de elementos estruturais, segundo o Eurocode 2 (prEN 1992-1-2:2002) apud Costa e Silva (2005), são caracterizados pela diminuição da seção transversal do elemento, devido a perdas de resistência do concreto em sua região periférica em situação de incêndio.

Costa e Silva (2005) apresentam métodos para dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio, nos quais é fundamental conhecer a temperatura no interior destes. Para

se obter tais temperaturas, utilizam-se isotermas distribuídas na seção do elemento estrutural. A temperatura da armadura é dada pela isoterma que passa pelo centro geométrico das barras.

Para a utilização de ambos os métodos, também deve-se minorar as resistências características dos materiais, em função do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF, definido pela NBR 14432 (2000), em função do tipo e das características geométricas da edificação.

Os procedimentos de cálculo para dimensionamento em ambos os métodos são, em um primeiro passo, determinar o TRRF de cada elemento e, com isso, definir as distribuições de temperaturas nos elementos por meio de isotermas, reduzindo as seções transversais e determinando as temperaturas nas armaduras.

Um segundo passo seria a minoração das resistências características de cada material, em função da temperatura, estimar as resistências das seções em semelhança aos procedimentos em situação normal, assim obtendo o esforço resistente que deve ser comparado ao esforço solicitante em situação excepcional de ações. (COSTA; SILVA, 2005)

Por meio do método de Hertz, a redução da área da seção transversal é determinada por uma espessura fictícia denominada “ a_z ”, obtida em função de uma largura “ w ” da peça e do TRRF. A largura “ w ” no caso de lajes é igual a sua espessura. As larguras “ a_z ” para vigas e lajes são apresentadas na Figura 2.

As propriedades dos materiais são minoradas por meio de coeficientes redutores em função da temperatura no interior da seção transversal. A redução da resistência do concreto é dada em função da temperatura do ponto médio da seção transversal, obtida da Equação 2.

$$f_{cd,\theta M} = K_{c\theta M} \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$f_{cd,\theta M}$ = resistência de cálculo do concreto à compressão, à temperatura elevada θ (°C) (MPa);

$K_{c\theta M}$ = fator de redução da resistência do concreto, em função da temperatura θ no meio da seção de concreto do elemento estrutural, conforme Figura 3;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão (MPa);

γ_c = coeficiente de minoração da resistência do concreto, tomado igual a 1,2.

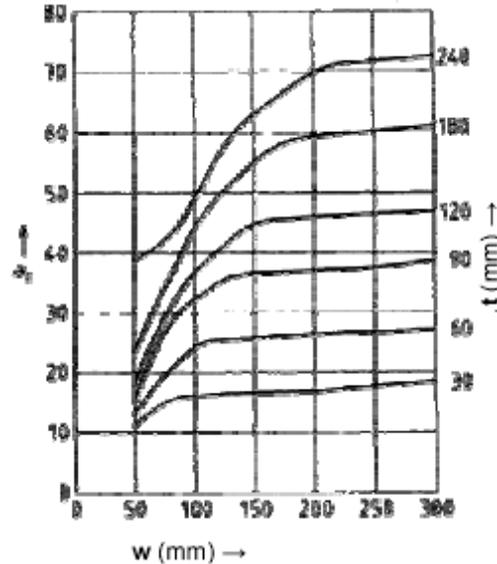


Figura 2 – Espessura fictícia “ a_z ” para redução da seção transversal para vigas e lajes em concreto silicoso (EUROCODE 2, 2002 apud COSTA; SILVA, 2005)

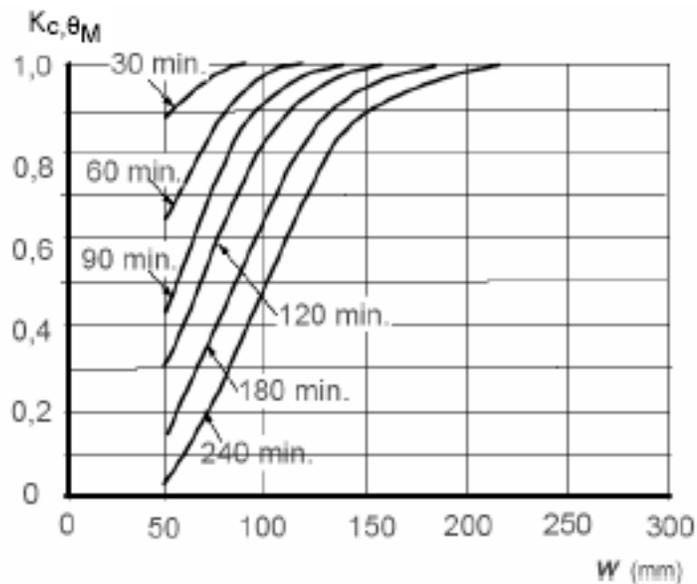


Figura 3 – Fator de redução para concretos silicosos em função da temperatura no meio da seção (θ_M) (EUROCODE 2, 2002 apud COSTA; SILVA, 2005)

A posição da linha neutra para vigas e lajes é determinada pelas Equações 3 e 4, assumindo-se que o concreto esteja solicitado no domínio 3 de deformação e o diagrama tensão-deformação do concreto seja retangular. (COSTA; SILVA, 2005)

$$x_{fi} = \frac{(K_{s,\theta} \cdot f_{yd}) \cdot A_s}{0,68 \cdot b^* \cdot f_{cd}} \quad \rightarrow \text{para zona tracionada aquecida} \quad (\text{Equação 3})$$

$$x_{fi} = \frac{(K_{s,\theta} \cdot f_{yd}) \cdot A_s}{0,68 \cdot b^* \cdot (f_{cd,\theta M})} \quad \rightarrow \text{para zona comprimida aquecida} \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

x_{fi} = profundidade da linha neutra em incêndio, nas peças solicitadas à flexão simples;

$K_{s,\theta}$ = coeficiente de redução da resistência do aço em função de θ ;

f_{yd} = resistência de cálculo do aço em temperatura ambiente;

A_s = área de aço das armaduras aquecidas;

$f_{cd,\theta M}$ = resistência de cálculo do concreto à compressão, à temperatura elevada θ (°C) (MPa);

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto à compressão em situação excepcional, onde $\gamma_c = 1,2$;

$b^* = b_f$ = largura da mesa colaborante em situação normal, para momentos positivos;

b_{fi} = largura reduzida, para momentos negativos.

Para a verificação da capacidade última do elemento, não se deve reduzir a largura da laje e das mesas colaborantes das vigas, no caso de verificação de momentos positivos. Os momentos resistentes das seções são apresentados nas Equações 5 e 6.

$$M_{R,fi} = A_s \cdot f_{yd,\theta} \cdot (d - 0,4 \cdot x_{fi}) \rightarrow \text{momentos positivos} \quad (\text{Equação 5})$$

$$M_{R,fi} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x_{fi}) \rightarrow \text{momentos negativos} \quad (\text{Equação 6})$$

onde:

$M_{R,fi}$ = momento fletor resistente da seção, em situação de incêndio;

d = altura útil da seção;

x_{fi} = profundidade da linha neutra em situação de incêndio;

$f_{yd,\theta}$ = resistência de cálculo do aço, à temperatura θ ;

4. Aplicação dos métodos simplificados para lajes usuais

Para a aplicação dos métodos simplificados das lajes, em situação de incêndio, foi proposto um modelo geométrico de laje bastante usual, retangular, com lados iguais a 4,00 m e 5,00 m, e sem carregamento de alvenaria. Para a obtenção das sobrecargas de utilização, foi proposto um edifício comercial de escritórios.

O concreto utilizado tem resistência característica à compressão $f_{ck} = 25$ MPa, e o aço é laminado a quente tipo CA-50 para as lajes maciças e CA-60 para as lajes treliçadas; para as protendidas, foram utilizadas barras de protensão com diâmetro de 4,0 mm do tipo CP-150RN.

Para efeito de comparação entre os resultados, serão verificados os esforços resistentes para os tempos requeridos de resistência ao fogo – TRRF de 30, 60, 90 e 120 minutos, em acordo com a NBR 14432 (2000), que prevê estes TRRFs para edifícios comerciais, sendo que o TRRF exato para a edificação depende de sua altura em relação ao leito da rua.

4.1 Lajes maciças

As lajes maciças são calculadas como placas, podendo-se elaborar o dimensionamento por tabelas, sendo bastante utilizadas as tabelas de Kalmanok, ou por meio de *softwares* específicos. Neste exemplo, as lajes foram dimensionadas em Estado Limite Último – ELU, a partir das tabelas de Kalmanok, seguindo as recomendações contidas na NBR 6118 (2003).

O esquema estático adotado para esta laje está apresentado na Figura 4. O dimensionamento em situação ambiente e a verificação em situação de incêndio estão descritos nas Tabelas 1, 2 e 3.

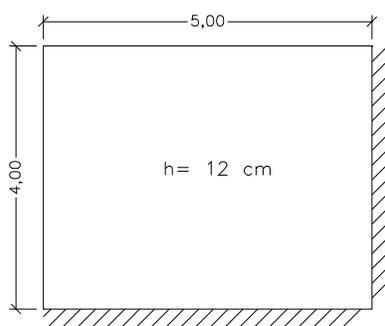


Figura 4 – Esquema estático adotado para lajes maciças

Tabela 1 – Dimensionamento da laje maciça em situação ambiente

Carregamentos	Valores (kN/m ²)	Características Geométricas		Momentos Solicitantes (kN.m)		A _s (cm ²)	A _s adotada
		l _x	l _y	M _{dx} (+)	M _{dy} (+)		
Peso Próprio (g):	3,0	l _x	5,00 m	M _{dx} (+)	2,729	1,20	ø 5,0 c/16 cm
Revestimento (g):	1,0	l _y	4,00 m	M _{dy} (+)	4,771	1,25	ø 5,0 c/16 cm
Sobrecarga (q):	2,0	h	0,12 m	M _{dx} (-)	10,027	2,71	ø 6,3 c/11 cm
Total (g+q)	6,0	l _y / l _x	0,80	M _{dy} (-)	11,854	3,20	ø 6,3 c/10 cm

Tabela 2 – Resistência dos materiais em situação de incêndio – lajes maciças

TRRF	Arm. Positiva			Arm. Negativa			Concreto				
	θ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm ²)	θ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm ²)	w (cm)	a_z (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	$k_{c,\theta M}$	$f_{cd,\theta M}$ (kN/cm ²)
30	240	1,00	50,0	< 100	1,00	50	12	1,6	2,08	1,00	2,08
60	400	1,00	50,0					2,5			
90	550	0,63	31,5					3,5			
120	600	0,47	23,5					4,0			

NOTA: Os coeficientes de minoração das resistências do aço e do concreto são, respectivamente, 1,0 e 1,2.

Tabela 3 – Comparação entre os momentos atuantes e resistentes – lajes maciças

Mom. Atuante (kN.m/1m)		Momentos Resistentes (kN.m/1m)											
		TRRF 30			TRRF 60			TRRF 90			TRRF 120		
		x_{fi}	d	M_{fi}	x_{fi}	d	M_{fi}	x_{fi}	d	M_{fi}	x_{fi}	d	M_{fi}
		(cm)			(cm)			(cm)			(cm)		
$M_{xd}(+)$	1,74	0,44	9	5,52	0,44	9	5,52	0,28	9	3,50	0,21	9	2,62
$M_{yd}(+)$	3,40	0,44	9	5,52	0,44	9	5,52	0,28	9	3,50	0,21	9	2,62
$M_{xd}(-)$	6,40	1,01	7,4	10,01	1,01	6,5	8,72	1,03	5,5	7,28	1,09	5	6,53
$M_{yd}(-)$	7,56	1,11	7,4	10,96	1,11	6,5	9,54	1,13	5,5	7,95	1,20	5	7,12

4.2 Laje nervurada treliçada

O esquema estático adotado para lajes nervuradas é o simplesmente apoiado em todos os bordos; com isso, não se verificam momentos negativos. O dimensionamento em situação ambiente e a verificação em situação de incêndio estão descritos nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Dimensionamento da Laje Nerv. Trelaçada, em situação ambiente

Carregamentos	Valores (kN/m ²)	Características Geométricas		Dimensionamento	
				Momentos (kN.m)	
Peso Próprio (g):	2,3	vão	4,00 m	M _{d,máx} (faixa de 1m)	14,840
Revestimento (g):	1,0	intereixo	0,42 m	M _{d,máx} (nervura)	6,233
Sobrecarga (q):	2,0	h _{Total}	0,16 m	A _s (cm ²)	1,13
Total (g+q)	5,3	h _{Capa}	0,04 m	A _s adotada	4 ø 6,0 mm

Como não se verificam momentos negativos neste tipo de esquema estático, as espessuras a_z e a_{500} são desprezadas, resultando os dois métodos de verificação – Método de Hertz e Método dos 500°C – nos mesmos valores.

Tabela 5 – Resistência dos materiais em situação de incêndio – lajes nervuradas trelaçadas

TRRF	Armadura Positiva			Concreto			
	θ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm ²)	w (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	$k_{c,\theta M}$	$f_{cd,\theta M}$ (kN/cm ²)
30	370	0,960	57,60	16	2,08	1,00	2,08
60	550	0,540	32,40			1,00	2,08
90	720	0,118	7,08			1,00	2,08
120	800	0,110	6,60			1,00	2,08

Tabela 6 – Comparação entre momentos atuantes e resistentes – lajes trelaçadas

Mom. Atuante (kN.m)	Momentos Resistentes (kN.m)								
	TRRF 30		TRRF 60		TRRF 90		TRRF 120		
	x_{fi} (cm)	M _{fi}	x_{fi} (cm)	M _{fi}	x_{fi} (cm)	M _{fi}	x_{fi} (cm)	M _{fi}	
M _{dx}	3,80	1,09	9,15	0,62	5,22	0,13	1,16	0,13	1,08

4.3 Lajes nervuradas protendidas

No caso de lajes nervuradas protendidas, as barras de aço ficam todas contidas na seção de concreto e, geralmente, possuem um diâmetro igual a 4,0 mm, sendo a protensão executada no momento da moldagem.

O esquema estático adotado é o mesmo utilizado para lajes nervuradas treliçadas, com todos os bordos livres.

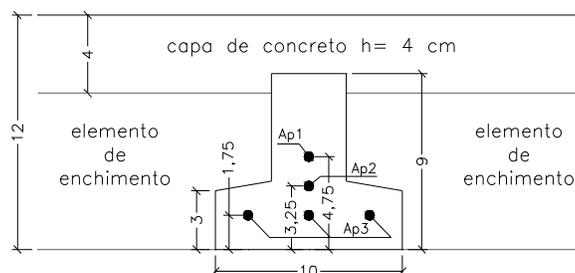


Figura 5 – Esquema de lajes nervuradas protendidas

O dimensionamento em situação ambiente e a verificação em situação de incêndio estão descritas nas Tabelas 7, 8 e 9. Para a obtenção dos esforços resistentes da seção, faz-se uma verificação em Estado Limite Último – ELU, na qual obtém-se a área de aço da seção, supondo uma seção T.

Tabela 7 – Dimensionamento da laje nervurada protendida em situação ambiente

Carregamentos	Valores (kN/m ²)	Características Geométricas		Dimensionamento	
				Momentos (kN.m)	
Peso Próprio (g):	1,75	vão	4,00 m	M _{d,máx} (faixa de 1m)	13,30
Revestimento (g):	1,00	intoreixo	0,50 m	M _{d,máx} (nervura)	6,65
Sobrecarga (q):	2,00	h _{Total}	0,12 m	A _p (cm ²)	0,63
Total (g+q)	4,75	h _{Capa}	0,04 m	A _p adotada	5 ø 4,0 mm

Tabela 8 – Resistência dos materiais em situação de incêndio – lajes nervuradas protendidas

TRRF	Armadura Positiva				Concreto									
	θ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm ²)	w (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	$k_{c,\theta M}$	$f_{cd,\theta M}$ (kN/cm ²)							
30	A _{p1}	100	0,98	125,44	12	2,08	1,00	2,08						
	A _{p2}	220	0,92	117,76										
	A _{p3}	350	0,78	99,84										
60	A _{p1}	250	0,89	113,92			12	2,08	1,00	2,08				
	A _{p2}	400	0,69	88,32										
	A _{p3}	550	0,24	30,72										
90	A _{p1}	400	0,69	88,32					12	2,08	0,98	2,04		
	A _{p2}	500	0,26	33,28										
	A _{p3}	700	0,15	19,20										
120	A _{p1}	450	0,48	61,44							12	2,08	0,93	1,94
	A _{p2}	600	0,21	26,88										
	A _{p3}	750	0,12	15,36										

Tabela 9 – Comparação entre momentos atuantes e resistentes – lajes protendidas

Mom. Atuante (kN.m/1m)	Momentos Resistentes (kN.m)								
	TRRF 30		TRRF 60		TRRF 90		TRRF 120		
	x_{fi} (cm)	M_{fi}	x_{fi} (cm)	M_{fi}	x_{fi} (cm)	M_{fi}	x_{fi} (cm)	M_{fi}	
M_{dx}	3,86	0,97	6,05	0,52	3,13	0,32	1,89	0,24	1,44

5. Conclusões

Neste trabalho, foram verificadas lajes maciças e nervuradas treliçadas em concreto armado e lajes nervuradas em concreto protendido, a fim de se obter um comparativo entre estes tipos de lajes em diferentes situações de incêndio, definidas pela variação do TRRF.

Com isso, pode-se verificar que as lajes maciças se comportam bem em situação de incêndio para TRRF de até 90 minutos; já para TRRF de 120 minutos, os momentos resistentes da seção tornam-se inferiores aos momentos atuantes. Para as lajes nervuradas, devido ao baixo cobrimento das barras de armadura positiva e de protensão, desenvolvem-se nestas barras altas temperaturas, mesmo se considerarmos TRRF de 30 ou 60 minutos.

Com isso, pode-se concluir que para TRRF de 30 minutos, os três tipos de lajes se comportam bem, ou seja, resistem aos esforços atuantes; para o TRRF de 60 minutos, as lajes maciças e nervuradas treliçadas em concreto armado também resistem aos esforços atuantes, já a laje nervurada protendida não resiste a estes esforços.

Para TRRF de 90 minutos, apenas a laje maciça em concreto armado resiste aos esforços atuantes, sendo que os outros dois tipos perdem sua capacidade resistente. Já com TRRF de 120 minutos, nenhum dos tipos de laje aqui discutidos resistem aos esforços atuantes, segundo o método de verificação proposto.

Cabe salientar que com os métodos simplificados de verificação aqui empregados, obtém-se apenas a resistência estrutural da seção, não se obtendo os valores para estanqueidade e isolamento térmico, que se tornam necessários quando as lajes possuem função de compartimentação.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432:2000 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003 Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003 Ações e Segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988. Cap. 8 e 16.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Métodos Simplificados para o dimensionamento de estruturas de concreto sujeitas à flexão simples, em situação de incêndio. In: **Anais** (CD) do 47º Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto. Recife, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.2: General Rules – Structural Fire Design**. prEN 1992-1-2. Brussels, 2004. [Final Draft]

ENTREVISTA – O PAPEL DA ENGENHARIA DE ALIMENTOS



Uma das engenharias que deve crescer muito na região de Jundiaí e no Brasil é a Engenharia de Alimentos, devido à falta de profissionais desta área.

A Revista Engenho entrevistou a

coordenadora do curso de Engenharia de Alimentos do UniAnchieta, Nirse Ruscheinsky, para ver como é o curso e qual o papel deste profissional, com a intenção de informar a população sobre esta carreira.



Por que o UniAnchieta abriu um curso de Engenharia de Alimentos?

Porque a região de Jundiaí, bem como as regiões metropolitanas de São Paulo e de Campinas, carecem de profissionais especializados na área de alimentos. Foi para suprir essa demanda que o UniAnchieta criou o curso de Engenharia de Alimentos, objetivando suprir o mercado regional com profissionais qualificados e formados com visão técnico-científica.

Em primeiro lugar, o curso é destinado a quem gosta de alimentos. O curso também é direcionado a profissionais da área técnica relacionada e que estejam interessados em um curso superior na área, ou egressos do ensino médio que tenham interesse na área da industrialização de

alimentos, controle de qualidade e desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

O curso tem duração de 5 anos, divididos em 10 semestres. E, como todo curso de engenharia, tem muita matemática, física e, principalmente, química e biologia. Com o avançar do curso, as disciplinas se tornam mais específicas e direcionadas para a área de alimentos e seus processos produtivos, mas o aluno também vai ter aulas de administração e economia, assim como de segurança do trabalho, direito e ética.

A região oferece campo de trabalho para estes profissionais? Que tipos de indústria de alimentos existem na região?

A região de Jundiaí engloba também os municípios de Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Itupeva, Louveira e Cabreúva, os quais possuem diversas indústrias de alimentos de pequeno, médio e grande porte, direcionadas para os diversos ramos do processamento de alimentos, como Parmalat (derivados lácteos), Frigor Hans (derivados cárneos), Fini e Perfetti Van Melle (guloseimas), Sadia (Centro de Distribuição e Controle de Qualidade), Sara Lee (cafés), Fuchs, ISP e Emulzint (insumos), Coca Cola, Ambev e Ferráspari (bebidas), Castelo (vinagres e temperos), Palhinha (vinagres), Cereser (bebidas derivadas de uva), Nutrifoods (alimentos a base de cereais), Serra Leste (alimentos em pó), Cinalp (achocolatados em pó), Avícola Paulista (abatedouro de aves), Ricaeli e De Marchi (vegetais e derivados), dentre outras instaladas na região.

Jundiaí é conhecida como “terra da uva”, contudo, a maior parte do vinho da região ainda é feita de maneira artesanal. É possível criarem-se mais indústrias de vinho na região? Como o engenheiro de alimentos participaria desta mudança, se ela fosse

possível?

Hoje a produção brasileira de uva tem dois endereços principais: a região do cerrado, junto ao Rio São Francisco, e o Estado do Rio Grande do Sul. Na última estatística do IBGE, Jundiaí está em décimo segundo lugar em produção de uva.



Nirse Ruscheinsky, coordenadora do curso de Engenharia de Alimentos do UniAnchieta

Economicamente, Jundiaí também tem indústria, comércio e serviços, mas ainda usamos a agradável denominação “terra da uva” e, de certa forma, fazemos jus ao título, uma vez que a uva é destacadamente a principal lavoura da cidade, quase $\frac{3}{4}$ da produção agrícola. Jundiaí (e também a região) é especializada na produção de uva Niágara branca ou rosada, que hoje chega a 95% da produção local. O município possui cerca de 25 milhões de pés da variedade Niágara rosada, o que transforma a região na maior

produtora de uvas de mesa do Brasil. Historicamente, a uva é o grande produto agrícola do município, com quase 2 mil hectares cultivados, apresentando uma produção anual média de 25 mil toneladas, dependendo das condições climáticas.

Como 95% da produção local são de uvas de mesa, a produção de vinhos finos fica restrita aos outros 5%, cuja produção ainda é predominantemente artesanal.

Por outro lado, uma das maiores indústrias de bebidas brasileiras está localizada em Jundiaí e é a maior fabricante nacional de vinhos de mesa, entre outros produtos derivados, tais como filtrados e destilados populares, tendo entre suas marcas a Sidra Cereser, Vinho Dom Bosco, Old Cesar 88, Chuva de Prata, Cortezano e Sucos Jussy.

Para incrementar ainda mais a indústria de vinhos em Jundiaí e região, é preciso primeiro investir no cultivo de variedades da espécie *Vitis vinifera*, tais como Syrah, Merlot, Carbenet Sauvignon, dentre outras, aumentando a produção das variedades de uva específicas para a produção de vinhos finos.

Neste sentido, há um esforço coletivo em curso na região para resgatar a tradição de produção de uva e de vinho no Estado de São Paulo. Esse é o objetivo do Projeto

Revitalização da Cadeia Vitivinícola Paulista: Sustentabilidade, Governança e Competitividade, que tem o financiamento do Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). Este projeto tem diversos parceiros, tendo à frente a Secretaria da Agricultura do Estado, com a atuação dos institutos de Economia Agrícola (IEA), de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e o Agrônomo de Campinas (IAC), além da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati) e da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta). Nesse projeto de incentivo e crescimento da cadeia vitivinícola da região, certamente os engenheiros de alimentos terão seu espaço garantido, desde a obtenção e transporte da matéria-prima, o processamento e produção, até a qualidade, distribuição e administração de toda a cadeia produtiva.

Qual a participação do engenheiro de alimentos em redes de supermercados, redes de *fast food* e outras redes de comércio? Há espaço para um engenheiro de alimentos no setor comercial?

A formação dos engenheiros de alimentos é uma formação que visa preparar o profissional para atuar em todos os segmentos alimentícios, desde a obtenção da matéria-prima (agroindústrias), passando

pelo processamento, qualidade, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, transporte, distribuição e comercialização. Essa formação ampla e dinâmica abre espaço para que o engenheiro de alimentos atue também nos setores supermercadistas, redes de *fast-food* ou de *food-service*, dentre outros, atuando principalmente nos departamentos de qualidade destes setores, tratando-se de um mercado em expansão.

Outro mercado promissor, com boas expectativas, é a área comercial voltada à venda de insumos alimentícios (ingredientes, embalagens e outros itens que entram na formulação e produção de alimentos) e/ou equipamentos para indústrias processadoras de alimentos. Neste caso, a vantagem do profissional formado em Engenharia de Alimentos é a de ter os conhecimentos técnicos para aplicação e formulação dos insumos que fornece dentro das propostas e solicitações do cliente. O mesmo é aplicável quando se fala em venda de equipamentos ou projetos para indústrias.

Além disso, muitos cargos de direção em empresas do ramo alimentício são ocupados por engenheiros de alimentos graças à formação e direcionamento que estes profissionais recebem durante os 5 anos de curso.

O Brasil é conhecido como um grande exportador de alimentos. Hoje se fala de produtos alimentícios semiprocessados. O que são produtos semiprocessados e qual o papel do engenheiro de alimentos nessa produção?

Os alimentos semiprocessados também são conhecidos como alimentos minimamente processados, isso porque eles recebem apenas o mínimo de processamento necessário para que sua vida de prateleira seja estendida significativamente, sem, com isso, perderem de forma expressiva nas suas características sensoriais.

Os vegetais minimamente processados são alimentos ao mesmo tempo práticos e saudáveis. A horticultura brasileira é rica em produtos que potencialmente podem ser utilizados como minimamente processados, destacando-se a alface, a couve, a cenoura, o brócolis, entre outros, os quais apresentam grande aceitação pelos consumidores quando comercializados nessa forma, por questões de conveniência, qualidade e higiene. É um produto com maior valor agregado quando comparado a frutas e hortaliças compradas *in natura* e apresenta ainda outras vantagens para os consumidores, como a conveniência e 100% de aproveitamento do produto adquirido.

No Brasil, a venda de frutas, legumes

e verduras nas grandes redes de supermercados é responsável por 10% a 13% do faturamento total, o que tem levado a um aumento do espaço dedicado a estes produtos. Os produtos minimamente processados são alimentos que passam por lavagem, classificação, descascamento, corte e embalagem. Podem, em alguns casos, passar por um escaldamento e devem apresentar qualidade semelhante de produto fresco.

O engenheiro de alimentos pode atuar em toda a cadeia de produção dos alimentos minimamente processados, desde a escolha das melhores matérias-primas, passando pela aplicação dos tratamentos de processamento e distribuição até o ponto de venda. Mas, neste caso, o maior papel do engenheiro de alimentos está na qualidade do produto, uma vez que a proposta deste tipo de alimento é que ele já venha em condições de ser usado, sem necessidade de outra etapa de higienização doméstica.

É verdade que as guerras ajudaram no desenvolvimento de novas tecnologias de processamento de alimentos?

É sabido que uma das grandes preocupações de guerra era a de manter os suprimentos de armamentos e de alimentos

para os soldados, tanto os do campo de batalha como os que ficavam na retaguarda. A tática de privar um povo de alimentos, impedindo sua população de se alimentar, também foi usada como estratégia dos alemães durante a 2ª Guerra Mundial. Muitos dos prisioneiros de guerra que eram tomados por escravos morreram de fome durante a guerra porque os poucos alimentos que chegavam eram primeiro distribuídos aos combatentes.

Muitas tecnologias para produção de alimentos industrializados surgiram durante as guerras como forma de buscar alternativas à escassez de alimentos causada por estas. Como curiosidade, podemos citar um exemplo de alimento desenvolvido para atender as necessidades das guerras: o leite condensado.

A história conta que na Guerra de Secessão nos EUA (1861-1865) o leite consumido pelos combatentes no *front* era levado até eles através de tração animal, o que era um problema, pois o leite estragava-se no transporte. O calor aumenta a perecibilidade do leite, e precisavam achar uma maneira de levar o leite do quartel até o *front* de batalha sem que ele estragasse.

A solução encontrada foi mudar o "pH" do produto, já que em índices mais baixos (ácido) o leite se conservava por mais

tempo. As vantagens obtidas foram: maior tempo de conservação do produto, o leite tornou-se mais energético e o custo do produto permaneceu baixo. Estava inventado, acidentalmente, o primeiro leite condensado. Porém, o produto não foi patenteado.

Coincidentemente ou não, quatro anos antes, o norte-americano Gail Borden tentava desidratar o leite comum, quando descobriu que, antes de se transformar em leite em pó, o produto se transformava em leite condensado. O leite condensado (sem açúcar) inventado por Borden foi patenteado em 1856, mas só foi valorizado quando estourou a Guerra de Secessão nos EUA, quatro anos depois. Transportando leite em pó e leite condensado para as tropas – e depois colocando esses produtos no mercado – Gail Borden ficou rico. Originalmente o leite condensado era feito para ser diluído em água para ser consumido como leite já açucarado. Depois, durante a 2ª Guerra Mundial, o leite condensado adoçado foi usado para suprir a falta de leite e de açúcar.

A falta de alimentos durante as guerras fez despertar tanto interesse pela produção e industrialização de alimentos que em 1946, após a 2ª Guerra Mundial, foi criada a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação),

acreditando-se que a conjunção dos fatores paz e alimentos em abundância poderia garantir a segurança alimentar. Assim, a organização nascia para fomentar a produção agrícola e garantir a segurança alimentar de todos.