

TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO

Marta Verônica Buss

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC).
Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Biotecnologia (PPGC&B)
da Universidade do Oeste de Santa Catarina.

Edir Filipe Ribeiro

Acadêmico de Engenharia Sanitarista e Ambiental na Universidade
do Oeste de Santa Catarina (UNOESC).

Ivo André Homrich Schneider

Engenheiro de Minas. Mestre e doutor em Engenharia, Área de Concentração: Metalurgia Extrativa pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Prof. do DEMET e do PPGEM da UFRGS.

Jean Carlo Salomé dos Santos Menezes

Químico. Mestre e Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio (UFRGS).
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (PPGEM)
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

RESUMO

O ramo de lavagem e tingimento de roupas é responsável por uma parcela significativa no consumo de água no meio urbano, no entanto são poucas as empresas que preocupam-se em lançar seus efluentes, que apresentam uma diversidade de produtos empregados no processo de lavagem, como tensoativos, amaciantes, alvejantes, tinturas, fibras de tecidos, dentro de um padrão de qualidade estabelecido pelos órgãos ambientais. As poucas que o fazem, limitam-se a processos simplificados de tratamento. O presente trabalho apresenta os resultados obtidos com a utilização de duas alternativas diferentes de tratamento dos efluentes gerados por uma lavanderia industrial típica. Os efluentes foram tratados pelos processos de coagulação-floculação e adsorção-coagulação-floculação utilizando sulfato de alumínio como coagulante. Os resultados obtidos no tratamento dos efluentes quanto aos parâmetros físico-químicos, permitiram à partir de uma comparação com os valores de emissão autorizados pela FEPAM, através da licença operação da empresa, realizar uma análise de capacidade dos processos de tratamento avaliados. O efluente tratado por coagulação/floculação melhorou significativamente a qualidade da água, porém ainda apresentou resultados insatisfatórios quanto ao parâmetro surfactantes, o que faz com que este processo de tratamento seja classificado como incapaz, o efluente tratado por adsorção/coagulação/floculação apresentou bons resultados em todos os parâmetros físico-químicos avaliados e pode ser considerado um processo capaz e de grande confiabilidade em relação a todos os parâmetros de qualidade exigidos pelo órgão ambiental enquanto que o efluente bruto também não atende as exigências de emissão o que impossibilita o lançamento sem tratamento do efluente em um corpo receptor. **Palavras-chave:** água, lavanderias, efluentes, capacidade.

INTRODUÇÃO

A água pode ser considerada como o recurso mineral mais precioso, pois é essencial à vida de todos os seres vivos. Com o crescimento da população humana, e as exigências de consumo e qualidade da água nos mais diversos setores da sociedade, torna-se imprescindível a aplicação de tecnologias para o tratamento e reciclagem da água.

Diante do problema da escassez de água, a legislação ambiental tem ficado mais rigorosa e o descarte de efluentes devem seguir um controle cada vez mais rígido de qualidade. (Coelho et al., 1997). A lavagem de roupas de forma comercial em empresas de pequeno e médio porte é comum nos dias atuais, sendo este um importante setor de serviços. Estima-se que 10% de toda água consumida no meio urbano, seja destinada a operações de lavagem de roupas, o que torna importante o estudo deste tipo de efluente.

No caso específico de efluentes de lavanderias industriais, poucos trabalhos têm avaliado a possibilidade de reciclagem, apesar do setor apresentar um elevado consumo de água. Pesquisas visando o tratamento, a reciclagem ou reúso deste tipo de efluente tem ocorrido principalmente em países onde o custo da água é mais elevado, tanto o seu consumo quanto a sua disposição no meio ambiente (Costa et al., 1997).

Segundo informações obtidas do Sindicato das Lavanderias do Estado de São Paulo, estima-se que existam em torno de 6.000 lavanderias no Brasil. O setor de lavanderias industriais é fracionado em lavanderias de jeans (confecções); lavanderias hospitalares; lavanderias de hotel, motel e restaurante; lavanderias de roupas profissionais; lavanderias de panos industriais; e lavanderias de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). Cada setor tem sua própria característica e modo de operação diverso.

Dependendo da natureza da empresa, a lavagem pode ser para roupas domésticas e/ou industriais. A lavagem industrial pode ser efetuada sobre roupas novas ou usadas. Sobre a roupa nova, operações de desengomagem, estonagem, destruição parcial e amaciamento dos tecidos são comuns. Esses processos variam com a tendência da moda. Sobre roupas usadas, o processo se assemelha muito com a lavagem doméstica. Já no caso da lavagem de uniformes industriais, cujo tecido é mais resistente e possui contaminantes mais

agressivos, os produtos empregados muitas vezes são diferenciados. Algumas lavanderias realizam também o tingimento de roupas, liberando em seus efluentes corantes orgânicos (anilinas) de difícil tratabilidade (Mello, 2000).

Os despejos das lavanderias são geralmente alcalinos, altamente coloridos, contém grandes quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes, além disso apresentam uma DBO 2 a 5 vezes maior que a apresentada pelos esgotos domésticos. O processo de lavagem desprende fibras de tecidos, de tamanhos variados desde trapos até fibras visíveis somente ao microscópio (Wollner et al., 1954). Desta forma, o efluente gerado apresenta carga orgânica, coloração, uma baixa tensão superficial e uma quantidade significativa de sólidos suspensos.

Grande parte do problema ambiental nos efluentes de lavanderias é decorrente dos insumos químicos empregados nos processos de lavagem de roupas, em especial os detergentes. A ação de limpeza da água é melhorada em muito pela adição de substâncias conhecidas como detergentes. Os detergentes são compostos de cadeias carbônicas longas, em cuja extremidade há um grupo de caráter catiônico, aniônico, anfotérico ou não iônico. Esse grupo apresenta caráter hidrofílico, enquanto que a cadeia carbônica apresenta um caráter hidrofóbico, repelindo a água e interagindo com substâncias apolares. Devido a essa característica anfifílica, os detergentes conseguem remover impurezas que a água sozinha não conseguiria (Solomons, 1996).

No caso específico da limpeza de roupas os detergentes mais utilizados são os aniônicos (Osório e Oliveira, 2000). A grande vantagem dos detergentes sintéticos sobre os sabões está no fato destes operarem bem em água dura (água com concentrações de íons Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} e Fe^{+3}). Os sais de cálcio, magnésio e ferro dos detergentes à base de alcanossulfonatos e hidrogenossulfonatos de alquila são muito solúveis em água. Já os sais de cálcio, magnésio e ferro dos sabões precipitam, prejudicando o processo de lavagem.

Os processos de tratamento de efluentes são dimensionados para atender os padrões de exigência da legislação aplicada e/ou normas da própria empresa geradora do efluente. Diversos métodos ou etapas podem ser empregados para atingir tais padrões, sendo que uma subdivisão usual de etapas é feita de acordo com o chamado nível de tratamento

empregado para se atingir os padrões de lançamento do efluente (Tchobanoglous et al., 2003).

Ainda são poucas as empresas que fazem o tratamento de seus efluentes. As que fazem, geralmente empregam o processo físico-químico de coagulação-floculação, a complementação do processo de tratamento físico-químico (coagulação-floculação) dos efluentes pode ocorrer pela adoção de uma etapa de polimento através de adsorção (geralmente como o uso de carvão ativado) ou processos biológicos (Braile & Cavalcanti, 1993).

Segundo (Matsuo e Nishi, 2000) o uso de carvão ativado em efluentes de lavanderias tem como objetivo a remoção de compostos orgânicos solúveis dos efluentes, especialmente os surfactantes. O descarte de surfactantes nos corpos d'água receptores é indesejado, pois forma espumas e reduz a tensão superficial da água, causando danos aos ecossistemas aquáticos (Von Sperling, 1996). O uso de carvão ativado no tratamento de efluentes da indústria têxtil já foi bastante estudado, porém a quantidade de carvão ativado utilizada é bastante alta (McKay, 1982a; McKay, 1982b; Nassar & El-Geundi, 1991).

O uso de processos biológicos é também uma alternativa válida como etapa de polimento dos efluentes, visando a remoção de surfactantes e outros compostos orgânicos presentes nos efluentes de empresas que possuem área disponível para a construção de lagoas de estabilização, que não é o caso da maioria das lavanderias. No entanto Braile e Cavalcanti (1993) relatam que o uso de processos biológicos para tais fins nem sempre é eficiente.

Entre as principais dificuldades encontradas no tratamento deste tipo de efluente pode-se citar a falta de conhecimento sobre as características do efluente e de alternativas de processos para o tratamento do efluente, pouca área disponível (uma vez que a maioria das lavanderias encontra-se no meio urbano) e a falta de mão de obra especializada.

Neste trabalho foi estudado o tratamento da água em uma típica lavanderia industrial situada na cidade de Passo Fundo, RS – a “Lavanderia Expressa”. Essa Empresa realiza a lavagem de uniformes industriais, a lavagem de roupas domésticas e o tratamento de tecidos para indústrias de confecções. No tratamento dos tecidos para as indústrias de confecções, emprega as técnicas de desengomagem, desbotamento, estonagem, destruição parcial de tecidos e amaciamento.

A água de processo é coletada em um poço artesiano e entra com características potáveis. Após o uso é descartada, aproximadamente no mesmo volume, na rede pluvial do município. Utiliza tradicionalmente um processo de coagulação/floculação (com o uso de sulfato de alumínio e polímero floculante) para o tratamento dos seus efluentes, que nem sempre atende aos padrões exigidos pela FEPAM. Nesse contexto, a Lavanderia Expressa é uma lavanderia industrial que demonstra a realidade de muitas empresas similares, e que necessitam melhorias em seus sistemas de tratamento de efluentes, e por isso foi escolhida como alvo deste estudo sendo que foram realizados estudos de tratamento em planta industrial, para avaliação da capacidade dos processos em termos de controle de qualidade da água tratada.

EXPERIMENTAL

TRATAMENTO DO EFLUENTE NA PLANTA INDUSTRIAL

Um “lay-out” da estação de tratamento implantada na Lavanderia Expressa é apresentada na Figura 1. A estação foi projetada para operar em batelada e levou em conta a possibilidade de expansão das atividades da Empresa. Consiste basicamente em uma operação inicial de gradeamento, armazenamento do efluente em um tanque de equalização, bombeamento para os tanques de coagulação-floculação e secagem do lodo em leitos.

A operação de gradeamento foi implantada para remover fibras de tecidos mais grosseiras, que se desprendem e que atrapalham as etapas posteriores do tratamento. O tanque de equalização em alvenaria situa-se abaixo do nível do solo, no pátio empresa, com uma capacidade aproximada de 10 m³.

Os tanques para o tratamento do efluente possuem uma capacidade de 3,5 m³ cada. A agitação, é feita por agitadores rotatórios por pás movidos por motor elétrico. O efluente tratado nos tanques sai por um orifício localizado 40 cm acima da base do tanque. O lodo gerado é removido por uma saída localizada na base e canalizado para os leitos de separação água/lodo.

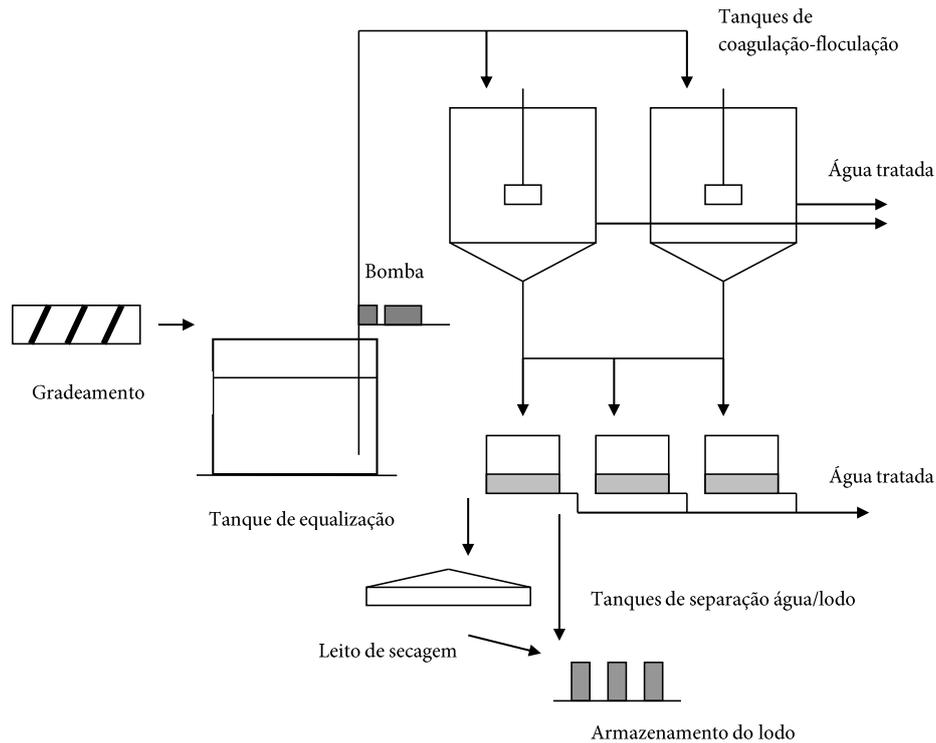


Figura 1. Esquema da estação de tratamento de efluentes da Lavanderia Expressa.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS OBTIDOS NA PLANTA INDUSTRIAL

O acompanhamento do processo industrial foi realizado através de um estudo estatístico da capacidade do processo com 16 amostras obtidas nas três seguintes situações:

- o efluente bruto;
- tratado por coagulação/floculação;
- tratado por adsorção/coagulação/floculação.

Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, DQO e surfactantes. Os parâmetros estatísticos analisados foram: média, desvio padrão, intervalo de ocorrência dos valores e capacidade do processo (Cpk). Os dados obtidos foram comparados com o valor da especificação superior, estabelecida neste trabalho como o padrão de emissão exigido pela licença de operação emitida pela FEPAM, e listados na Tabela 1.

Os dados estatísticos foram obtidos através do uso do “software PROCEP” desenvolvido pela CHTech Desenvolvimento de Sistemas Ltda de Porto Alegre e disponível na página <www.ppgep.ufrgs.br> (Ribeiro & Ten Caten, 2001).

Tabela 1. Padrões de emissão dos efluentes da lavanderia exigidos pela FEPAM (Licença de Operação no 1418/1999-DL).

| Parâmetro | Valor máximo de operação |
|-------------------------|---|
| Temperatura | inferior a 40°C |
| Sólidos sedimentáveis | inferior a 1 mL L ⁻¹ (no Cone de Imhoff) |
| pH | entre 6,0 e 8,5 |
| DBO ₅ (20°C) | inferior a 200 mg L ⁻¹ |
| DQO | inferior a 450 mg L ⁻¹ |
| Sólidos suspensos | até 200 mg L ⁻¹ |
| Surfactantes | até 2,0 mg L ⁻¹ |

Após o cálculo dos parâmetros estatísticos, avaliou-se a qualidade do processo com o índice Cpk (Ribeiro e Ten Caten, 2002). O índice Cpk foi determinado por:

$$Cpk \text{ sup.} = \frac{LSE - X}{3\sigma}$$

onde:

- $Cpk \text{ . sup}$ = Cpk superior
 X – média aritmética dos valores encontrados;
 LSE – limite superior da especificação;
 σ - desvio padrão da amostra

Como no caso a característica é do tipo menor-é-melhor, o limite de especificação inferior (LEI), é teoricamente zero, logo a avaliação da capacidade do processo foi realizada apenas com o Cpk superior. O objetivo foi avaliar a estabilidade e priorizar ações de melhorias no processo. A relação entre capacidade, índice Cpk e o percentual (%) estimado estatisticamente de eventos fora da especificação estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Escala para a avaliação da capacidade dos processos produtivos

| Capacidade | Cpk | % fora de especificação |
|--------------------|------|-------------------------|
| Muito incapaz | 0,33 | 32% |
| Incapaz | 0,66 | 4,4% |
| Capaz | 1,00 | 0,27% |
| Muito capaz | 1,33 | 0,0064% |
| Extremamente capaz | 1,67 | 0,0000% |

Fonte: (Ribeiro & Ten Caten, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TRATAMENTO DO EFLUENTE NA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Seguindo-se a testes em escala de laboratório, foi realizada uma etapa de testes em escala industrial, na Lavanderia Expressa. Os ensaios realizados em escala industrial confirmaram os ensaios realizados em bancada, apresentando resultados já esperados quanto aos parâmetros físico-químicos analisados. Durante a realização destes ensaios em nível industrial, foram coletadas amostras para serem realizadas análises físico-químicas dos efluentes bruto, tratado por coagulação/floculação e tratado por adsorção/coagulação/floculação. Os resultados obtidos na etapa industrial, assim como uma análise do controle estatístico dos processos, estão na Tabela 3 e nas figuras 2, 3, 4 e 5. Os efluentes gerados na estação da lavanderia tiveram os seguintes parâmetros analisados:

- ◆ Sólidos sedimentáveis
- ◆ Sólidos suspensos
- ◆ DQO
- ◆ Surfactantes

Não foram realizadas análises da DBO do efluente, por uma questão operacional, pois é uma análise demorada para ser feita. Porém, uma aproximação do valor pode ser obtida através das análises de DQO, uma vez que a relação DQO/DBO do efluente fica em torno de 4,2 (resultado obtido nos estudos de laboratório). A temperatura exigida, abaixo de 40°C, não foi monitorada porque o efluente sempre era descartado a temperatura ambiente. Além desses parâmetros a licença de operação prevê um intervalo de pH de 6,0 a 8,5, porém o pH sempre foi ajustado para 6,5 em todas as bateladas, em função deste ser o valor de pH que apresentou os melhores resultados de floculação.

A qualidade da água do efluente bruto e após os processos de tratamento foram analisados quanto a sua média, desvio padrão, intervalo dos valores, número de não conformidades e capacidade (Cpk). As análises da capacidade dos processos feitas foram do tipo “menor é melhor”, aplicado quando se tem uma especificação superior a ser atendida e a especificação inferior é tanto melhor quanto mais próximos for de zero os resultados obtidos.

A Figura 2 e a Tabela 3 apresentam os resultados obtidos para o efluente bruto e para os tratamentos por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação, em relação à concentração de sólidos sedimentáveis. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que a única situação que não atende às exigências da FEPAM é o efluente bruto, que em nenhuma situação atendeu as exigências ambientais, podendo ser classificado como muito incapaz. Os efluentes tratados por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação sempre atenderam a especificação no parâmetro sólidos sedimentáveis, podendo ser classificados como extremamente capazes.

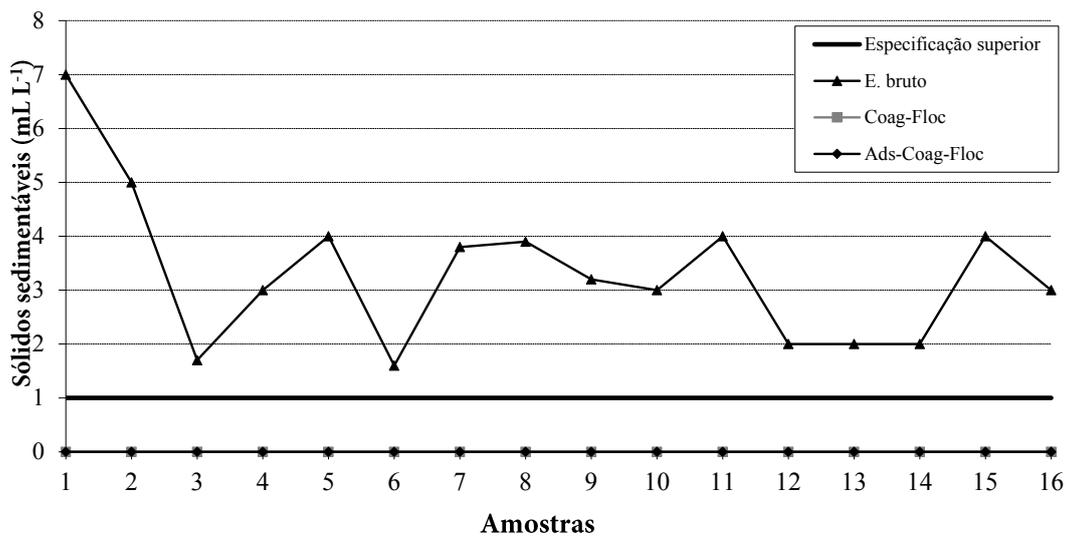


Figura 2. Resultados referentes ao parâmetro sólidos sedimentáveis

Tabela 3. Resultados obtidos no tratamento dos efluentes e avaliação da capacidade dos processos de tratamento utilizados.

| Processo | Parâmetro | Especificação | Média | Desvio Padrão | Intervalo dos valores | Não conformidade (n = 16) | Cpk | Capacidade |
|---------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----------------------|---------------------------|--------|---------------|
| E. Bruto | S. Sedimentáveis | 1mL L ⁻¹ | 3,3 | 1,4 | 1,6 – 7,0 | 16 | - 0,54 | Muito incapaz |
| | S. Suspensos | 200 mg L ⁻¹ | 63,0 | 29,6 | 16 - 130 | 0 | 1,54 | Muito capaz |
| | DQO | 450 mg L ⁻¹ | 543,8 | 243,3 | 179,4 - 1046,5 | 11 | - 0,12 | Muito incapaz |
| | Surfactantes | 2 mg L ⁻¹ | 45,5 | 16,6 | 13,3 – 63,0 | 16 | - 0,87 | Muito incapaz |
| Coag-floc. | S. Sedimentáveis | 1mL L ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | α | Extr. capaz |
| | S. Suspensos | 200 mg L ⁻¹ | 11,4 | 6,8 | 4 - 26 | 0 | 9,24 | Extr. capaz |
| | DQO | 450 mg L ⁻¹ | 189,5 | 100,8 | 41,1 – 399,0 | 0 | 0,86 | Incapaz |
| | Surfactantes | 2 mg L ⁻¹ | 17,4 | 7,3 | 5,9 – 32,5 | 16 | - 0,70 | Muito incapaz |
| Ads-coag-floc | S. Sedimentáveis | 1mL L ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | α | Extr. capaz |
| | S. Suspensos | 200 mg L ⁻¹ | 5,6 | 4,2 | 0 - 15 | 0 | 15,4 | Extr. capaz |
| | DQO | 2 mg L ⁻¹ | 0,28 | 0,27 | 0,05 – 0,8 | 0 | 2,12 | Ext. capaz |
| | Surfactantes | 2 mg L ⁻¹ | 0,28 | 0,27 | 0,05 – 0,8 | 0 | 2,12 | Ext. capaz |

A Figura 3 e a Tabela 3 apresentam os resultados obtidos para o efluente bruto e para os tratamentos por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação, em relação à quantidade de sólidos suspensos. De acordo com os resultados obtidos observou-se que tanto o efluente bruto, quanto os efluentes tratados por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação, sempre atenderam as especificações em relação ao parâmetro sólidos suspensos. Em relação a

este parâmetro, o efluente bruto é classificado como muito capaz e após os processos de tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação os processos classificados como extremamente capazes.

A Figura 4 e a Tabela 3 apresentam os resultados obtidos para o efluente bruto e para os tratamentos por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação, em relação à DQO. De acordo com os resultados obtidos observou-se que

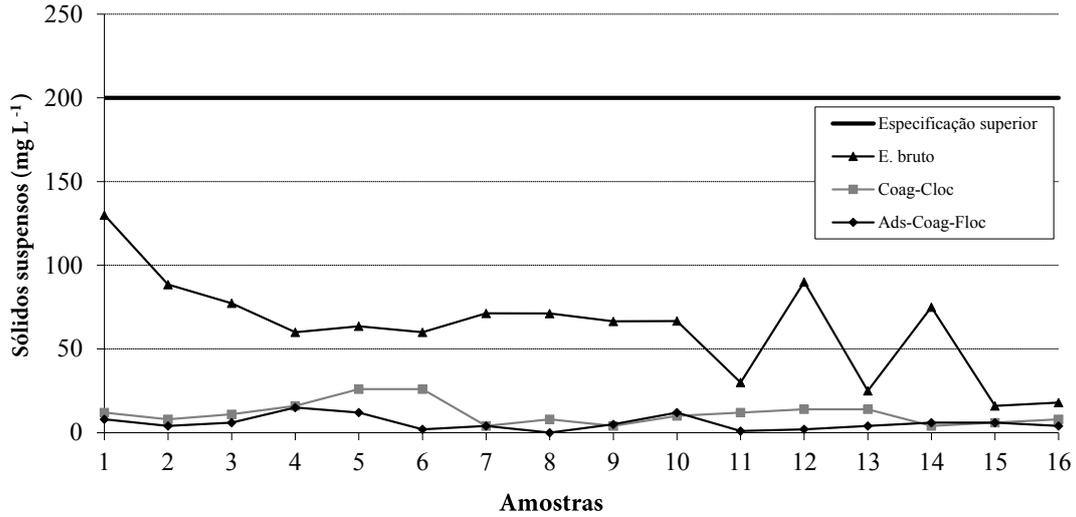


Figura 3. Resultados referentes ao parâmetro sólidos suspensos.

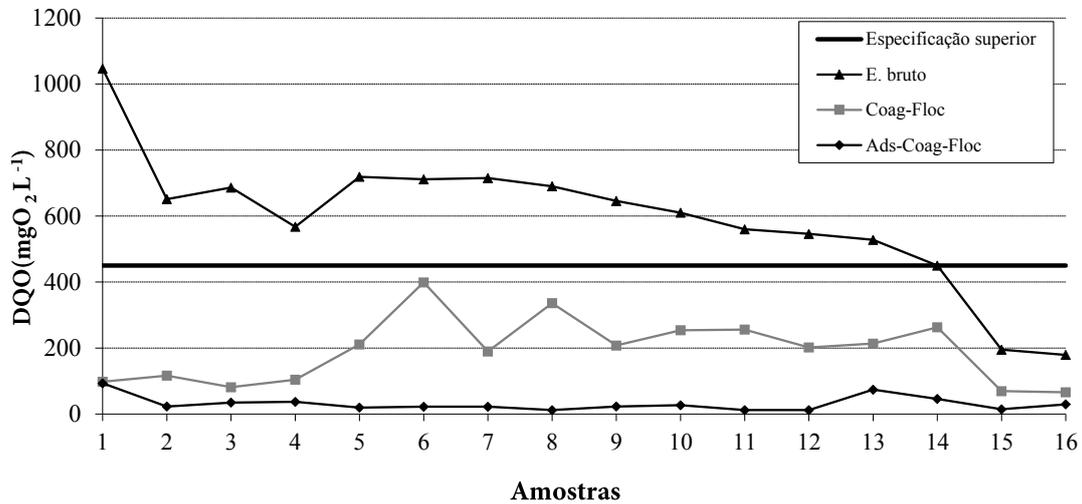


Figura 4. Resultados referentes ao parâmetro DQO.

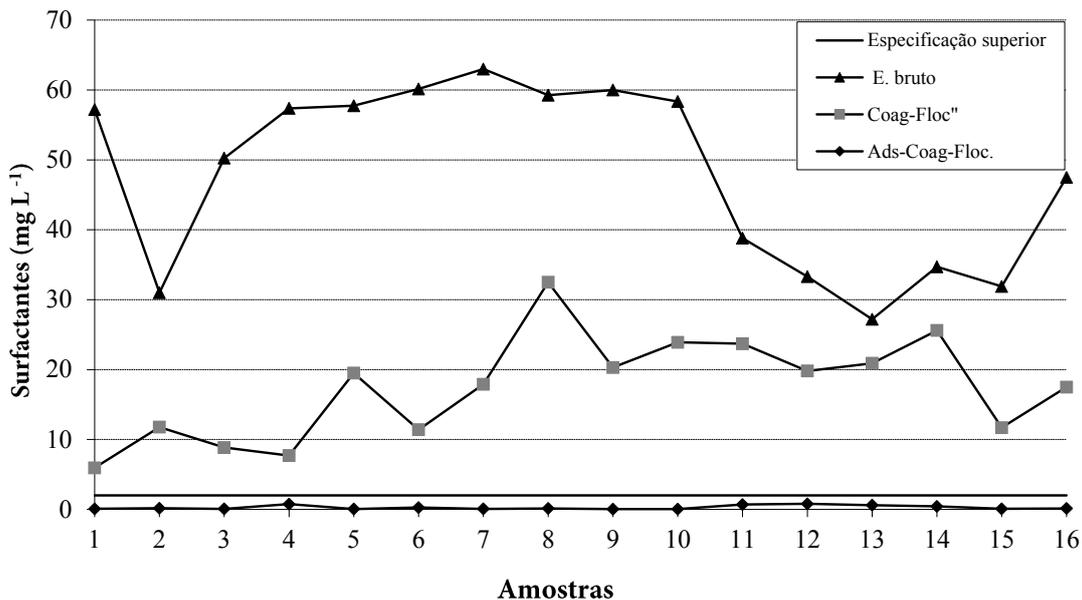


Figura 5. Resultados referentes ao parâmetro surfactantes.

o efluente bruto freqüentemente não atende a exigência da FEPAM, podendo ser classificado como muito incapaz em relação a este parâmetro. O efluente tratado por coagulação/floculação, mesmo não apresentando não conformidades nas 16 amostras coletadas, foi classificado como incapaz. O efluente tratado por adsorção/coagulação/floculação foi classificado como extremamente capaz. Quando o efluente foi originado de uma lavagem doméstica de roupas notou-se uma diminuição do valor da DQO, como nas amostras de número 15 e 16 que mesmo sem tratamento atendem a exigência da FEPAM para descarte do efluente.

A Figura 5 e a Tabela 3 apresentam os resultados obtidos para o efluente bruto e para os tratamentos por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação, em relação à concentração de surfactantes. De acordo com os resultados obtidos observou-se o efluente bruto e o tratado por coagulação-floculação não atendem a exigência da FEPAM, ficando acima do limite da especificação e sendo classificados como muito incapazes. O único processo de tratamento que atende às exigências da FEPAM é o tratamento por adsorção/coagulação/floculação, revelando-se um processo extremamente capaz.

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas mostram que o único efluente que satisfaz às exigências do órgão ambiental é o efluente tratado pelo processo de adsorção/coagulação/floculação. O efluente bruto apresenta problemas quanto aos parâmetros surfactantes, DQO e sólidos sedimentáveis, que ultrapassam os valores determinados pela licença operação da lavanderia, já os efluentes tratados pelo processo de coagulação/floculação, apresenta problemas em relação a DQO em algumas amostras e os surfactantes que permanecem em concentrações acima da permitida em todas as amostras analisadas. Quanto à análise de capacidade dos efluentes, o único processo que é capaz, é o tratamento por adsorção/coagulação/floculação, pois o mesmo é o único que submetido a uma análise de capacidade, foi aprovado em todos os parâmetros exigidos pela FEPAM através da licença operação da empresa.

CONCLUSÕES

- Os principais parâmetros indicativos de poluição no efluente gerados na lavanderia são cor, carga orgânica (expressos em termos de DQO e DBO), sólidos suspensos e surfactan-

tes. O efluente bruto não pode ser lançado diretamente em um corpo hídrico receptor sem prévio tratamento, porque não atende às especificações estabelecidas pela legislação ambiental.

- O tratamento do efluente pelo processo de coagulação/floculação realizado com dosagens de 800 mg L⁻¹ de sulfato de alumínio, pH 6,5 e 2 mg L⁻¹ de uma poliacrilamida catiônica de alto peso molecular, removeu satisfatoriamente sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e DQO, porém não consegue reduzir de forma eficiente a carga de surfactantes presente no efluente, permanecendo um residual de surfactantes acima do limite de operação determinado pela FEPAM.
- O tratamento do efluente pelo processo de adsorção/coagulação/floculação (heteroagregação) realizado com dosagens de 2 g L⁻¹ de carvão ativado, 800 mg L⁻¹ de sulfato de alumínio, pH 6,5 e 2 mg L⁻¹ de uma poliacrilamida catiônica de alto peso molecular, conseguiu atender a todos os parâmetros determinados pela FEPAM, inclusive remover de forma eficiente os surfactantes.
- Os processos de coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação funcionaram em uma planta industrial em batelada com resultados similares aos obtidos em laboratório. O único processo que se revelou capaz de produzir um efluente dentro das especificações para ser descartado em um corpo hídrico receptor foi a adsorção/coagulação/floculação.

REFERÊNCIAS

- Braile, P.M.; Cavalcanti, J.E.W.A. (1993). *Manual de Tratamento de Águas Residuárias*. São Paulo: CETESB. 764p.
- Coelho, C.; Baasch, S.; Fialho, F. (1997). Estudo de caso: a questão ambiental dentro da indústria têxtil de Santa Catarina. In: *19. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 14 a 19 de setembro de 1997, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos...Foz do Iguaçu: ABES. 1 CD-ROM.
- Costa, R.H.R.; Martins, G.B.H. (1997). Práticas limpas aplicadas as indústrias têxteis do Estado de Santa Catarina. In: *19. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 14 a 19 de setembro de 1997, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos...Foz do Iguaçu: ABES. 1 CD-ROM.

- FEPAM, Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. (1999). *Licença de Operação O 1418/99-DL*.
- McKAY, G. (1982a). Adsorption of dyestuffs from aqueous solutions with activated carbon. I. Equilibrium and batch contact-time studies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, London, v. 32, p. 759-773.
- McKAY, G. (1982b). Adsorption of dyestuffs from aqueous solutions with activated carbon II. Column studies and simplified design models. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, London, v. 32, p. 773-778.
- Matsuo, T; Nishi, T. (2000). Activated carbon filter treatment of laundry waste water in nuclear power plants and filter recovery by heating in vacuum. *Carbon*, London, v. 38, p. 709-714.
- Mello, G. (2000). *Caracterização e Tratamento de Efluentes de uma Lavanderia Industrial*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade de Passo Fundo. 20p.
- Nassar, M.M.; El-Geundi, M.S. (1991). Comparative cost of colour removal from textile effluents using natural adsorbents. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, London, v. 50, p. 257-265.
- Ribeiro, J. L. D.; Ten Caten, C. S. (2001). *Controle estatístico do processo: cartas de controle para variáveis, cartas de controle para atributos, função de perda quadrática, análise de sistemas de medição*. Porto Alegre: FEENG/UFRGS. 138p.
- Von Sperling, M. (1996). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Belo Horizonte: Dep. de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. 243p.
- Tchobanoglous, G.; Burton F.; Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse: metcalf & eddy*. Boston: McGraw Hill. 1819p.
- Wollner, H. J. ; Kumin, V.M.; Kahn, P. A. (1954). Clarification by Flotation and Re-use of Laundry Waste Water. *Sewage and Industrial Wastes*, New York, v. 26, n. 4, p. 509-519, Nova York.

Endereço para contato:

Jean Carlo Salomé dos Santos Menezes
UNOESC, PPBC&B, Rua Paese, 198 CEP 89560-000,
Videira, SC, Brasil - Tel: (49) 35334400
E-mail: <jeancarlomenezes@gmail.com>.

GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSAMENTO DE ÁGATAS

Rodrigo de Almeida Silva

Escola de Engenharia Civil, Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: <almeida.silva@ufrgs.br>.

Ivo André H. Schneider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEM

E-mail: <ivo.andre@ufrgs.br>.

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores de gemas de cor, e o Rio Grande do Sul o estado com maior produção de ágatas ametistas e citrinos. Este setor é preponderante na economia das regiões do Alto Uruguai e Planalto Médio, mas apresenta dificuldades tecnológicas, onde destacam-se o grande volume de gemas exportadas em estado bruto com baixo valor agregado e equipamentos com baixa eficiência. Um outro problema detectado é o grande volume de resíduos gerados sem tratamento e destinação adequada. O objetivo do presente trabalho é realizar um diagnóstico do beneficiamento das gemas, identificar os tipos de resíduos gerados e a importância da aplicação da gestão ambiental para este setor industrial. Pode-se concluir que, de forma geral, o setor apresenta um descaso com o meio ambiente onde poucas empresas tratam seus resíduos ainda com a visão de “fim de tubo”.

Palavras-chave: Ágata rolada, resíduo de sílica, beneficiamento de gemas.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se no mercado gemológico internacional como um dos maiores fornecedores de gemas de cor. O Estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela produção de ágatas, ametistas e citrinos. No ano de 2003, as exportações gaúchas no setor foram de US\$ 47 milhões.

O arranjo produtivo local abrange cinco municípios gaúchos: Ametista do Sul (onde se produz ametista e citrino), Salto do Jacuí (produtor de ágata), Guaporé, Lajeado e Soledade onde estão os centros de comercialização e exportação (Figura 1). Há nesses municípios cerca de 300 micro e pequenas empresas atuando no setor (internet, www.finep.gov.br).

A produção de artefato de pedras ornamentais está concentrada em Soledade, Lajeado e

Teutônia. Soledade é o pólo de industrialização e exportação dos produtos de ametistas e ágatas. Cerca de 95% da produção é exportada, principalmente para os EUA, Alemanha e Inglaterra. Segundo o SINDIPEDRAS/RS, existem cerca de 180 empresas (micro, pequenas, médias e grandes) que fabricam artefatos de ametistas e ágatas em Soledade, deste montante, cerca de 30 são exportadoras. O setor mantém ao redor de 1.500 empregos diretos e 3.000 indiretos, representando 31,5% do PIB da economia do município. As exportações de pedras preciosas são responsáveis por 78,9% das exportações do setor mineral do Estado (e-mail <sindipedras@sindipedras.com.br>, Jaqueline Malmam, Arranjos Produtivos de Base Mineral – Setembro/2002).



Figura 1. Mapa da localização da região de Soledade.

PROCESSAMENTO DAS ÁGATAS

O processo industrial compreende basicamente as operações de corte e/ou britagem, lavagem, desbaste (pré-formação, perfuração) tingimento, tratamento térmico e polimento.

O corte é a primeira etapa do beneficiamento das ágatas. É nesta etapa que as peças ganham sua forma definitiva. O geodo de ágata é preso em uma morsa móvel em sentido perpendicular a um disco diamantado acionado por um motor elétrico, a refrigeração do corte é feita por óleo combustível. Esta etapa apresenta grande deficiência, pois muitas vezes os equipamentos são construídos na própria empresa sem levar em consideração parâmetros técnicos construtivos. A britagem é executada em um britador de mandíbulas que tem por objetivo a fragmentação das ágatas.

A primeira lavagem é executada para remoção do óleo oriundo do corte e outros resíduos que possam prejudicar o tingimento uniforme das peças. Detergentes especiais, soluções de soda e sabão em pó são os produtos normalmente utilizados. Após um período de imersão as peças são esguichadas sob pressão e escovadas peça por peça para uma limpeza adequada.

No desbaste, para peças maiores a forma final é dada pelo desgaste com um abrasivo em uma lixa. E para peças menores, em vibradores. Também nesta fase, algumas empresas utilizam equipamentos mais sofisticados chamados copiadoras ou retificadoras.

O tingimento é executado basicamente nas cores inorgânicas, denominadas de quente, que são: verde quente (óxido de cromo), vermelho quente (óxido de ferro), azul (cianeto de potássio), preto (açúcar carbonizado). E as cores obtidas por

corantes orgânicos denominados de frio que são: verde frio (verde brilhante), rosa (rodamina B), roxo (cristal violeta), vermelho (mistura de rodamina B e laranja básico).

O polimento é a etapa final do processo de lapidação e pode ser separado em dois tipos, conforme o tamanho das peças. As peças maiores são polidas em rebolos de feltro fixos e as peças menores são polidas em vibradores com abrasivo. A sequência usual das operações é demonstrada na Figura 2.

Fluxograma do Beneficiamento de Ágatas

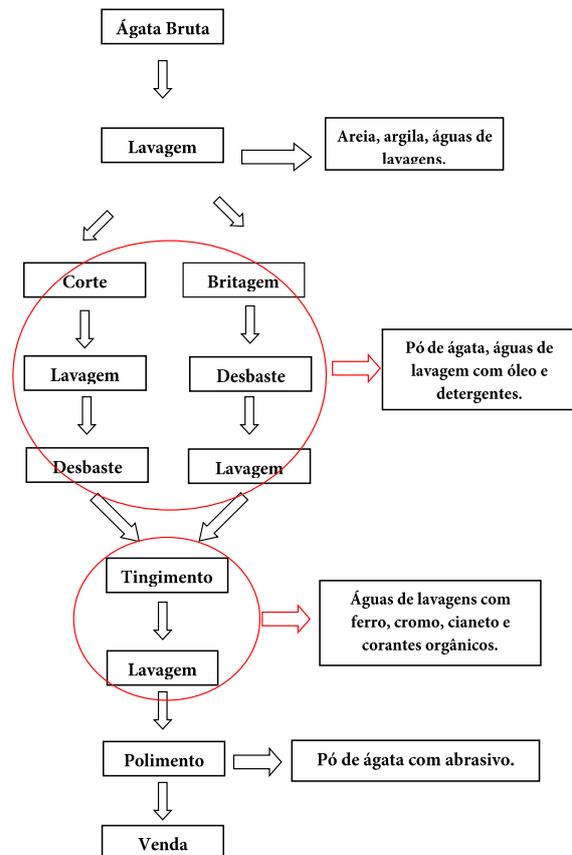


Figura 2. Fluxograma básico do beneficiamento de ágatas.

RESÍDUOS

A industrialização das gemas produz como resíduos lama de corte, íons metálicos, corantes orgânicos em solução e águas de lavagem dos diferentes processos que compreendem o desbaste, polimento, tingimento e lapidação. Numa abordagem otimista pode-se dizer que 65% do peso da ágata bruta é transformado em produto vendável. A tabela 1 relaciona os resíduos com sua origem no processo produtivo (DNPM, 1998)

Tabela 1. Relação dos processos de beneficiamento e tipo de resíduo gerado em cada um

| Processo | Resíduo | Utilização dos resíduos/ destinação |
|--|--|--|
| Seleção: As ágatas são selecionadas de acordo com o critério “exportável”; | Ágatas sem qualidade para o beneficiamento convencional; | O que não é exportado abastece a indústria local; |
| Britagem (opcional ao corte): Produção de fragmentos de ágatas em um britador de mandíbulas seguido por um classificador <i>trommel</i> ; | Fragmentos de ágata abaixo de 3 cm de diâmetro e pó de ágata; | Fragmentos: utilização na indústria de bijuterias. Pó de ágata: aterros de terrenos; |
| Corte: O corte é feito com discos diamantados, refrigerados com óleo naval durante a operação; | Lama de corte (lodo contendo pó de ágata e óleo); | Óleo: Separado do pó e reutilizado no processo. Pó de ágata: Material de preenchimento em argamassas; |
| Lavagem: O material é deixado imerso na solução de limpeza, escovado e enxaguado sob pressão. | Efluente alcalino contendo óleo e detergentes, pó de ágata; | Sem estudos até o momento; |
| Tingimento: A operação de tingimento consiste em colocar as peças de ágatas imersas em uma ou duas soluções subsequentes, dependendo da cor; | Efluente altamente contaminado por íons (ferro, cromo e cianeto) e corantes orgânicos (verde brilhante, rodamina B, cristal violeta entre outros); | Tratamento e descarte em algumas empresas; |
| Desbaste: Para peças menores utiliza-se abrasivo na forma de pó e tambores (similar ao moinho de bolas), para peças maiores são usados abrasivos sob forma de lixa; | Pó de ágata com o abrasivo; | Pó de ágata: aterros de terrenos; |
| Polimento: Para as peças maiores facetadas utilizam-se rebolos de feltro com abrasivo, para peças menores utiliza-se os tambores similares aos utilizados no desbaste. | Pó de ágata, Trípoli. | Pó de ágata: aterros de terrenos. |

DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

Fragmentos de ágatas: Algumas indústrias se especializaram em produzir enfeites e adornos pessoais com fragmentos das ágatas que não apresentam características para confecção de artefatos.

Pó de ágata sem óleo: De forma geral, o pó de ágata é composto por aproximadamente 98% de SiO_2 finamente cominuído com 95% abaixo de $74 \mu\text{m}$. Este material é utilizado atualmente para preenchimento em aterros de terrenos. Segundo Tramontina et al., 1997 o resíduo de pó de ágata pode ser empregado na construção civil como material de preenchimento em argamassas em uma concentração de até 1,25% da massa de cimento e areia.

Pó de ágata com óleo: Nas indústrias com estrutura organizada, a lama resultante do corte das ágatas é processada para separação do óleo. Este processo consiste em misturar água à lama e agitar, formando duas fases, uma com óleo no sobrenadante e outra afundada com o pó de ágata.

Em seguida o óleo é recuperado e retorna para o processo e o pó de ágata é utilizado como agente abrasivo misturado ao pó de trípoli. Então o efluente é conduzido a uma caixa de separação para tratamento.

Efluentes: Os efluentes são tratados por processo físico-químico (ajuste do pH, coagulação/floculação, decantação), sendo o efluente lançado nas águas superficiais e o lodo gerado no tratamento é enviado a aterros de resíduos industriais. A Figura 3 apresenta um esquema convencional de tratamento de efluentes gerado no processo de beneficiamento das gemas.

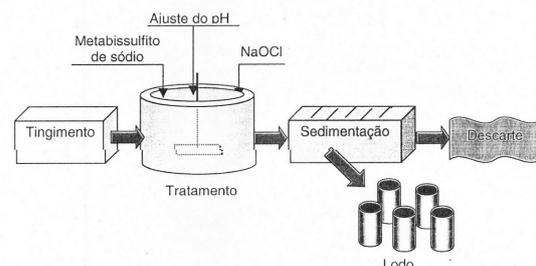


Figura 3. Processo convencional de tratamento do efluente gerado no processo de beneficiamento das gemas (Carissimi, 2001).

Entretanto, o tingimento de ágatas em cores exóticas obtidas com corantes orgânicos vem ganhando espaço, pois apresenta uma boa aceitação no mercado externo, principalmente EUA, Japão e China e os processos produtivos são mais simples. Porém os efluentes oriundos das águas de lavagens apresentam uma coloração intensa e elevada carga orgânica devido aos corantes.

Alguns métodos têm sido desenvolvidos na tentativa de reduzir os impactos causados por estes efluentes altamente corados, onde podem-se citar:

- a. Degradação Fotoquímica. Utiliza a radiação solar como fonte alternativa de energia, porém este método necessita de grandes áreas, baixa vazão e alto tempo de detenção. A adição de semi-condutores como catalisadores do processo vem sendo estudada com algum sucesso para efluentes da indústria têxtil (Daneshvar et al., 2004).
- b. Oxidação com Hipoclorito de Sódio. A descoloração com Hipoclorito de Sódio (NaClO), é a mais utilizada atualmente pelas indústrias, principalmente pela facilidade de aplicação e baixo custo. No entanto, há o risco de que durante a oxidação dos compostos corados ocorra à formação de moléculas de organoclorados. Essas moléculas apresentam propriedades bioacumulativas nos tecidos vivos, alterando o funcionamento celular. Fazem parte do grupo dos organoclorados os PCB's e DDT's, dioxinas e furanos, que são altamente tóxicos (Carissimi et al., 2002).
- c. Processo Oxidativos Avançados: Os processos oxidativos avançados (POA's) baseiam-se na geração do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), espécie com elevado potencial de oxidação. Esse processo possui alta eficiência na oxidação de compostos orgânicos complexos produzindo moléculas mais simples, mais susceptíveis a biodegradabilidade, ou em alguns casos, levando a total mineralização restando apenas CO_2 e H_2O . A reação de Fenton pertence aos processos oxidativos avançados e foi utilizada para tratar o efluente da indústria de ágatas por Carissimi et al., (2006) apresentando bons resultados na descontaminação.

Contudo, atualmente a situação ambiental foi agravada devido à queda do câmbio, pois 95% da produção é exportada. Com o intuito de reduzir os custos de produção, as indústrias com maior porte terceirizaram alguns processos produtivos poluidores para pequenas empresas, transferindo o ônus de tratar os resíduos gerados. Estas pequenas

indústrias, geralmente informais, lançam os resíduos industriais no ambiente sem tratamento prévio, gerando um dano ambiental sem precedentes.

Entretanto, existe um projeto piloto de uma estação de tratamento que deverá remediar a situação. O SENAI, em conjunto com o Centro Tecnológico de Gemas e Jóias de Rio Grande do Sul estão trabalhando neste projeto.

No entanto, todas as ações ambientais que vem sendo executadas para remediar os danos ambientais causados pelas indústrias de beneficiamento de ágatas não estão de acordo com as tendências ambientais, pois tem-se ainda a idéia de que a solução está no fim do processo, ou seja, tratamento de "fim de tubo" e não na aplicação dos conceitos "REDUZIR, REUSAR E RECICLAR". Para que haja uma melhora substancial na diminuição dos impactos ambientais, é necessário uma avaliação em cada etapa do processo produtivo, reduzindo as perdas e aumentando a eficiência, conseqüentemente, proporcionando uma redução na geração dos resíduos.

ESTUDO DE CASO

INTRODUÇÃO

Este estudo foi realizado na empresa **Carioca Indústria e Comércio de Pedras Ltda.** A empresa atua no ramo de beneficiamento de pedras preciosas, produzindo um tipo especial de ágata denominada "ágata rolada".

As gemas utilizadas nesta indústria não são provenientes de garimpos. São retiradas dos campos aráveis (pedras de lavra) e comercializadas pelos próprios agricultores sem intermediários. Os locais de coleta estão distribuídos nas cidades de: Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Casca e Marau sendo que o transporte é realizado pela própria empresa. Cabe ainda salientar que, a retirada destas gemas das áreas agrícolas traz benefícios para os agricultores, em função da limpeza da terra e ainda não gera os danos ambientais dos garimpos tradicionais.

A capacidade atual da empresa gira em torno de 60 ton/mês de pedra ornamental bruta, com uma recuperação em torno de 15% de produto comercializável. Para executar o beneficiamento das pedras preciosas são utilizados principalmente os seguintes reagentes: ácido sulfúrico, ácido clorídrico, corantes orgânicos, sais inorgânicos, parafina e carbureto de silício entre outros.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Os geodos brutos coletados são depositados no pátio da empresa, após são cominuídos em um britador de mandíbulas para atingir o tamanho adequado. Então os fragmentos são colocados em uma bateadeira (grande moinho de bolas) que fica girando por 35 horas para que as peças sejam desbastadas. Após este processo as peças são colocadas em outro moinho de bolas, e é adicionado carbureto de silício como abrasivo. Na próxima etapa ocorre o polimento, que consiste em retirar o excesso de abrasivo através da lavagem e repetir o processo no moinho.

As peças já polidas são colocadas em uma bancada e separadas manualmente por tamanho. Depois de classificadas as peças são colocadas em uma solução de ácido sulfúrico a quente. Segundo o proprietário, esta etapa serve para permitir um tingimento mais homogêneo. Então é executado o tingimento, onde as peças ficam imersas durante três dias a quente, nas soluções características. Após a coloração as peças são lavadas, parafinadas e comercializadas.

Dos resíduos gerados nesta empresa pode-se destacar a produção de pó de ágata (45 ton/mês), efluente contendo H_2SO_4 , cromo, ferro, cianeto e corantes orgânico oriundos do processo de tingimento com volume de $2,5m^3/mês$. Esse efluente é tratado em batelada. Houve também um comentário de um funcionário que o pó de ágata foi usado como agregado miúdo em argamassa. Estas informações podem ser melhores compreendidas através da Figura 4.

O tratamento dos efluentes é feito pelo processo físico-químico, similar ao descrito por Carissimi, (2001) que utiliza o metabissulfito de sódio para redução do cromo (VI) para cromo (III) em pH 2. Então eleva-se o pH para 9,0 – 10,0 e adiciona-se hipoclorito de sódio para oxidar o cianeto de potássio. Após ajusta-se o pH para 6,5 – 7,5 e adiciona-se o sulfato de alumínio para clarificação do líquido. O líquido então é levado a um sedimentador para separação do sólido gerado. O líquido é descartado na rede pluvial e o lodo é acondicionado em bombonas e enviado para aterro de resíduos perigosos.

Fluxograma do Beneficiamento de Ágatas Roladas

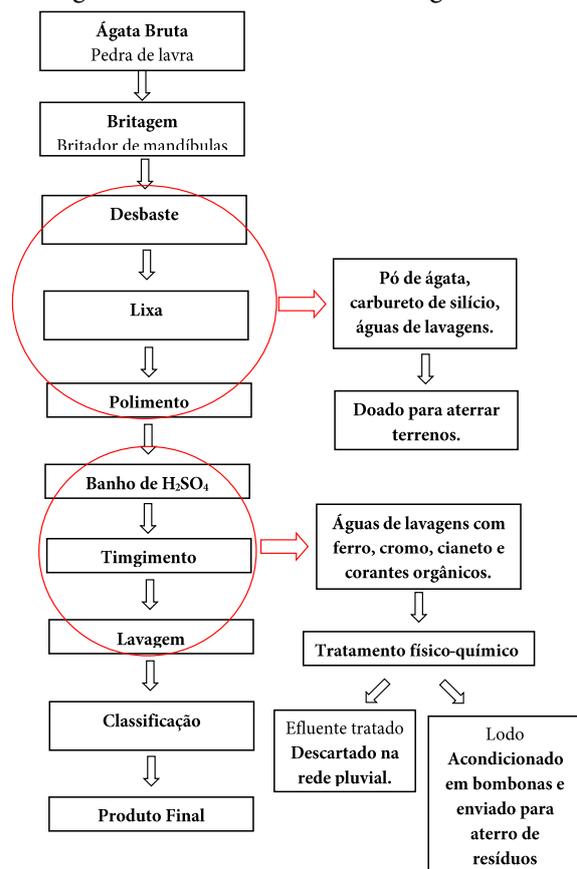


Figura 4. Fluxograma do processo de beneficiamento da ágata roladas.

Segundo o empresário, as principais dificuldades do setor são o câmbio baixo, concorrência predatória e a falta de profissionalismo. Apesar das dificuldades financeiras da empresa, percebeu-se que há uma preocupação com a prevenção de danos ambientais por parte do empresário. Também verificou-se o desejo por parte da direção da empresa de iniciar a conquista certificação ambiental para seus produtos, pois segundo ele, o mercado europeu demonstra grande interesse em produtos ecologicamente corretos.

Entretanto, apesar do interesse que a direção da empresa demonstrou em relação ao meio ambiente, o tratamento é realizado nos moldes de “fim de tubo”. Percebeu-se que há espaço para a aplicação das normas ambientais tanto da série ISO 14.000, como os conceitos de Produção Mais Limpa entre outras.

CONCLUSÕES

O setor de pedras preciosas tem grande influência no desenvolvimento econômico da região.

Devido ao grande número de empresas de pequeno porte e informais, a fiscalização ambiental fica prejudicada. De forma geral, o setor de pedras preciosas, especificamente, na região de Soledade, demonstra um descaso com o meio ambiente. O tratamento dos resíduos é executado em poucas empresas, cerca de 2%. Além disso, com a queda do dólar, em algumas empresas de grande porte houve uma terceirização dos processos produtivos poluidores, com o objetivo de reduzir os custos operacionais. As poucas empresas que tratam seus efluentes utilizam o método tradicional onde o objetivo é transferir os poluentes de uma fase dispersa para outra concentrada sem levar em conta as vantagens dos novos processos de tratamento. Contudo, algumas empresas estão percebendo a importância da preservação do meio ambiente como forma de atingirem novos mercados que preferem produtos ecologicamente corretos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa Carioca Pedras Indústria e Comércio Ltda na pessoa de Alzemar Cortes Corrêa, pela atenção e oportunidade de realizar o estudo sobre o processo de produção da ágata rolada e a Andréa Lamaison Soares Bonfante pelo auxílio neste trabalho.

Agradeço a Capes pelo auxílio financeiro que tornou possível a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, A.L., Pizzolato, T.M., Carissimi, E., Schneider, I.A.H. (2006). Decolorizing dye wastewater from the agate industry with Fenton oxidation process. *Minerals Engineering*, 19. 87–90.
- Carissimi, E., Pizzolato, T.M., Machado, M.E., Schneider, I.A., Colour removal with NaClO of dye wastewater from in agate-processing plant in Rio Grande do Sul. *Journal Mineral Processing*, 65, p. 203-211, 2002.
- Carissimi, E. (2001). *Tratamento de Efluentes do Tingimento de Ágatas por Oxidação Química*. 41f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Departamento de Engenharia Civil da UPF, Passo Fundo.
- Daneshvar, N., Salary, D., Khatagee, A. R. (2004). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO₂. *Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 162. p. 317-322.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) (1998). *Ágatas do Rio Grande do Sul*. Série Difusão Tecnológica, Brasília.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) (1974). *Perfil Analítico da ágata*. Rio de Janeiro, Boletim nº29.
- FINEP (2004). *Setor de gemas e jóias do Rio Grande do Sul recebe R\$ 1 milhão*. Disponível em: http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=322
- INSTITUTO METAS (2002). *Aglomerados: Região de Soledade – Rio Grande do Sul Gemas. Arranjos Produtivos*. Setembro.
- SINDIPEDRAS/RS. - Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul. (2007, 2:41 pm). E-mail sindipedras@sindipedras.com.br, Sent: Tuesday, May 29.
- Tramontina, L., Casagrande, L., Schneider, I. A. (1997). Caracterização e Aproveitamento do Resíduo da Serragem de Pedras Semi-Preciosas do RS. In: *Congresso Internacional de Tecnologia Metaúrgica e de Materiais - ABM*, 1997, São Paulo. Anais do 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metaúrgica e de Materiais - ABM.

Endereço de correspondência do autor:

Ivo André H. Schneider
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PP-GEM
 Centro de Tecnologia, Av. Bento Gonçalves 9500,
 Caixa Postal 15021, CEP: 91501-970,
 Porto Alegre, RS, Brasil.
 Fone: (0xx) 51 33087104 / Fax: (0xx) 51 3308-7116

ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIOS CANVAS PARA SETORES DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Claudio Alcides Jacoski

Dr. Eng. de Produção (UFSC). Docente do Programa de Pós Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação

André Scapin

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação – Unochapecó.

Lissandro Hoffmeister

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação – Unochapecó

Marcelo Fabiano Costella

Dr. Eng. de Produção (UFRGS), Programa de Pós Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação

RESUMO

Este artigo apresenta o uso de tecnologias de modelagem de negócios para propor modelos em setores da construção civil. O modelo de negócios representa uma orientação lógica da formação de valor de uma empresa, agregando parceiros, clientes e concorrentes. O método utilizado *Canvas* tem como características a possibilidade de relação de subsetores da empresa com o mercado, interagindo a partir do modelo e processo do negócio, gerando um fluxo de controle sistêmico. Quatro setores da construção civil foram escolhidos para a modelagem de negócios: construtora, incorporadora, escritório de projetos e empreiteira. Utilizou-se o quadro *Canvas* para definição do modelo de negócio, baseado nas exigências dos clientes das empresas do macrossetor da construção de edificações. Observou-se que os setores estudados possuem exigência diferenciadas de mercado, tendo necessidade de usarem ferramentas de modelagem dos processos e TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) como propostas de valor e necessidade de relacionamento com seus clientes. Ao estruturar um novo negócio no setor da construção civil, há condições de se estabelecer um padrão inicial de condições apontadas no quadro formulado. Com o quadro *Canvas* foi possível criar um modelo de empresa integrado entre as interfaces do negócio, estruturando cada empresa/setor de forma sistêmica para satisfação do cliente e definindo de forma estratégica, as melhores condições para atuação competitiva no mercado. **Palavras-chaves:** modelagem de negócios, *Canvas*, construção civil, competitividade, inovação.

INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, o foco principal das organizações esteve direcionado aos produtos. O mais importante era produzir um grande número de produtos padronizados, tratando todos os clientes da mesma forma. No entanto, com a evolução atual, com a globalização do mercado, a competição se tornou mais acirrada e, somando

ainda todas evoluções tecnológicas, as organizações se viram obrigadas a mudarem seus conceitos. Os clientes passaram a ser o foco, exigindo cada vez mais um tratamento individualizado (Araujo *et al.*, 2004). As organizações procuram, agora, utilizar novas técnicas, tecnologias, padrões e paradigmas que ajudem a alcançar eficiência e eficácia em seus processos, produtos e serviços e assim atender às necessidades individuais dos seus clientes.

Junto com essa mudança de foco, as organizações se deparam com a necessidade de ampliar a visão do negócio em relação aos seus departamentos. Observou-se então, que dentro das organizações, para acompanhar as mudanças e expectativas do mercado, a antiga visão departamental (ou funcional) deveria evoluir para uma visão mais aperfeiçoada que evitasse vários problemas que a visão departamental traz consigo (Santana & Andrade, 2011). Essa evolução está levando às organizações a constituírem uma visão de processos, que permite à organização uma visualização mais detalhada e, ao mesmo tempo, abrangente do seu negócio.

Frente a essas mudanças as tecnologias de modelagem de negócios se colocam como importante mecanismo para acompanhamento dos processos permitindo resolver muitos problemas já na origem, reformulando o esquema estrutural da empresa, e fortalecendo a sustentabilidade das ações estratégicas das corporações.

O modelo de negócio demonstra o sistema da empresa, cada setor e etapa a ser elaborado no projeto; enquanto que a estratégia de negócio considera toda a cadeia de valor da empresa como mostra a figura 01, verificando as compras da empresa e as vendas ao consumidor. O modelo e a estratégia de negócios, quando desenvolvidos de forma correta e planejada, permitem melhores resultados corporativos e operacionais.

Há necessidades além da estratégia de negócio visando a disputa em mercados competitivos. Segundo Martin (2009), é necessário definir o cliente, o valor para o cliente, como será conseguido a receita necessária e o lucro para determinado negócio, e como ofertar o melhor serviço a um preço competitivo.

O termo Modelo de Negócios começou a ser utilizado na década de 90, e desde então vem ampliando-se na literatura científica. Conforme Martikainen, Niemi & Pekkanen, (2013), de uma maneira mais simplificada, o modelo de negócios define como a empresa entrega valores aos seus clientes, além da formação de receita em lucro.

Quando se fala sobre modelo de negócio, destaca-se o *Business Model Generation* (Osterwalder; Pigneur, 2009), resultado de pesquisas do suíço Alexander Osterwalder (Osterwalder, 2004), responsável pelo fenômeno que esse termo se tornou na comunidade de empreendedores, em especial, os empreendedores digitais. Como continuação do seu trabalho, Osterwalder propôs, em

conjunto com 470 consultores do mundo inteiro, uma ferramenta de visualização do modelo de negócio, a técnica *Canvas*. Trata-se de uma representação visual de todos os elementos de negócio que juntos contribuem na geração e manutenção da cadeia de valor entre a empresa e o mercado.

Outros estudos vem ampliando o escopo do estudo de Modelagem de Negócios. Como apresenta Lindgren (2012) as pesquisas sobre o BMI (Business Model Innovation), e o BMIL (Business Model Innovation Leadership), ambos estudados no enfoque a pequenas e médias empresas pelas pesquisas de (Zott, 2011), (Teece, 2012).

O SETOR DA CONSTRUÇÃO E A MODELAGEM CANVAS

CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Frente ao desenvolvimento do setor da construção civil, que é um setor de grande dinamicidade na geração de renda e emprego, além de constituir-se em um importante instrumento social, pois absorve a mão de obra variável do país e tem grande poder de reprodução de empregos diretos e indiretos, observa-se que ainda há dificuldades na estruturação das empresas nascentes, o que implica no fechamento prematuro de empresas neste setor. Embora não existam estudos conclusivos específicos sobre o setor da construção, no país, segundo relatório do Sebrae (Sebrae, 2008), há uma média de mais de 27% de taxa de mortalidade em empresas nascentes com até um ano de vida. Desta forma, justifica-se uma estruturação muito clara do negócio para que as adversidades e as condições impostas pelo mercado extremamente competitivo, possam ser enfrentadas.

Segundo Cadeia Produtiva (2013), em 2012, os impostos e taxas gerados pelas atividades da cadeia produtiva da construção, representaram uma carga tributária de 23,6%, percentual semelhante ao observado nos anos recentes. Frente ao ano anterior, a arrecadação cresceu 4,3% em termos nominais, o que representou uma queda real de 1,6%, mas se mantendo constante no seu desenvolvimento gerando oportunidades de trabalho e se desenvolvendo para melhorias nos processos da construção civil.

Espera-se que o setor segundo FGV/CBIC (2012), consiga manter o ritmo de crescimento na casa de 4,5% a 5% nos próximos anos. Este patamar somente poderá ser mantido com o crescimento de novas empresas, estruturadas e organizadas com foco na competitividade. Certamente esse resultado para ser atingido tem que considerar outros fatores também, como o acompanhamento evolutivo de outros setores da economia, políticas públicas de incentivos, dentre outros. A construção civil hoje trabalha em um patamar muito diferenciado do que se via na década passada, seja em termos econômicos, organizacionais, tecnológicos, sociais e de relação com o meio ambiente. Portanto, a estrutura organizacional da década passada, que tinha ausente as ferramentas de gestão tratadas neste trabalho, não se adapta mais ao mercado atual, exigindo significativas mudanças de funcionamento, comportamento e posicionamento.

Não bastassem as adversidades apontadas, o setor da construção é conhecido pela sua fragmentação (Jacoski, 2003) e pelas condições diferenciadas da sua cadeia produtiva que possui diversos atores, a maioria atuando de maneira desconexa com o restante do setor. Segundo o Sebrae (2008), o macrossetor da construção civil é composto pelas construtoras, incorporadoras e prestadoras de serviços. Além dos vários segmentos da indústria de materiais de construção e do comércio. Na pesquisa optou-se por estudar quatro setores de importância econômica e organizativa da cadeia produtiva da construção, as construtoras, as incorporadoras, empreiteiras e escritórios de projetos.

A MODELAGEM DE NEGÓCIOS CANVAS

A academia tem buscado estruturar o conhecimento ligado a Modelagem de Negócios podendo-se citar: (Magretta, 2002; Afuah, 2003; Morris, 2003; Osterwalder, 2004; Chesbrough, 2006; Taran, 2011; Zott, 2010; Teece, 2012; Lindgren, 2011). Neste contexto, o próprio Lindgren (2012) afirma que, com base nestes estudos anteriores, a terminologia ligada aos negócios parte de um conjunto de 7 dimensões: Proposição de valor; Grupo de clientes; Cadeia Produtiva; Competências, Redes (networks), Relação entre negócios e Forma de valor.

De acordo com Osterwalder (2004), modelo de negócio pode ser conceituado como a descrição da lógica de como uma organização cria,

distribui e captura valor. Os modelos de negócio relacionados à visão tradicional das organizações da era industrial com pensamentos da eficiência e otimização de processos têm se tornado inadequado às organizações do conhecimento, afetadas pelo ritmo crescente de mudanças radicais e imprevisíveis no ambiente empresarial. Essa reformulação da natureza do negócio e da natureza da própria organização caracteriza as mudanças de paradigma que são a marca da inovação do modelo de negócio.

Baseado nestes princípios o objetivo de Alex Osterwalder criador do modelo *Canvas*, em sua tese de doutorado (Osterwalder, 2004), apresentada à Universidade de Lausanne, na Suíça, foi definir, a partir de outro ponto de vista, o que é modelo de negócio, e o que é realmente relevante para representar um modelo de negócio, utilizando uma ontologia.

Alexander Osterwalder em 2004, utilizou conceitos de *Design Thinking* para elaborar a ferramenta visual, chamada de *Canvas*. O *Design Thinking*, ou “pensar como um designer”, é uma abordagem utilizada na criação de produtos e, mais recentemente, na inovação em negócios. Baseia-se em colocar as pessoas no centro do desenvolvimento do projeto, gerando resultados mais favoráveis a elas. A metodologia estimula a criatividade, curiosidade, validações iterativas e o foco no cliente, mantendo o produto ou o negócio sempre alinhado às expectativas do cliente (Pires & Queiroz, 2012).

Com esta ferramenta de representação de modelo de negócio, Osterwalder propôs a utilização de um *Business Model Generation* (Geração de Modelo de Negócio) uma ferramenta para descrever, analisar e construir modelos de negócio, e que relaciona graficamente os chamados “Nove Blocos de Construção do Modelo de Negócio” (Osterwalder & Pigneur, 2009).

OS NOVE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIO – CANVAS

Com base no *design thinking* para demonstração e pelo trabalho de ontologia de Osterwalder foram efetuadas divisões de nove blocos do *Business Model Canvas* demonstrado na figura 1, considerando o grau de importância e segmento de área

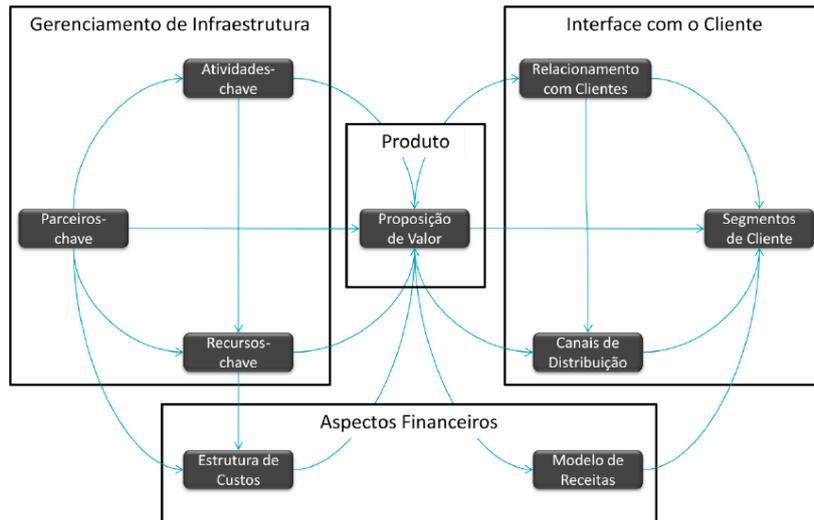


Figura 1. Pilares do modelo de negócio e seus blocos de construção

Fonte: Pires, E. M.; Queiroz, R. J. G. B. (2012).

Ampliando visualmente a condição de estruturação de um negócio, é possível compreender de forma facilitada, como pode ser visto na figura 02 a partir da representação gráfica proposta por Osterwalder e Pigneur (2009), na constituição das condições e das relações de cenários, oferecendo uma visão estratégica e de posicionamento. Da estrutura dos blocos do *Canvas*, fica demonstrando as interações de cada bloco e

o ciclo para criação do modelo de negócio. Não obstante a estar se apresentando esta ferramenta para criação de empresas, pode-se observar que o modelo permite sua utilização para readequação a empresas no mercado que pretendam inovar e posicionar-se de maneira mais competitiva, avaliando o cenário e as relações entre a proposição de valor da empresa, os clientes atuais e futuros, custos, atividades chave, etc.

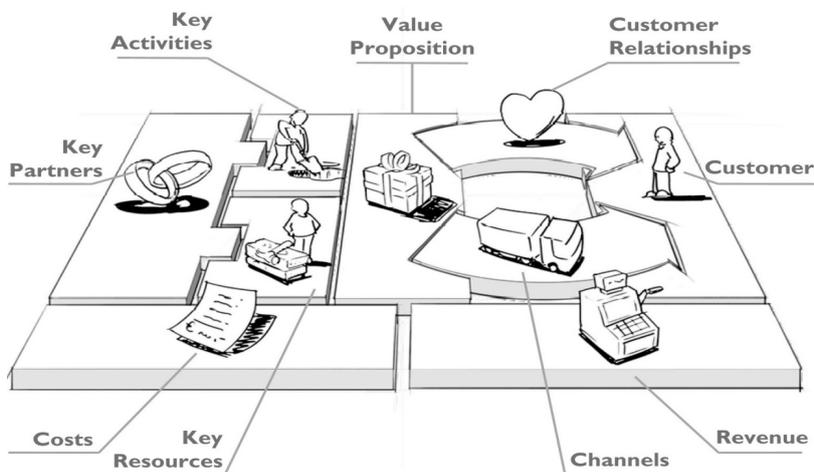


Figura 2. Representação gráfica do modelo proposto por Alexander Osterwalder (original)

Fonte: Osterwalder, A. (2004).

Os blocos são divididos em: (blocos que tratam de relacionamento com os clientes) segmentos de clientes, proposição de valor, canais de distribuição, relacionamento com os clientes; (demais blocos), fluxo de receita, estruturas de custo, recursos, atividades e parceiros chave. Segue uma definição de cada um dos blocos componentes:

a) Segmentos de Clientes (*Customer Segments*) - Um modelo de negócios pode definir

um ou vários segmentos de clientes, de pequeno ou grande porte. Compete à organização decidir sobre quais segmentos pretende atender. O modelo de negócio deve ser projetado considerando adequadamente as necessidades específicas do cliente pretendido tendo como ponto focal para quem a organização está criando valor.

A segmentação de clientes é feita baseada em critérios. Um critério define quais são as caracte-

rísticas para um segmento de clientes considerado no negócio. Um segmento consiste em um grupo de clientes que possuem as mesmas necessidades, os mesmos comportamentos e compartilham os mesmos pensamentos. Ao identificar todos os segmentos de clientes do negócio, alguns podem ser mais atrativos que outros. O objetivo é manter o foco naqueles segmentos que realmente vão consumir o valor a ser entregue, e vão manter a empresa em crescimento (Pires & Queiroz, 2012).

Diferentes grupos de pessoas ou organizações que a empresa pretende servir, com necessidades ou comportamentos comuns, claramente definidos. São o “coração” de qualquer modelo de negócio.

Para uma Startup (empresa nascente) com recursos limitados, quanto maior o recorte do segmento (nicho), melhores são as chances de se identificar e atender as necessidades reais dos clientes, porém esse nicho deve ser grande o suficiente para formar um negócio potencial atrativo. No entanto, no início das iterações os empreendedores ainda não têm evidências suficientes para tomar uma decisão consciente de quais segmentos a empresa pretende servir e quais deve deixar de fora (Pires & Queiroz, 2012).

Grupos de clientes representam segmentos distintos se:

- ◆ Suas necessidades exigem e justificam uma oferta diferente;
- ◆ São alcançados por canais de distribuição diferentes;
- ◆ Exigem diferentes tipos de relacionamentos;
- ◆ Tem lucratividade substancialmente diferentes;
- ◆ Estão dispostos a pagar por aspectos diferentes da oferta.

Perguntas importantes:

- Para quem estamos criando valor?
- Quais são as características deste(s) segmento(s)?
- Quem são os nossos potenciais clientes mais importantes?

O sucesso de uma empresa depende do grau de satisfação de seus clientes (Osterwalder & Pigneur, 2009), bem como do tamanho do mercado dos segmentos de clientes escolhidos para serem priorizados.

b) Proposição de Valor (*Value Proposition*)

- Este bloco representa os pacotes de produtos e serviços que geram valor para os segmentos de

clientes específicos. Esses produtos e serviços são a forma como as necessidades e os desejos desses clientes são atendidos, ou seja, os benefícios oferecidos pela empresa. São exemplos de Proposições de Valor: Novidade, Performance, Customização, Funcionalidade, Design, Marca/Status, Preço, Redução de Custos, Redução de Riscos, Acessibilidade, Conveniência/Usabilidade, Geração de Receita, etc. (Osterwalder & Pigneur, 2009).

Perguntas importantes:

- Que valor nós entregamos para o cliente?
- Quais problemas dos clientes nós estamos ajudando a resolver?
- Que necessidades dos cliente nós estamos satisfazendo?
- Que pacotes de produtos/serviços nós estamos oferecendo para cada Segmento de Clientes?

Exemplos de proposição de valor são: novidade, performance, customização, marca, luxo, preço baixo, acessibilidade, comodidade, etc. O valor não são necessariamente as funcionalidades de um sistema entregue ao cliente, mas são o que o cliente obtém de ganhos com a utilização do sistema. Projetar valores baseado nos sentimentos dos clientes é a melhor decisão.

c) Canais de Distribuição (*Distribution Channels*) - O terceiro bloco de construção do modelo de negócio são os Canais de Distribuição. Conforme a definição de modelo de negócio, a empresa precisa entregar o valor ao seu cliente. Os canais são o meio pelo qual o cliente obtém os valores do negócio. Além disso, o canal de distribuição também descreve como a empresa leva até o cliente o valor, e como faz o cliente perceber o que a empresa oferece. Descreve quais os caminhos pelos quais a empresa comunica e entrega valor para o cliente.

Os canais de comunicação, vendas e distribuição do produto são a interface da empresa com o cliente. Servem para ajudar o cliente a conhecer e avaliar a proposição de valor do produto, efetuar a compra e uso do mesmo e posteriormente receber suporte e assistência. Encontrar a combinação correta de canais – próprios e/ou através de parceiros – é essencial para conseguir “entregar valor” para o público-alvo (Osterwalder & Pigneur, 2009).

Perguntas importantes:

- Por quais Canais nossos Segmentos de Clientes podem/querem ser abordados?

- Como esses Canais estão integrados?
- Qual é o Custo/Benefício da utilização de cada Canal?

d) Relacionamento com Clientes (*Customer Relationships*) – A forma de relacionamento está intrinsecamente ligada ao perfil de cada segmento de clientes. Mais do que nos outros blocos, a empresa deve definir diferentes mecanismos para criar e manter relacionamentos e o nível de envolvimento do cliente. Quanto maior for o envolvimento e o interesse do cliente, mais fácil será manter a rentabilidade com os clientes adquiridos. Para escolher as estratégias de relacionamento com os clientes, é preciso definir o foco do negócio para aquisição, retenção e venda de produtos/serviços extras. Essas três estratégias podem e devem coexistir no modelo de relacionamento com os clientes (Osterwalder, 2004).

Perguntas importantes:

- Que tipo de relacionamento os clientes de cada segmento podem esperar?
- Qual é o custo de cada um deles?
- Como isso está integrado ao Modelo de Negócio como um todo?
- O que pode se esperar em termos de aquisição, retenção e up-selling (vendas complementares) para esse tipo de relacionamento?

e) Fluxo de Receita (*Revenue Streams*) - Representa as possibilidades de geração de receita que a empresa pode obter com cada segmento de clientes. É a medição de quanto e como o cliente está disposto a pagar pela quantidade de valor gerada. Há uma série de fontes e modelos de receita que podem ser aplicados pelas empresas. Alguns exemplos são: Venda de Produtos, Preço por uso do produto, Preço por assinatura, Aluguel, Licença, Arbitragem (intermediação, agenciamento), Publicidade, Leilão, etc.

As fontes de receita representam o que a empresa obtém de cada um dos segmentos de clientes. Uma citação no livro de Osterwalder diz: “Se os clientes são o coração do modelo de negócio de uma empresa, os fluxos de receita são as artérias” (Osterwalder & Pigneur, 2009). Ou seja, os clientes também constroem e entregam valor para a empresa, quando pagam pelo produto ou serviço. Ao pensar no modelo de negócio, o empreendedor deve se questionar qual o modelo de receita se adequa a cada um dos segmentos, e por quais

valores os clientes estariam dispostos a pagar. Ao final, é possível ter mais de um modelo de receitas no negócio, inclusive para um mesmo segmento de clientes.

Perguntas importantes:

- O que o cliente valoriza e pelo qual está disposto a pagar?
- O que eles têm pago ultimamente para resolver o mesmo problema?
- De que maneira eles preferem pagar pelo valor gerado?
- Qual é a parcela de contribuição de cada fonte de receita para a receita total esperada?

f) Recursos-chave (*Key Resources*) – Para elaborar o bloco de Recursos-chave, o empreendedor deve ater-se a colocar os recursos que são realmente imprescindíveis para a viabilização do negócio, e não colocar quaisquer recursos que o negócio venha a requerer.

O sexto bloco de construção de um modelo de negócio constitui os Recursos-Chave do negócio, e descreve as habilidades e recursos necessários para que o modelo de negócio seja colocado em prática. Esses recursos tornam a empresa apta a criar e entregar a sua proposição de valor, conquistando os mercados, ampliando e fortalecendo os relacionamentos com cada segmento de clientes, e com isso aumentar a sua receita (Osterwalder & Pigneur, 2009).

Perguntas importantes:

- Que Recursos-Chave são importantes para a nossa proposição de valor?
- E para os Canais?
- E para os relacionamentos com os Clientes?
- E para implementar as Fontes de Receita?

g) Atividades-chave (*Key Activities*) – As atividades podem ser de três tipos de natureza. A primeira está diretamente relacionada à cadeia de valor e consiste nas ações operacionais, desenvolvimento de produtos, logística, marketing, vendas e serviços. É a transformação do produto até a entrega do valor para os clientes. A segunda consiste na resolução de problemas, com atividades de diagnóstico de problemas, proposição de alternativas, escolha e execução da solução, e controle dos resultados. Essa está geralmente associada a atividades de consultoria externa, e análise de investidores e especialistas. A terceira e última re-

fere-se à rede de valor, e contém as atividades de infraestrutura do negócio, apoiando a criação do valor, como o gerenciamento de contratos, manutenção da infraestrutura física, e dando suporte aos recursos financeiros, como o controle de gastos e de receitas (Osterwalder & Pigneur, 2009).

Perguntas Importantes:

- Que Atividades-Chave são importantes para a nossa proposição de valor?
- E para os Canais?
- E para os relacionamentos com os Clientes?
- E para implementar as Fontes de Receita?

h) Parceiros-chave (Key Partners) – Os Parceiros-chave definem a rede de fornecedores e parceiros que viabilizam o modelo de negócio.

De maneira geral, as parcerias e alianças estratégicas tem se tornado um componente essencial nos modelos de negócio, e sendo incorporado em várias empresas (Osterwalder, 2004). Observam-se atualmente quatro tipos de parcerias: alianças estratégicas entre empresas que não são concorrentes, parcerias entre empresas concorrentes (Osterwalder chama de *coopetição*, a junção de cooperação com competição), empreendimentos em comum para novos negócios, e a relação consumidor-fornecedor garantindo o fornecimento regular.

Entre os benefícios de parcerias bem-sucedidas, estão incluídas a otimização e a estabilidade, porque, como a empresa terceiriza algumas de suas atividades, o processo de desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias e processos acontece em paralelo entre a empresa e seus parceiros. As parcerias também propiciam a redução de riscos e incertezas, ao escolher parceiros que tenham experiência e que estejam bem consolidados no mercado alvo.

Perguntas importantes?

- Quais devem ser nossos parceiros-chave?
- E os fornecedores estratégicos?
- Quais recursos-chave estamos obtendo deles?
- E quais atividades-chave eles produzem?

i) Estrutura de Custos (Cost Structure) – O último bloco de construção da metodologia de Osterwalder e Pigneur (2009), refere-se à estruturação dos custos do negócio. Os custos mais importantes inerentes ao negócio devem estar presentes, desde as etapas da construção até a captura do valor. Os custos importantes devem ser aqueles que realmente vão interferir no cálculo da rentabilidade

de do negócio, ou seja, os gastos referentes à criação de valor, como já foi dito, os gastos para manter os relacionamentos com os clientes, os custos relevantes com os mecanismos de entrega de valor e também para gerar receita. Após a definição dos outros elementos de modelo de negócio, representados como blocos de construção, como recursos-chave, atividades-chave e parceiros-chave.

A redução de custos é uma atividade desejada, mas não essencial, pois o valor entregue por si só já tem um alto custo. Outros modelos de negócio tendem a reduzir os custos, para gerar maior rentabilidade. Automação de tarefas, terceirização intensiva dos recursos e atividades são atividades constantemente empregadas.

Perguntas importantes:

- Quais são os custos mais importantes inerentes ao nosso modelo de negócio?
- Quais recursos-chave são os mais caros?
- Quais atividades-chave são as mais caras?

O QUADRO CANVAS

Na figura 3 pode-se ver o *Canvas (original em inglês)* utilizado por muitas empresas para criar um modelo de negócio inovador ou gerar inovação em negócios já existentes, enquadrando os nove blocos de modelagem de negócios proposto por Osterwalder (2004), acoplando as regiões de importância para cada uma delas.

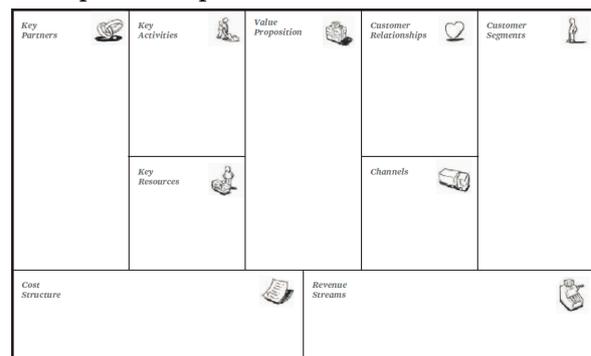


Figura 3: Canvas do Business Model Generation

Fonte: Osterwalder, A.; Pigneur, Y. (2009).

A metodologia também sugere um processo para o desenho do modelo de negócio. De forma breve, recomenda-se um processo de *brainstorming* (tempestade de ideias) inicial para geração de possibilidades, após uma fase de discussão e consolidação. O objetivo é completar o *Canvas* com as principais definições de cada componente (Pires & Queiroz, 2012).

DESCRIÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIOS COM CANVAS

Utilizar a modelagem *Canvas* ajuda o empreendedor em vários aspectos. Hulme (2010) sugere que os empreendedores realizem um exercício de modelar seus negócios usando uma ferramenta gráfica como o *Canvas*. São três seus principais benefícios.

O primeiro concerne à necessidade de comunicar e descrever o modelo de negócio. Tanto clientes, quanto funcionários, executivos e até mesmo empreendedores concorrentes precisam ter conhecimento sobre o seu modelo de negócio, se você tem um negócio. A ferramenta facilita a comunicação com os demais *stakeholders* (partes interessadas) sobre como é a articulação dos diferentes componentes do negócio, para gerar discussões criativas sobre novas oportunidades de negócio, bem como alinhar os pensamentos para identificação de riscos e falhas do modelo.

Outro benefício está em o empreendedor pensar em todos os detalhes do seu modelo de negócio, durante todo o tempo. Empreendedores frequentemente tendem a considerar mais uma parte do seu negócio, como marketing ou fonte de receitas, ignorando outros componentes fundamentais, como a estrutura de custos do negócio. Com a ferramenta *Canvas*, o negócio é sempre representado por inteiro, porque a realidade acontece dessa forma (Hulme, 2010). Apesar de não se tratar de uma regra, todos os componentes devem ser analisados e descritos um por um, participando de todas as etapas de aprendizado da empresa.

Se o modelo de negócio é representado através de uma linguagem comum, como o *Canvas*, é mais fácil trazer outras pessoas para as discussões e sessões de *brainstorming* (tempestade de ideias). Ou seja, utilizar uma ferramenta gráfica permite gerar mais iniciativas inovadoras nos modelos de negócio, possibilitando um aumento da criatividade do negócio. Como já visto anteriormente, as metodologias de *Design Thinking* por si só já facilitam a criação de soluções inovadoras, baseadas nas necessidades e desejos dos clientes. A ferramenta *Canvas* incorpora essa metodologia e, portanto, favorece as mentes criativas dos empreendedores.

Como é possível perceber, o *Canvas* não se propõe a tratar de cada componente em detalhe. Seu objetivo é descrever o Modelo de Negócio em uma visão mais macro, guiando o empreendedor para identificar quais são as suas hipóteses mais questionáveis, e avançar na produção e na busca de provas para suas suposições.

ABORDAGEM METODOLÓGICA

ESTUDO REALIZADO COM O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Inicialmente fez-se um levantamento bibliográfico de ferramentas e técnicas em modelagem de negócio para criação do quadro *Canvas*, podendo chegar em sua concepção estrutural e também para compreensão de sua funcionalidade.

O estudo como realizado não tem referência na literatura da construção civil, sendo necessário fazer associação com outros setores e buscar elementos em outras cadeias produtivas.

A partir deste momento, o foco se deu junto a indústria da construção civil, sua cadeia produtiva, seus setores e subsetores de empresas que fazem parte desta rede da economia. Sendo definido portanto os setores que deveriam ter um estudo de modelagem empresarial para aprimoramento do negócio destes setores.

Foi desenvolvido então um modelo de negócio para cada tipo de empresa: construtora, incorporadora, escritório de projetos e empreiteira de mão de obra, usando a técnica de representação de blocos *Canvas*.

Para isso foi estudado o segmento da construção civil, enquadrando quem são os clientes e como deve ser estruturada uma empresa do setor da construção civil para atender estes clientes. Antes tendo uma etapa de *brainstorming*, na qual, por discussões em grupo de profissionais ligados aos referidos setores, análise de informações bibliográficas, propostas de ideias também usando princípios da antologia, e por metodologia visual *Design Thinking*, resultou na ferramenta quadro da técnica *Canvas* preenchido para o modelo de negócio proposto. Cabe ressaltar que cada um dos elementos inseridos nos blocos foi identificado por no mínimo uma referência bibliográfica em literatura da construção civil para corroborar com os elementos citados.

Os segmentos do setor da construção civil utilizados foram: Construtora, Incorporadora, Escritórios de Projetos e Empreiteiras de Mão de Obra. Apresentado na sequência do trabalho. Ressalta-se ser uma proposição de posicionamento do setor, não sendo exclusivo nem conclusivo para as empresas, que devem utilizá-lo como modelo inicial de proposição.

MODELAGEM DE NEGÓCIO

Primeiramente foi identificada a importância de cada bloco respondendo às perguntas em específico (apresentadas na revisão bibliográfica). Começando pela interface dos clientes que é de onde parte a modelagem de negócios proposto pelo criador do modelo Canvas. Neste bloco se define quem serão os clientes da empresa, para quem a empresa estará entregando seus produtos e/ou serviços.

Definição do produto onde na interface se estuda a preposição de valor do produto, que será informado neste bloco qual é realmente o produto e como é este produto da empresa para seus clientes. Para definição destes valores buscou-se tendências ou necessidades exigidas por clientes de cada empresa, por meio de material bibliográfico atual.

No bloco canais de distribuição foi proposto quais seriam as formas de entrega destes valores aos clientes, por diferentes formas e maneiras para cada empresa baseado em procedimentos padrões já existentes para estas empresas e propondo outras formas de entrega ao cliente.

Para o bloco relacionamento com o cliente, apresentaram-se formas de manter contato com o cliente no atendimento das propostas de valores entregues. Para isso, buscaram-se referências em TIC (tecnologia da informação e comunicação) para manter esta relação com o cliente da empresa.

No bloco de fontes de renda definiu-se como seria o tipo de recebimento da empresa pela entrega de valores propostos aos clientes, baseado em formas já existentes e padrões de contratos empresariais.

Na interface gerenciamento de infraestrutura foi definido quais são os parceiros, atividades e recursos chaves, já pensando em fluxo sistemático da modelagem de negócios.

Em recursos chaves estudou a estrutura de cada setor/empresa para aporte na entrega de valores aos clientes. Definindo com base em situação já existentes e novas propostas de estruturação.

Cada empresa tem atividades a serem desenvolvidas que são de extrema importância para seu funcionamento. No bloco atividades chaves, atribuíram-se atividades que as empresas deveriam ter para seu bom funcionamento fundamentado em bibliografia e procedimentos funcionais no ramo da construção civil.

Para os parceiros chaves das empresas, listaram-se parceiros que podem contribuir no desenvolvimento das atividades da empresa para atendimento dos clientes. Parceiros estes baseado no modelo existente das empresas.

A estrutura de custo foi proposta baseada nos recursos chaves da empresa, impondo os maiores gastos e investimentos que a empresa teria no negócio.

Por fim, foi feita uma análise final do modelo de negócio gerado. Discutindo as relações de fluxo das interfaces do quadro de maneira sistemática ao segmento da construção civil, baseado no cenário atual.

APRESENTAÇÃO DOS MODELOS PROPOSTOS

Com uma coletânea de dados da indústria da construção civil foi possível estruturar as informações para composição do quadro *Canvas* que aponta tendências e exigências de clientes para produtos e atendimento de necessidades, bem como o posicionamento estratégico das empresas destes setores da construção.

Seguem os modelos propostos:

Canvas do Modelo de Negócio

| Criado para: | | Criado por: | | Em: | |
|--|--|--|--|--|--|
| MODELO PARA UMA CONSTRUTORA | | | | | |
| Parcerias Chaves <ul style="list-style-type: none"> *Fornecedores de materiais *Emprestimo de mão de obras *Associação de sociedades e sindicatos | Atividades chaves <ul style="list-style-type: none"> *Produção eficiente: *Uso de equipamentos, máquinas e aprimoramento de funcionários nas atividades da construção *Processos produtivos sustentáveis *Eficiente e atualizado sistema de gerenciamento das obras *Sistema de recrutamento de pessoal eficaz *Respeitar as normas de desempenho da construção *Adoção de práticas com base na construção enxuta *Controles de qualidade da execução *Uso da modelagem BIM no canteiro de obra | Propostas de valores <ul style="list-style-type: none"> * Entrega da construção no prazo firmado * Organograma da empresa bem definido e estruturado * Mão de obra de boa qualidade e capacitada * Suporte técnico de engenharia atuante na obra * Construção sustentável * Eficiente estrutura de serviço (deposito de materiais, central montadores) | Relacionamentos com o cliente <ul style="list-style-type: none"> * Gerenciamento da obra (obras de maior porte) * Sistema de fluxo de informações direto | Segmentos de clientes <ul style="list-style-type: none"> * Incorporadora * Setores Públicos * Pessoas físicas | |
| Estrutura de custos <ul style="list-style-type: none"> *Aquisição de materiais e equipamentos *Investimentos salariais com funcionários *Pagamentos de terceiros *Estrutura administrativa | Fontes de renda <ul style="list-style-type: none"> * Contratos por prestação de serviço/construção | | | | |

Quadro 1. Quadro *Canvas* - Modelo de negócio para Construtoras.

Fonte: Elaborado pelos autores

Canvas do Modelo de Negócio

Criado para: **MODELO PARA UMA CONSTRUTORA** Criado por: Em:

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| Parcerias Chaves <ul style="list-style-type: none"> *Fornecedores de materiais *Empreiteiras de mão de obra *Associação de sociedades e sindicatos | Atividades chaves <ul style="list-style-type: none"> *Produção eficiente: *Uso de equipamentos e máquinas nas atividades da construção *Aprimoramento dos funcionários na qualificação dos trabalhos *Processos produtivos sustentáveis *Eficiente e atualizado sistema de gerenciamento das obras *Sistema de recrutamento de pessoal eficaz *Respeitar as normas de desempenho da construção *Adoção de práticas com base na construção enxuta *Controles de qualidade da execução *Uso da modelagem BIM no canteiro de obra | Propostas de valores <ul style="list-style-type: none"> * Entrega da construção no prazo firmado * Organograma da empresa bem definido e estruturado *Mão de obra de boa qualidade e capacitada *Suporte técnico de engenharia atuante na obra * Construção sustentável *Eficiente estrutura de serviço (deposito de materiais, central montagem) | Relacionamentos com o cliente <ul style="list-style-type: none"> *Gerenciamento da obra (obras de maior porte) *Sistema de fluxo de informações direto | Segmentos de clientes <ul style="list-style-type: none"> * Incorporadora *Setores Públicos *Pessoas físicas |
| Recursos chaves <ul style="list-style-type: none"> *Ter uma infraestrutura que atenda perfeitamente a demanda da produção nas obras *Ter um aporte técnico qualificado (engenheiros, técnicos, gestores) *Uso de materiais de construção de boa qualidade | | Fontes de renda <ul style="list-style-type: none"> *Contratos por prestação de serviço/construção | | |
| Estrutura de custos <ul style="list-style-type: none"> *Aquisição de materiais e equipamentos *Investimentos salariais com funcionários *Pagamentos de terceiros *Estrutura administrativa | | | | |

(1) IBIC: maiores índices de população comparado regiões do Brasil, em SC
 (2) CADERNOS PRODUTIVA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE SOBRE A SUSTENTABILIDADE

Quadro 2. Quadro Canvas - Modelo de negócio para Incorporadoras

Fonte: Elaborado pelos autores

Canvas do Modelo de Negócio

Criado para: **MODELO PARA ESCRITÓRIO DE PROJETOS** Criado por: Em:

| | | | | |
|---|---|---|--|--|
| Parcerias Chaves <ul style="list-style-type: none"> * Firmar contratos de parcerias entre outros profissionais de projeto * Empresas incorporadoras | Atividades chaves <ul style="list-style-type: none"> * Uso da modelagem BIM para devações das etapas de projeto * Uso da modelagem BIM *Gestão de projetos *Pesquisas de novas propostas de projetos * Processos de negociação | Propostas de valores <ul style="list-style-type: none"> *Estratégias de arquitetura passiva *Organização nos processos de projeto * Projetos compatibilizados * Desenvolvimento de projetos de edifícios eficientes e sustentáveis * Apresentação dos projetos em formato 3D ou 4D | Relacionamentos com o cliente <ul style="list-style-type: none"> *Assistência pessoal na busca direta do que o cliente procura *Atender melhorias no produto | Segmentos de clientes <ul style="list-style-type: none"> *Incorporadora *Setor pública * Demais escritórios de projetos *Pessoas físicas |
| Recursos chaves <ul style="list-style-type: none"> * Aporte intelectual vasto dos profissionais atuantes * Capital humano *Aprimoramentos técnicos das pessoas envolvidas nas atividades * Softwares *Desenvolvimento e análise de processo de projeto | | Fontes de renda <ul style="list-style-type: none"> * Por serviço de projetos: renda por metro quadrados ou valor total do trabalho * Venda de serviços de acompanhamento ou execução *Serviços de compatibilização * Perícias * Resolutividade de problemas de projetos | | |
| Estrutura de custos <ul style="list-style-type: none"> * Custo com treinamentos das pessoas envolvidas * Aporte de ferramentas de processo de projetos *Softwares * Folha de pagamento *Estrutura administrativa | | | | |

Quadro 3. Quadro Canvas - Modelo de negócio para Escritórios de Projetos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Canvas do Modelo de Negócio

Criado para: **MODELO PARA EMPREITEIRA DE MÃO DE OBRA** Criado por: Em:

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| Parcerias Chaves <ul style="list-style-type: none"> * Com fornecedor de materiais de construção * Com agência de emprego para contratação de mão de obra * Empresas tipo construtora | Atividades chaves <ul style="list-style-type: none"> *Prestação de serviço de mão de obra à construção civil * Locação de mão de obra | Propostas de valores <ul style="list-style-type: none"> *Equipe qualificada prestação de serviços de mão de obra * Suporte de equipamentos para uso das atividades * Liderança de equipe capacitada * Entrega dos serviços no prazo de entrega firmado * Serviços pós entrega | Relacionamentos com o cliente <ul style="list-style-type: none"> * Contato direto com o cliente * Prestar exclusividade de serviços e mão de obra | Segmentos de clientes <ul style="list-style-type: none"> *Construtora *Pessoas *Setor público |
| Recursos chaves <ul style="list-style-type: none"> * Mão de obra qualificada e treinada * Equipamentos de trabalho adequados e em bom estado de conservação * Coordenação das atividades executadas * Materiais de construção de boa qualidade | | Fontes de renda <ul style="list-style-type: none"> * Recebimento de serviço por metragem executada * Por pacote fechado de serviço | | |
| Estrutura de custos <ul style="list-style-type: none"> * Custo com mão de obra (folha de pagamento) * Aquisição de equipamentos de construção *Estrutura administrativa | | | | |

Quadro 4. Quadro Canvas - Modelo de negócio para empreiteiras de mão de obra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cada setor da construção apresenta deficiências na constituição em seus produtos e prestação de serviços, todos já conhecidos pela cadeia produtiva da indústria da construção, envolvendo entrega de serviços bem como questões de produtividade e qualidade no bem entregue ao cliente. Diante disso se propôs no modelo de negócio, uma forma estrutural que contribua no atendimento destas exigências e demandas, baseado no modelo de negócio *Canvas*, buscando minimizar a ocorrência das falhas existentes nos setores.

Para o tipo de empresa construtora, pode-se observar uma tendência da necessidade de gerenciamento estratégico para entregar os valores aos clientes, tendo como atividade chave da organização, para tal adotando-se ferramentas de gestão para controle dos processos produtivos da empresa. Além da preocupação com o atendimento a questões de sustentabilidade ambiental, que tem relação direta com a produção da construção civil.

Já na empresa incorporadora evidenciou a demanda de exigências dos clientes por particularidade de características na busca de imóveis. E uma forte operação de entrega e relacionamento com e destes valores com os clientes apontando como necessário para venda dos imóveis.

Montando o modelo de negócio para escritório de projetos para a construção civil, percebe-se uma grande demanda de agilidade e precisão nos produtos entregues ao cliente. Tendo a necessidade de ferramentas de integração operacional nos processos dos projetos. Necessitando também de uma estrutura gerencial para organização das etapas de cada projeto e aprimoramento dos mesmos.

Tendo o modelo da estrutura para a empreiteira de mão de obra, apontou-se claramente na falta de qualificação da mão de obra atual e a grande exigência dos clientes por um produto final entregue de boa qualidade. Forçando com que este tipo de empresa invista na qualificação de sua mão de obra, capacitação e evolução nas técnicas de produção.

COMENTÁRIOS CONCLUSIVOS

A estruturação do modelo de negócio *Canvas* para os quatro setores da construção, evidenciou uma efetiva possibilidade de se abranger a representação dos processos de uma (ou conjunto

empresas como foi o caso em questão) em oferecer valor aos seus clientes por meio de produtos (bens e serviços), incidindo uma análise das entregas e dos resultados esperados, almejando a manutenção de forma sustentável ao longo de um período de tempo.

Tal técnica que se propunha a buscar a estruturação de estratégias para enfrentamento da competitividade do mercado, mostrou-se adequada e ampla, não oferecendo um conjunto conclusivo e final, mas sim, dinâmico, de análise proativa e evolutivo, permitindo a geração de valor para cada tipo de cliente.

Cabe ressaltar a possibilidade de uso da modelagem *Canvas* não somente para projetos nascentes, mas sim de empresas existentes no setor da construção, através do redesenhar dos negócios visando avançar no processo de inovação e eficácia como uma vantagem competitiva para o mercado de atuação.

A inovação do modelo de negócio de cada empresa (construtora, incorporadora, escritório de projetos e empreiteira de mão de obra) pode ser visto como o ponto de partida através das mudanças ao nível dos processos para transformar a lógica de proposição de valor das organizações que compõem estes setores. Em cada um dos tipos estudados, foi possível construir uma estratégia de abrangência da condição existente, para o que se espera estrategicamente como entrega da empresa.

Frente a estes resultados e com os objetivos citados, em aprimoramento dos setores da construção e aplicação do *Canvas* fica a proposição para estudos individualizados com empresas e também um estudo mais amplo com a Cadeia Produtiva.

Resulta que os modelos propostos para cada tipo de empresa escolhido (construtora, incorporadora, escritório de projetos e empreiteira de mão de obra) do setor da construção civil, podem ser usados como plataforma de estudo e estruturação de empresas nascentes, ou mesmo para empresas já existentes com o intuito de inovação na modelagem de negócio para busca do atendimento aos clientes, melhora da competitividade e posicionamento estratégico frente ao atual cenário competitivo do mercado da construção.

REFERÊNCIAS

- Afuah, A., & Tucci, C. (2003). *Internet Business Models and Strategies*. Boston: McGraw Hill Irwin.
- Araujo, R. R.; Cappelli, C.; Júnior, A. G.; Pereira, M.; Iendrike, H. S.; Ielpo, D.; & Tovar, J. A. (2004). *A Definição de Processos de Software sob o ponto de vista da Gestão de Processos de Negócio*. VI Simpósio Internacional de Melhoria de Processos de Software. São Paulo: [s.n.].
- Cadeia Produtiva. (2013). *Perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais e equipamentos*. ABRAMAT/FGV. São Paulo.
- Chesborough, H. (2007). *Open business models: How to thrive in the new innovation landscape*. Boston: Harvard Business School.
- FGV/CBIC. (2012). *A produtividade da construção civil brasileira*. Editora GD7 Consultoria e Comunicação.
- Jacoski, C. A. (2003). *Integração e interoperabilidade em projetos de edificações – uma implementação com IFC/XML*. 218 f. Tese de Doutorado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- Jacoski, C. A., & Grzebieluchas, T. (2011). Modelagem na contratação de projetos utilizando os conceitos de BPM - gerenciamento de processos de negócio. *Produto e Produção*, 12(3), 29-37. Disponível em <<http://www.seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/viewFile/9538/13957>>.
- Hulme, T. (VIDEO) (2010). *Visualize Your Business Model in 15 Minutes Flat*, HackFwd. Mallorca, son., color. Disponível em: <<http://vimeo.com/15395662>>.
- Lindgren, P., Yariv T., & Kristin F. S. (2011). Business model innovation leadership - How to strategically lead Business Model innovation? *Journal of Strategic Communication and Computer (JCC)*. Chicago: David Publishing Company.
- Lindgren, P. (2012). Business Model Innovation Leadership: How Do SME's Strategically Lead Business Model Innovation? *International Journal of Business and Management*, 7(14), 53-66. doi:10.5539/ijbm.v7n14p53
- Magretta, J. (s/d). Why business models matter? *Harvard Business Review*, 80(5), 86-92
- Martikainen, A., Niemi, P., & Pekkanen, P. (2013). Developing a service offering for a logistical service provider—Case of local food supply chain. *Int. J. Production Economics*. 2002. DOI: [://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.026i](http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.026i)
- Martin, R. L. (2009). *The Design of Business: Why Design Thinking is the Next Competitive Advantage*, Harvard Business School Press.
- C. A. Jacoski, A. Scapin, L. Hoffmeister, M. F. Costella
- Morris, M., Schmindehutte, M., & J. Allen. (2003). The entrepreneur's business model: toward a unified perspective. *Journal of Business Research*, 58(6), 726-735. DOI: [://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.11.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.11.001)
- Osterwalder, A. (2004). *The business model ontology: A proposition in a design science approach*. (Tese de doutorado), Université de Lausanne, Suíça.
- Osterwalder, A.; Pigneur, Y. (2009). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, 1a. ed., Wiley.
- Pires, E. M.; Queiroz, R. J. G. B. (2012). *Consolidando o Business Model Framework. Estratégia de crescimento e competitividade na metodologia Business Model Generation*. (Monografia) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Santana, R. L.; Andrade, T. C. *Benefícios da monitoração de processos com BPM*. (Tese de doutorado). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011.
- Sebrae (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). *10 Anos de Monitoramento da Sobrevivência e Mortalidade de Empresas*. SEBRAE-SP. São Paulo: SEBRAE-SP, 2008. 120p. ISBN: 978-85-7376-069-9.
- Taran. *Re-thinking it All: Overcoming Obstacles to Business Model Innovation Center for Industrial Production*. (Tese de doutorado), Aalborg University, 2011.
- Teece, D. J. Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2-3), 2012. DOI: [://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003)
- Zott, C., Amit, R., & Massa, L. *The business model: recent developments and future research*. 2011.

Endereço de correspondência do autor:

Claudio Alcides Jacoski
 Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Centro Tecnológico.
 Av. Senador Atilio Fontana, 591-E
 EFAPI
 89809-000 - Chapecó, SC - Brasil -
 Caixa-postal: 747

ADAPTIVE COMFORT: PASSIVE DESIGN FOR ACTIVE OCCUPANTS

Christhina Maria Candido

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

Aluna de Pós doutorado no Indoor Environmental Quality (IEQ) Lab da Universidade de Sydney. Gerente da IEQ Analytics Research Partnership.

E-mail: < christhina.candido@sydney.edu.au >

Daiane Folle

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: < daiane.folle@imed.edu.br >.

Elvira Maria Vieira Lantelme

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: < elvira.lantelme@imed.edu.br >

ABSTRACT

The adaptive model of thermal comfort shifts attention from engineered comfort solutions to architectural ones. As the concept of adaptive comfort displaces the old static model, architects are beginning to explore the opportunities to engage occupants in the provision of occupants' comfort, which in turn has re-awakened an interest in natural ventilation.

Keywords: adaptive model, thermal comfort, occupants.

INTRODUCTION

After the 1970s oil crises, many countries started to look for ways of improving building energy efficiency. Since HVAC is the single largest energy end use in the built environment, it was inevitable that designers would start to question our dependence on air-conditioning. The spread of air-conditioned environments in the 20th century dramatically altered occupants' expectations of indoor environments.

Since the ultimate success or failure of a building project depends heavily upon the quality of the indoor environment delivered to the building occupants (Ürge-Vorsatz et al., 2007), it is imperative that buildings meet occupants' expectations. And with the advent of air conditioning, Ackerman (2002) argues, occupants' expectations changed.

There is fairly persuasive evidence that ice-cold air transported working and middle class customers to movie palaces, department stores, hotels, and railroad cars as part of the total entertainment experience. Air-conditioned environments offered an escape from a drab and hot workaday life and, at the same time, it became increasingly associated with luxury, comfort, and modernity.

As air-conditioning became embedded in the perceptions and expectations of occupants, technological innovation shifted design responsibility in comfort provision from the architect to mechanical engineer, and control responsibility from the occupant to technology (Roaf et al., 2010).

The engineering of comfort solutions gave architects the 'freedom' to design building envelopes without reference to thermal comfort or passive design. All their buildings needed was needed was an endless supply of cheap fossil fuel energy to run them.

Of course, this approach proved unsustainable. With the mainstreaming of green building places building performance back on the design agenda, architects are waking from the cheap oil era to find they've been deskilled by their reliance on engineered solutions.

To reassert the primacy of design in the post-carbon era, architects must take back responsibility for building performance and occupant comfort. For this to happen, they must come to understand how behaviour and design can be merged into a synergistic approach that contributes to both energy conservation and occupant satisfaction. Adaptive comfort shows the way, by promoting environments that are at once more sustainable and more stimulating than air-conditioned ones.

STATIC VS. ADAPTIVE MODELS OF THERMAL COMFORT

Even though comfort has been defined as 'the state of mind that expresses satisfaction with the surrounding environment' (ASHRAE Standard 55, 2010), conventional design approaches assume that people have relatively constant biological comfort requirements, and that the environment is a set of variables which should be controlled to conform to that constant range. However people are *not* constant, and nor do they require constancy. Standardisation of indoor conditions can lead to sterile environments, because comfort depends not only on control of excesses in ambient conditions but also on stimulation through the senses from variations in conditions.

The tension between conventional, or 'static', and adaptive comfort theories has been played out in innumerable papers (Humphreys, 1978; Nicol, 2004), but it became especially prominent by the end of the 20th century when the oil and climate crises called into question the amount of energy required to air-condition indoor environments.

The static approach is based on Prof. Ole Fanger's 1960s climate chamber experiments. Fanger produced a comprehensive comfort index, Predicted Mean Vote, or PMV, which submits that it is possible to define a comfortable state in terms of the subject's *body* rather than the environment (Fanger, 1970). His book proposed three necessary conditions for thermal comfort: a steady-state heat balance; a mean skin temperature at a level appropriate for the metabolic rate; and

a sweating rate at a level appropriate for the metabolic rate. Based on these conditions, the final equation comprises variables related to: the function of clothing (clothing insulation and ratio of clothed surface area to nude surface area); activity (metabolic heat production and work); and four environmental variables – air temperature, mean radiant temperature, relative air speed; and vapour pressure of water.

Fanger's thermal comfort model is as widely criticised as it is supported. In his dissertation, Fanger himself explained that the PMV index was derived in laboratory settings and should therefore be used with care for values below -2 and above +2 (Fanger, 1970). But beyond its reliability, probably the most important criticism of the PMV index is its concept of a universal neutral temperature. 'The cool, still air philosophy of thermal comfort, which requires significant energy consumption for mechanical cooling, appears to be over-restrictive and, as such, may not be appropriate criterion when decisions are being made whether or not to install HVAC systems' (de Dear and Brager, 1998). The 'adaptive comfort model' successfully challenged PMV and shifted the paradigm in favour of natural variability.

RETURN OF THE WELCOME BREEZE

Even though the static approach is able to take some behavioural adaptation into account, for example clothing or air speed, it fails to account for psychological adaptation. But psychological adaptation can result in significant differences in occupant satisfaction with and acceptance of an environment (de Dear and Brager, 2002). This is particularly important in indoor environments where occupants are exposed to more dynamic conditions – such as naturally ventilated buildings. Understanding how behavioural adaptation operates can enable designers to enlarge the thermal spectrum to which occupants are exposed. This means designers can rely less on air-conditioning to provide acceptable thermal conditions, thereby lessening the environmental footprint of the building.

de Dear and Brager (1998) set out the rationale for adaptive comfort as follows:

Building occupants are not simply passive recipients of their thermal environment, like climate chamber experimental subjects, but rather they play an active role in creating their own ther-

mal preferences. Contextual factors and past thermal history are believed to influence expectations and thermal preferences. Satisfaction with an indoor environment occurs through appropriate adaptation.'

Based on an analysis of over 20,000 row set of indoor microclimatic and simultaneous occupant comfort data from buildings around the world, the ASHRAE RP-884 database found that indoor temperatures eliciting a minimum number of requests for warmer or cooler conditions were linked to the outdoor temperature at the time of the survey. Buildings were separated into those that had centrally-controlled heating, ventilating, and air-conditioning systems (HVAC), and naturally ventilated buildings (NV). Since the ASHRAE RP-884 database comprised existing field experiments, the HVAC versus NV classification came largely from the original field researchers' descriptions of their buildings and their environmental control systems. The primary distinction between the building types was that NV buildings had no mechanical air-conditioning, and that natural ventilation occurred through operable windows that were directly controlled by the occupants. In contrast, occupants of the HVAC buildings had little or no control over their immediate thermal environment (de Dear and Brager, 2002).

The adaptive model of thermal comfort advocates the shift from statically controlled indoor environments to passively ventilated buildings occupied by active occupants. Its posterior implementation in ASHRAE 55 (2004), providing for higher air speed values and control, was a step towards mainstreaming naturally ventilated buildings. Natural ventilation had been redefined in the language of thermal comfort research from 'draft' to 'welcome breeze'.

SUMMARY

Behavioural change in buildings can deliver fast, low-cost improvements in energy efficiency and greenhouse gas emission reductions. In order to promote behavioural change, however, buildings must be designed to re-engage occupants in the achievement of comfort.

It is becoming clear that the idea of air-conditioning as a pathway to 'freedom' for architects is both illusory and unsustainable. A lack of understanding by building designers of building

performance and occupant behaviour has led to engineered solutions supplanting architectural ones. Buildings that are disconnected from the outdoor climate and environment in which they are situated are increasingly being viewed as obsolete. With this in mind, designers are starting to consider how to widen the range of opportunities available in a building to provide comfort for occupants. This in turn has re-awakened an interest in the role of natural ventilation, returning the responsibility for occupant comfort to the architect.

Climate control requires a flexible approach, mediating relationships between the whole, sensory person and the environment. Achievement of satisfaction (not only comfort) requires the development of a more comprehensive brief, increased selectivity in the application of performance and design criteria, and a more flexible, humane set of response systems.

When designed carefully, naturally ventilated indoor environments need not compromise occupant comfort, wellbeing or productivity. Indeed, a naturally ventilated building can provide an indoor environment far more stimulating and pleasurable than the static indoor climate achieved by centralised air-conditioning.

REFERENCES

- Ackermann, ME (2002). *Cool Comfort: America's Romance with Air-Conditioning*, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. and London.
- ASHRAE Standard 55 (2004) 'Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy', ASHRAE, Atlanta.
- ASHRAE Standard 55 (2010) 'Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy', ASHRAE, Atlanta.
- de Dear, RJ and Brager, GS. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. In *ASHRAE Trans*, vol. 104 (Part 1A), pp. 145-167.
- de Dear, RJ, & Brager, GS (2002). 'Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55' in *Energy and Buildings*, vol 34 (6), pp. 549-561.
- Fanger, PO (1970), *Thermal Comfort*, Danish Technical Press, Lyngby.
- Humphreys, MA (1978), 'Outdoor Temperatures and Comfort Indoors' in *Building Research and Practice*, vol. 6 (2), pp. 92-105.

- Levine, MD, Ürge-Vorsatz, D, Blok K, Geng L, Harvey, D, Lang, S, Levermore, G, Mongameli, A, Mehlwana, S, Mirasgedis, A, Novikova, J, Rilling, Yoshino, H (2007), 'Residential and Commercial Buildings', *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Metz, B, Davidson, OR, Bosch, PR, Dave, R, Meyer, LA (eds), Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Nicol, F (2004), 'Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-Humid Tropics' in *Energy and Buildings*, vol. 36, pp. 628–637.
- Roaf, S, Nicol, F, Humphreys, M, Tuohy, P, Boerstra, A (2010), 'Twentieth Century Standards for Thermal Comfort: Promoting High Energy Buildings', in *Architectural Science Review*, vol. 53, pp. 65–77.
- Ürge-Vorsatz, D, Harvey, LDD, Mirasgedis, S, Levine, MD 2007, 'Mitigating CO₂ Emissions from Energy Use in the World's Buildings' in *Building Research & Information*, vol. 35 (4), pp. 379–398.

Endereço de correspondência do autor:

Christhina Maria Candido

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

Rua Senador Pinheiro, 304 – Bairro Rodrigues - Passo Fundo – RS

CEP: 99070-220

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UM COMPÓSITO AREIA-FIBRA EM EXTENSÃO AXIAL

Miguel Angel Parodi Palacios

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: <crespho@hotmail.com>.

Michéle Dal Toé Casagrande

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: <michele_casagrande@puc-rio.br>.

Daiane Folle

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.
E-mail: <daiane.folle@imed.edu.br>.

Jonas Anversa

Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.
E-mail: <jonas.anv@gmail.com>.

RESUMO

O artigo apresenta o estudo do comportamento tensão-deformação de um solo arenoso reforçado e não reforçado com fibras de polipropileno, através da realização de ensaios triaxiais drenados, com extensão axial. Busca-se estabelecer padrões de comportamento que possam explicar a influência da adição de fibras, relacionando-a com os parâmetros de resistência ao cisalhamento e deformação do solo quando submetidos a esforços de extensão. Ensaios triaxiais foram realizados em amostras compactadas a uma densidade relativa de 50%, com 0,5% de teor de fibra de 12 mm de comprimento e 0,03mm de diâmetro. Foram aplicadas tensões efetivas médias iniciais de 20 a 600 kPa. Observa-se uma taxa única de crescimento de resistência a partir do momento em que as fibras são mobilizadas, que independe das tensões efetivas iniciais e se apresenta de forma linear e constante para o solo reforçado. Os resultados foram satisfatórios para aplicação do solo reforçado em obras geotécnicas que estejam sujeitas a cargas de extensão.

Palavras-chave: Fibras de polipropileno, solo reforçado, ensaios triaxiais de extensão.

INTRODUÇÃO

Devido à não homogeneidade dos solos, muitas vezes encontramos solos que não oferecem uma boa resistência frente às solicitações de carga de alguns projetos. Uma alternativa disponível ao engenheiro geotécnico é remover o material existente no local e substituí-lo por outro com características adequadas ou modificar e melho-

rar as propriedades do solo existente por meio da adição de algum elemento de reforço (p.ex. fibras de polipropileno), de modo a obter um material compósito com características de resistência e deformabilidade adequadas para garantir o bom desempenho do material para constituir o solo de fundação em obras de engenharia.

No presente artigo pretende-se estudar o comportamento do material compósito submetido a solicitações de extensão. Dentro deste contexto,

o presente trabalho busca contribuir para uma melhor interpretação e compreensão do comportamento do solo com a inserção de fibras de polipropileno, podendo potencializar a sua utilização em projetos geotécnicos.

Para a realização dos ensaios triaxiais de extensão foi montado um equipamento do tipo Bishop e Wesley (1975). Ressalta-se que o equipamento foi desenvolvido na PUC-Rio pelo professor Tácio de Campos, sendo este equipamento de maiores dimensões, quando comparado aos equipamentos triaxiais convencionais, o que é muito importante, pois quanto maior for a amostra ensaiada, maior será a representatividade do material em estudo.

PROGRAMA EXPERIMENTAL E EQUIPAMENTO TRIAXIAL

O equipamento utilizado (Figura 1) é um tipo de equipamento similar ao desenvolvido na Imperial College of Science and Technology (London) no ano 1975 por Bishop e Wesley, o qual é um equipamento triaxial hidráulico que permite a realização de uma extensiva gama de ensaios em diferentes trajetórias de tensões. O equipamento consta basicamente de duas partes, a câmara superior similar à de um equipamento triaxial convencional, e a parte inferior que é o elemento característico diferenciado. O sistema de aplicação de carga axial é feito através de uma membrana (Bellofram) situada abaixo do pedestal, que se move para cima ou para baixo fazendo com que a amostra entre em contato com uma célula de carga interna na parte superior da câmara, que por sua vez mede a carga aplicada. Então, a carga axial é aplicada aumentando-se a pressão na interface situada sob o pedestal.

O tamanho do equipamento permite realizar ensaios com amostras de 4" de diâmetro por 8" de altura, o qual é uma grande vantagem quanto à representatividade dos solos a serem testados.

A primeira fase compreende os ensaios triaxiais de compressão realizados na areia não reforçada e reforçada com fibras de polipropileno no teor de 0,5% em relação ao peso seco da matriz de areia, para logo aferir o funcionamento do equipamento triaxial desenvolvido. A segunda fase compreende os ensaios triaxiais de extensão realizados com o objetivo de avaliar o comporta-

mento da areia e da mistura areia-fibra sob sollicitações de extensão.

A areia estudada possui 2,63 de densidade real dos grãos, índice de vazios mínimo e máximo de 0,6 e 0,9, respectivamente e diâmetro efetivo de 0,09mm e diâmetro médio de 0,16mm. A areia seca foi primeiramente misturada com as fibras e depois de uma homogeneidade visível era acrescentada a água.

3 RESULTADOS

Os ensaios tiveram a finalidade de testar o funcionamento do equipamento triaxial desenvolvido, já que os resultados obtidos nesses ensaios foram comparados com os resultados obtidos por Casagrande (2005), com a mesma areia e o mesmo teor de fibras dentro da mistura.

As Figuras 2 e 3 exibem uma comparação dos resultados. Ressalta-se que os gráficos estão apresentados em diferentes escalas. Casagrande (2005) observou uma linearidade quase perfeita, enquanto na mistura areia-fibra obteve-se uma envoltória curvilínea-linear cruzando a origem é hipoteticamente prevista, não havendo a imposição de um intercepto coesivo à mistura areia-fibra. Pode ser observado o ponto de inflexão entre as partes inicial e final das mesmas.



Figura 1. Vista geral do equipamento triaxial de maiores dimensões

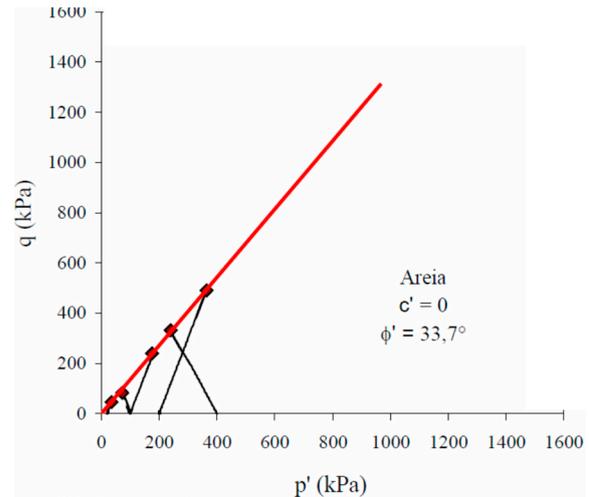
Pode-se observar uma similitude nos parâmetros de resistência, a variação nos parâmetros encontra-se na taxa de 2,3% no caso da areia. No caso da mistura areia-fibra o resultado obtido encontra-se na média das duas envoltórias en-

contradas por só areia. Essa variação obtida em ambos os estudos é atribuída a vários fatores descritos a seguir:

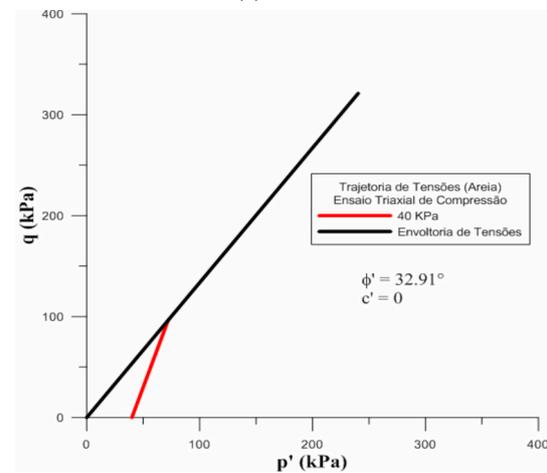
- ◆ Compactação dos corpos de prova: a compactação em ambos os estudos foi realizada manualmente sem levar em consideração o número e a força dos golpes em cada camada compactada;
- ◆ O tamanho das amostras: as amostras testadas por Casagrande (2005), tinham 1,5” de diâmetro por 3” de comprimento, enquanto as amostras testadas na presente pesquisa foram de 4” de diâmetro por 8” de comprimento;
- ◆ Saturação da amostra: a saturação dos corpos de prova foi conferida com a variação de volume observada em cada estágio de aplicação de contrapressão, quando a variação de volume apresentava entre 0 e 0,5 cm³, assumia-se que o solo encontrava-se saturado, mesmo ele apresentando um parâmetro B de Skempton no máximo de 0,80, enquanto Casagrande (2005), atingiu valores de B na taxa de 0,95;
- ◆ Tamanho das fibras: o tamanho das fibras empregadas por Casagrande (2005) foi de 24 mm quando as fibras empregadas na presente pesquisa tiveram um comprimento de 19,3 mm.

Dos resultados obtidos podemos chegar à conclusão que o equipamento encontra-se em ótimas condições para iniciar os ensaios triaxiais de extensão. Foram realizados oito ensaios triaxiais de extensão, quatro para a areia e quatro na mistura areia fibra. As tensões efetivas de confinamento empregadas nos ensaios foram de 50, 100, 200 e 300 kPa. Para as misturas foram fixados o teor de fibra de 0,5%, calculado em relação à massa seca da matriz da areia, comprimento das fibras de 19,3 mm, diâmetro das fibras de 0,03 mm, peso específico aparente seco (15 kN/m³ correspondente a uma densidade de 50%) e umidade de 10%.

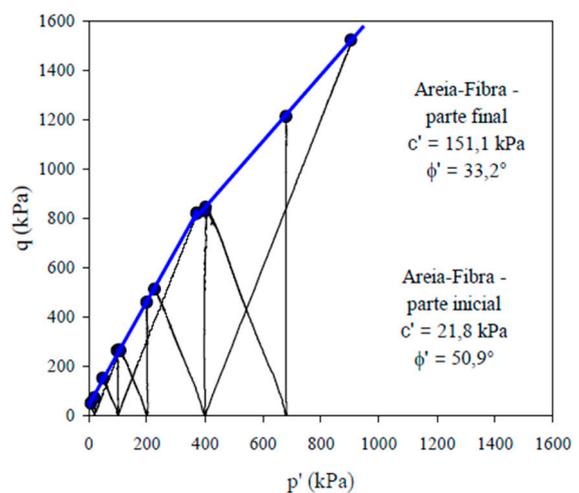
A Figura 4 apresenta os mecanismos de deformação de uma amostra de areia sem reforço e reforçada com fibras de polipropileno submetida a ensaios triaxiais de extensão. Observa-se a presença de uma superfície de ruptura na diagonal da amostra da areia, essa superfície de ruptura foi gerada na base da amostra, enquanto no caso da mistura de areia-fibra observa-se uma compressão das amostras na base que se expande até o centro da amostra.



(a) Areia



(b) Mistura areia-fibra

Figura 2. Parâmetros de resistência da areia submetida a ensaios de compressão (Casagrande, 2005)


(a) Areia

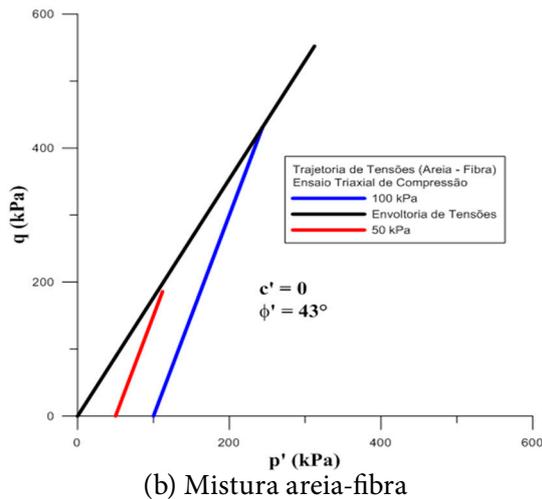


Figura 3. Parâmetros de resistência da mistura submetida a ensaios de compressão (Casagrande, 2005).



Figura 4. Mecanismo de deformação.

A Figura 5 apresenta os resultados comparativos da tensão desviadora vs deformação axial dos ensaios triaxiais drenados de extensão realizados na areia e na mistura areia-fibra, a diferentes tensões efetivas de confinamento observar que a inclusão das fibras de polipropileno ao solo altera o comportamento resistente da matriz do solo quando submetido a solicitações de extensão, porém essa alteração não gera um aumento nos parâmetros de resistência da matriz do solo, pelo contrário, origina uma queda nos parâmetros de resistência em todas as comparações dos ensaios triaxiais de extensão realizados na areia e na mistura areia-fibra, para cada tensão efetiva de confinamento. Essa diminuição na tensão de ruptura encontra-se na taxa de 25% da tensão obtida nos ensaios realizados na areia.

A deformação axial atingida na ruptura, na mistura areia-fibra, é maior do que as deformações atingidas pela areia, isso quer dizer que mesmo não oferecendo uma maior resistência, a fibra permite que o solo consiga uma maior deformação antes deste se romper.

Não foi possível observar a orientação das fibras dentro nas amostras ensaiadas, mas segundo uma análise visual das faces laterais dos corpos de prova após os ensaios triaxiais drenados de extensão, foi observada essa orientação. A Figura 6 apresenta o estado final de um corpo de prova submetido a ensaios triaxiais drenados de extensão, onde pode-se observar algumas fibras com uma orientação quase horizontal. Essa observação corrobora as observações de Diambra et al. (2007), podendo atribuir o efeito da queda da resistência a esse fator.

A Figura 7 ilustra os gráficos de deformação volumétrica vs. deformação axial. Pode-se observar que o comportamento da areia sem reforço apresenta um comportamento inteiramente dilatante ao longo de todos os ensaios triaxiais de extensão. Esse comportamento é típico de uma areia densa

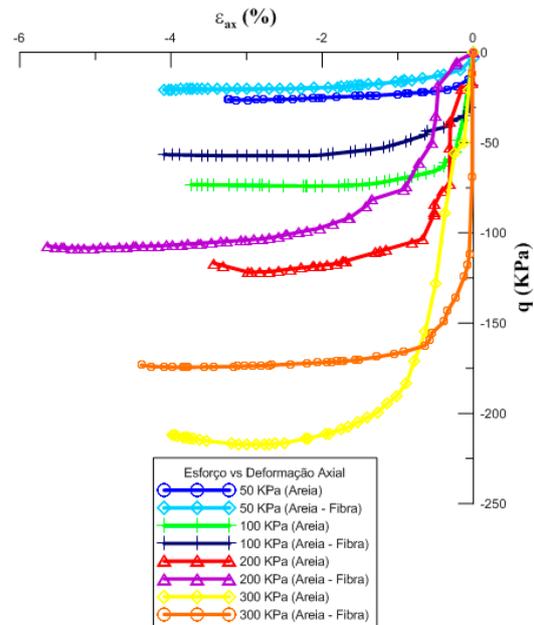


Figura 5. Tensão desviadora vs. deformação axial.

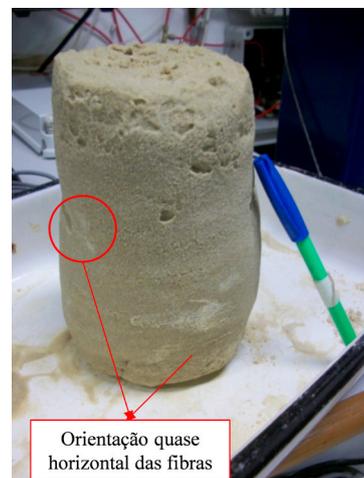


Figura 6. Estado final do corpo de prova mistura-areia-fibra.

Enquanto, na mistura areia – fibra inicialmente apresenta um comportamento expansivo até atingir a ruptura, a partir desse ponto a mistura começa a se comprimir muito de maneira súbita. Esse efeito pode ser conferido de maneira visual com a deformação que sofre o corpo de prova durante a fase de cisalhamento. Só no caso do ensaio de 200 kPa de tensão efetiva foi observado um comportamento compressivo quase constante na taxa de 0.5% do volume inicial do corpo de prova. De maneira geral pode-se dizer que a adição das fibras altera o comportamento da areia passando de um comportamento típico de uma areia densa a um comportamento de uma areia fofa.

A Figura 8 ilustra a comparação das envoltórias e dos parâmetros de resistência ao cisalhamento da areia e da mistura areia-fibra submetida a solicitação de extensão.

De maneira geral pode-se observar que tanto na areia quanto na mistura areia-fibra os parâmetros de resistência são maiores quando solicitados à compressão. Essa diferença dos parâmetros (basicamente no ângulo de atrito, já que a coesão foi nula) encontra-se na taxa de 27% no caso da areia e 57% no caso da mistura areia-fibra. Essa diferença também foi obtida por Cheng-Wei Chen (2010) em um estudo realizado em uma areia siltoosa reforçada e não reforçada com fibras de polipropileno.

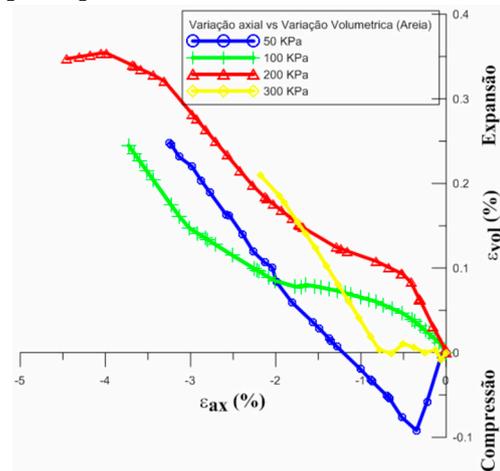
No caso dos ensaios triaxiais de extensão, foram obtidas envoltórias de resistência linear de acordo com os ensaios realizados, a diferentes tensões de confinamento, tanto na areia como na mistura areia-fibra. A areia apresenta parâmetros de resistência maiores do que os obtidos nos ensaios realizados na mistura areia-fibra. A diminuição no ângulo de atrito da mistura encontra-se na taxa de 11% do ângulo de atrito atingido pela areia.

A Figura 9 ilustra os dados de energia absorvida para a areia e para a mistura areia-fibra para os diferentes níveis de tensão empregados nos ensaios triaxiais realizados.

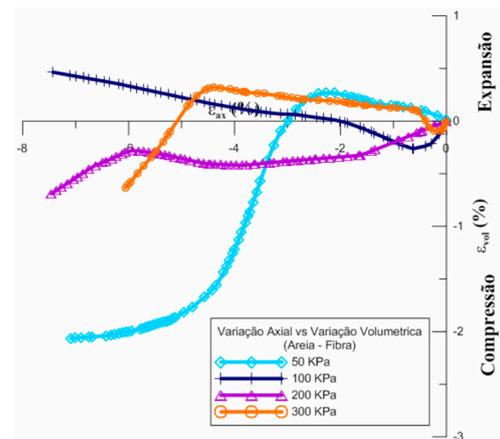
Observa-se que, para os níveis de tensão estudados, a taxa de aumento da energia de deformação absorvida não é linear. Pode-se observar também que a inclusão de fibras de polipropileno à matriz da areia estudada causa uma influência positiva na tenacidade para tensões efetivas médias iniciais abaixo dos 240 kPa, a partir de onde a matriz de areia apresenta uma maior energia de deformação.

Com a finalidade de conferir a trabalhabilidade das fibras dentro do compósito foi feita a medição do comprimento das fibras retiradas das

amostras após a execução dos ensaios triaxiais de extensão. Observa-se que as fibras se alongaram em todos os ensaios realizados. A Figura 10 apresenta a variação dos comprimentos das fibras para cada ensaio executado. Os resultados plotados resultaram da média de 100 medições de fibras escolhidas aleatoriamente do interior do corpo de prova ensaiado.

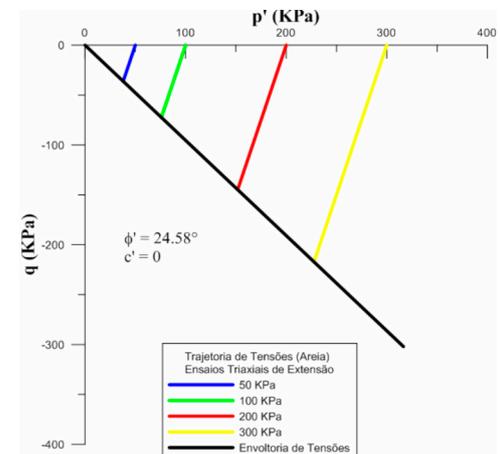


(a) Areia

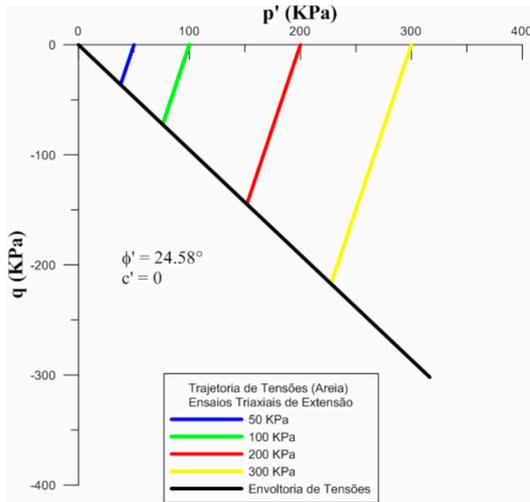


(b) Mistura areia-fibra

Figura 7. Variação volumétrica vs. deformação axial.



(a) Areia



(b) Mistura areia-fibra

Figura 8. Trajetória de tensões.

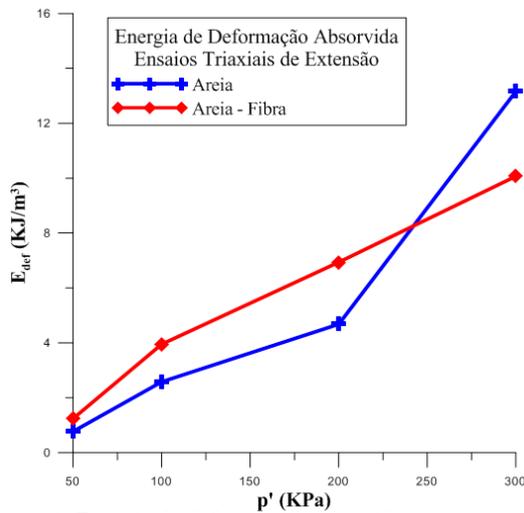
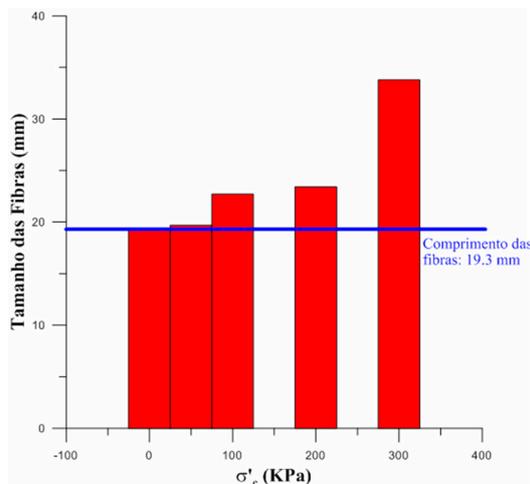


Figura 9. Energia de deformação absorvida.



| Tensão Efetiva confinante | Comprimento final (mm) | % de alongamento |
|---------------------------|------------------------|------------------|
| 50 | 19,70 | 2,07% |
| 100 | 22,70 | 17,64% |
| 200 | 23,42 | 21,36% |
| 300 | 33,78 | 75,06% |

Figura 10. Alongamento das fibras.

O gráfico indica que as fibras atuam de forma significativa dentro da matriz da areia, mesmo assim elas não contribuem com o aumento da resistência do material composto, já que os parâmetros de resistência obtidos nos ensaios triaxiais de extensão realizados na mistura areia-fibra resultaram menores do que os resultados executados na matriz de areia. O alongamento das fibras atingiu até 75% do comprimento inicial das fibras (19,3 mm), sendo a máxima extensão delas 80%, segundo dados do fabricante. Porém, espera-se que a maiores tensões de adensamento as fibras poderiam começar a romper. Neste trabalho foi observado que o alongamento das fibras é maior quando a tensão de adensamento aumenta. Não foi observada a ruptura das fibras em nenhum ensaio, mas possivelmente para maiores tensões de adensamento as fibras poderiam começar a romper.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível chegar as seguintes conclusões:

- O comportamento resistente do material composto é comandado pela matriz da areia e a presença das fibras dentro da matriz pode dificultar o contato entre as partículas do solo prejudicando a resistência do material sob solicitações de extensão;
- Os ensaios triaxiais de compressão e de extensão apresentam diferentes envoltórias de ruptura e parâmetros de resistência, sendo maior a resistência atingida pela areia e

pela mistura areia-fibra em ensaios de compressão. Essa diferença nos parâmetros de resistência da areia e a mistura areia-fibra encontra-se na taxa de 27% e 57% respectivamente;

- ♦ De maneira geral podemos concluir que a adição das fibras ao solo oferece uma queda na resistência do solo sob solicitações de extensão. Porém a utilização deste material compósito deveria ser limitado a projetos geotécnicos onde o solo vai ser solicitado a forças de compressão, onde a adição garanta um aumento considerável na resistência do material.

REFERÊNCIAS

Bishop, A.W. & Wesley, L.D. (1975) *A hydraulic tri-axial apparatus for controlled stress path testing*. Géotechnique, London, v. 25, n. 4, p. 657-660.

Casagrande, M.D.T. (2001). *Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais*. Porto Alegre, 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.

Casagrande, M.D.T. (2005). *Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações*. Porto Alegre, 219p. Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.

Diambra, A., Russell, A.R., Ibraim, E., & Muir Wood, D. (2007). *Determination of fibre orientation distribution in reinforced sand*. Geotechnique 57 (7), 623–628.

Cheng-Wei, C. (2010). *Triaxial compression and extension test for fiber-reinforced silty sand*. GeoShanghai. International Conference ASCE. Geotechnical Special Publication n° 207 p. 367-375.

Endereço de correspondência do autor:

PUC-Rio
Departamento de Engenharia Civil
Endereço
Rua Marquês de São Vicente 225
Edifício Cardeal Leme - sala 301
Gávea - Rio de Janeiro - Brasil
CEP: 22451-900

ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO EM FACHADAS E COBERTURA DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL

Ana Paula Melo

Engenheira Civil, Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Docente Faculdade Meridional IMED, E-mail: <apaula_melo@labeee.ufsc.br>.

Michele Matos Barcelos

Engenheira Civil, Consultora em eficiência energética. E-mail: <michele@technobuild.com.br>.

Daiane Folle

Engenheira Civil, Docente Faculdade Meridional IMED. Email: <daiane.folle@imed.edu.br>.

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados das simulações realizadas no programa EnergyPlus do comportamento térmico e energético de um edifício comercial. Com base nesta edificação foram analisadas diferentes alternativas de percentual de abertura nas fachadas, densidade de cargas internas, fator solar e condições de isolamento térmico das paredes e coberturas para a cidade de São Paulo. Através das simulações concluiu-se que a isolação de paredes e cobertura reduz o consumo de energia elétrica de grande parte dos casos simulados para a tipologia analisada, principalmente para os casos com baixa densidade de carga interna, sendo a redução na capacidade instalada em sistema de condicionamento de ar mais significativa.

Palavras-chave: isolamento térmico, simulação térmica e energética, EnergyPlus, consumo de energia.

INTRODUÇÃO

A princípio poderíamos entender que a eficiência energética de edificações está relacionada basicamente com o uso de sistemas de iluminação e equipamentos mais eficientes. Contudo, observamos que além do uso de sistemas eficientes a arquitetura também representa uma parcela significativa na conservação de energia elétrica de edificações.

Atualmente, a preocupação com o uso racional de energia está cada vez mais em evidência em razão dos custos operacionais para as edificações climatizadas. Como consequência, busca-se soluções com o intuito de proporcionar reduções para o uso da climatização das edificações.

Nota-se que em grande parte dos Estados Unidos e Europa, as edificações são construídas com o objetivo de conservar o calor interno e evitar a infiltração do ar externo para o ambiente interno. Este fato está relacionado com as baixas temperaturas no período de inverno destas regiões. Analisando do território brasileiro, observa-se que a maioria das regiões tem a preocupação em reduzir o ganho de calor através do envelope da edificação em razão das elevadas temperaturas de verão.

Consequentemente, vem-se observando o surgimento de pesquisas (Chvatal et al., 2005; Westphal & Lamberts, 2007; Melo, 2007; Masoso & Grobles, 2008; Roriz et al., 2009) relacionadas com o comportamento térmico das paredes e coberturas. Sendo que estas estão demonstrando que dependendo do clima onde a edificação está

inserida, o desempenho térmico das edificações pode reduzir com a utilização do uso do isolante térmico. O uso do isolamento pode ser viável para determinadas edificações localizadas em determinados climas. Entretanto, nota-se que para regiões onde o período de verão é intenso e os invernos amenos, o uso de isolamento térmico pode não ser viável do ponto de vista energético. Para as edificações comerciais localizadas em regiões onde há grande incidência solar e com elevada densidade de carga interna instalada, o uso de isolamento nas paredes e coberturas podem dificultar a dissipação destes ganhos do ambiente interno para o externo. Consequentemente, refletindo no aumento do consumo dos sistemas de condicionamento de ar para carga de resfriamento e no aumento do custo final de energia elétrica.

Nota-se que para analisar o impacto do aumento do isolamento nos edifícios devem ser analisados outros fatores que também influenciam no desempenho térmico da edificação. O valor ideal de transmitância térmica de paredes e coberturas de edificações comerciais vem sendo analisadas através de simulações paramétricas com o uso de programas computacionais, verificando a influência deste parâmetro com relação ao consumo final de edificação e/ou graus hora de aquecimento e resfriamento.

Neste contexto, para avaliar a viabilidade da utilização do isolamento térmico nas paredes e coberturas das edificações comerciais, combinado com as variações de diversos parâmetros, procurou-se desenvolver equações que permitam analisar o desempenho térmico destas edificações. Através dos resultados destas equações, os projetistas poderão avaliar de uma forma mais rápida e prática a utilização de diferentes parâmetros ainda na fase de projeto; e tomar decisões de quais medidas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. A metodologia adotada será baseada nos ganhos e perdas de calor através do cálculo de fluxo de calor por convecção entre as superfícies internas de cada superfície com a temperatura do ambiente no qual está inserida, adotando o programa computacional *EnergyPlus*.

MÉTODO

O edifício comercial foi modelado de acordo com o código de interpretação do programa *EnergyPlus*. Para cada zona térmica dos modelos

foram definidos os valores de carga interna, incluindo: sistema de iluminação, equipamentos elétricos e ocupação (pessoas).

Rotinas de ocupação e uso dos sistemas das edificações foram estabelecidos e representados através de *schedules* no programa de simulação. A absorptância à radiação solar das paredes e coberturas foi mantida em 50%, representando uma cor neutra, para todas as alternativas. A orientação das edificações foi tal que as paredes de maiores dimensões estivessem localizadas nas orientações Leste e Oeste.

Os padrões de uso das cargas internas e do sistema de condicionamento de ar foram modelados para representar atividades pertinentes a cada modelo, ou seja, edifício de escritórios, galpão comercial e edificação pública.

Para todos os sistemas de condicionamento de ar foi adotada uma faixa de temperaturas de *set-point*, entre 20°C e 24°C, ou seja, o sistema de condicionamento de ar vai adicionar calor no ambiente quando a temperatura deste estiver abaixo de 20°C, e retirar calor quando a temperatura estiver acima de 24°C. Quando a temperatura do ambiente estiver dentro da temperatura de *set-point*, não haverá a utilização do sistema de condicionamento de ar (*deadband*). A taxa de infiltração adotada foi de 0,3 trocas de ar por hora.

Sobre o modelo base da edificação, foram criadas alternativas variando-se o percentual de abertura nas fachadas, a transmitância térmica das paredes e coberturas, fator solar e a densidade de cargas internas (iluminação, pessoas e equipamentos elétricos).

A TIPOLOGIA ADOTADA

O caso básico representativo do edifício de escritórios possui pé-direito de 3,5m e um total de 15 pavimentos + 2 subsolos para garagens, com ocupação exclusiva para escritórios de serviços. A área projetada é de 1.500 m², sendo a parcela de 20% de área não-condicionada em cada pavimento, correspondente a escadas, elevadores e sanitários. O sistema de condicionamento de ar adotado foi do tipo central de água gelada.

O croqui, apresentado na Figura 1, indica as dimensões para o pavimento tipo deste modelo. A área sombreada representa a zona não condicionada. Nas primeiras simulações foi considerada a utilização do sistema de condicionamento de ar

em todos os pavimentos da edificação. Posteriormente, optou-se por analisar a não utilização do sistema de condicionamento de ar no último andar desta edificação, a fim de representar a típica utilização da cobertura como sala de máquinas.

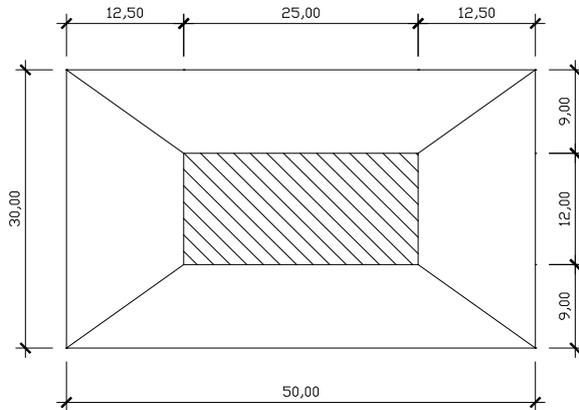


Figura 1. Croqui do pavimento tipo do edifício de escritórios, dimensões em metros, sem escala.

DADOS CLIMÁTICOS

Os programas de simulação térmica reproduzem as condições climáticas através de arquivos representativos do clima de determinada região. O programa *EnergyPlus* (DOE, 2012), por exemplo, necessita de um arquivo climático com registro horário de dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade e direção do vento, etc., para o período de um ano, ou seja, 8.760 horas. Foram utilizados dois tipos de arquivos climáticos: TRY e TMY. O Ano Climático de Referência – TRY (*Test Reference Year*) é um conjunto de dados climáticos horários, obtido através da análise de uma série de 10 anos, da qual foi extraído um ano sem extremos de temperatura. O arquivo climático TMY, obtido através da base de dados do projeto SWERA (*Data for Solar and Wind Renewable Energy*), é uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos, gerando um ano climático que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês.

A NBR 15220, Norma de Desempenho de Edificações (ANBT, 2005), propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para o estudo em questão, foi selecionada a cidade de São Paulo da zona bioclimática brasileira 03.

ALTERNATIVAS DE SIMULAÇÃO

Alternativas de simulação foram propostas a partir do caso básico da edificação, ou seja, sem a utilização de isolamento térmico, com o objetivo de mapear os casos para os quais o uso do isolamento térmico melhora o desempenho térmico da edificação, o impacto no consumo de energia e no dimensionamento do sistema de condicionamento de ar. Pois, se o isolamento térmico é capaz de reduzir a carga térmica instantânea para certas condições de projeto de edificações, certamente haverá uma redução na necessidade de carga instalada em condicionamento de ar. As alternativas contemplam mudanças no envelope das edificações – percentual de abertura nas fachadas e fachada envidraçada, tipo de vidro, transmitância térmica de paredes e cobertura – e na densidade de carga interna das áreas climatizadas. A Tabela 1. Valores adotados nos parâmetros variados nas simulações do edifício. apresenta os valores adotados para os parâmetros variados nas simulações.

Tabela 1. Valores adotados nos parâmetros variados nas simulações do edifício.

| Parâmetros variados | |
|---|---|
| Percentual de abertura das fachadas | - 40% |
| | - 60% |
| Fachadas envidraçadas | - 1 com valor fixo de 20% e as demais com percentuais variáveis |
| | - 4 fachadas com valores variáveis |
| | - 0,5 W/m ² .K - 1,0 W/m ² .K |
| Transmitância térmicas das paredes | - 1,5 W/m ² .K |
| | - 2,0 W/m ² .K |
| | - 2,5 W/m ² .K |
| | - 3,5 W/m ² .K |
| Tipo de vidro (SHGC*) | - 0,71 |
| | - 0,30 |
| Transmitância térmicas da cobertura | - 1,0 W/m ² .K |
| | - 2,75 W/m ² .K |
| Densidade de carga interna das áreas climatizadas | - 20W/m ² |
| | - 60W/m ² |

A Tabela 2 apresenta a composição dos diferentes valores de densidade de carga interna adotada. A importância desse parâmetro está no fato de que simulações realizadas em pesquisas anteriores (Melo & Lamberts, 2008; Chvatal;

Corvacho, 2009) mostraram que os benefícios do isolamento térmico de paredes em alguns climas brasileiros são altamente dependentes da geração de calor interno na edificação. De acordo com essas pesquisas, prédios com alta densidade de carga interna necessitariam de um envelope com resistência térmica mais baixa para permitir maior dissipação de calor e prédios mais eficientes, com carga interna mais baixa, teriam maior necessidade de isolamento térmico em suas paredes de acordo com o clima em que estariam inseridos.

A densidade de carga interna leva em consideração a potência instalada em iluminação artificial, a densidade de ocupação e equipamentos elétricos em cada zona térmica. A opção de 20 W/m², por exemplo, representa um sistema de iluminação eficiente (11 W/m²) e escritório com baixa densidade de ocupação, com cerca de 30 m² por pessoa. Para representar a carga de equipamentos elétricos – especialmente microcomputadores – considera-se cerca de 150 W para cada ocupante do prédio.

Tabela 2. Composição dos valores de densidade de cargas internas adotadas.

Densidade = 20 W/m²

| | Qtd | W/m ² |
|----------------------------|-----|------------------|
| Ilum. (w/m ²) | 11 | 11,00 |
| Pes. (m ² /pes) | 30 | 4,00 |
| Equip. (W/pes) | 150 | 5,00 |
| Total | - | 20,00 |

Densidade = 60 W/m²

| | Qtd | W/m ² |
|----------------------------|------|------------------|
| Ilum. (w/m ²) | 19,5 | 19,50 |
| Pes. (m ² /pes) | 6,7 | 18,00 |
| Equip. (W/pes) | 150 | 22,50 |
| Total | - | 60,00 |

As rotinas de ocupação e funcionamento de equipamentos possuem valores diferenciados para os dias úteis e finais de semana. Durante os dias de semana, no período compreendido entre 9h00 e 18h00 (exclusive) a edificação possui 100% de ocupação, como mostra a Figura 2. Schedule de ocupação.. A partir desse horário a ocupação é de 50% e depois 25%. Aos sábados, a ocupação é de 10% do total e ocorre entre 9h00 e 13h00.

O padrão de uso da iluminação e dos equipamentos é o mesmo, como pode ser observado na Figura 3. Padrão de uso de iluminação. e na Figura 4. Padrão de uso de equipamentos.. Porém, durante o período noturno, entre 20h00 e 9h00, e aos sábados, 5% da iluminação total é utilizada e apenas 2,5% do total de equipamentos é ligado.

O sistema de condicionamento de ar pode funcionar entre 8h00 e 18h00 durante os dias de semana e entre 9h00 e 12h00 durante os sábados, dependendo das condições ambientais. A Figura 5. Padrão de uso do sistema de condicionamento de ar. apresenta o padrão de uso do sistema.

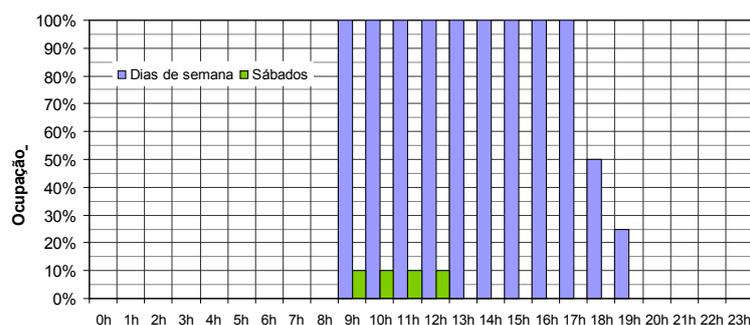


Figura 2. Schedule de ocupação.

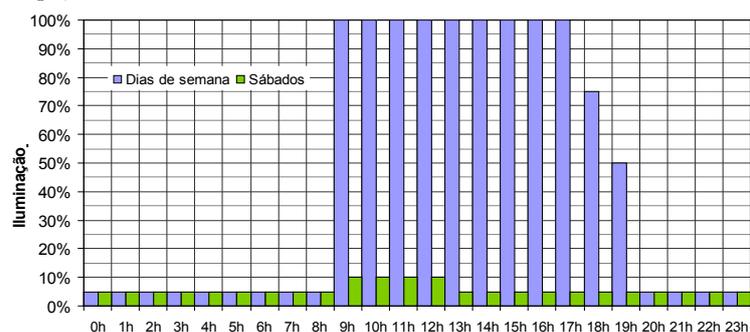


Figura 3. Padrão de uso de iluminação.

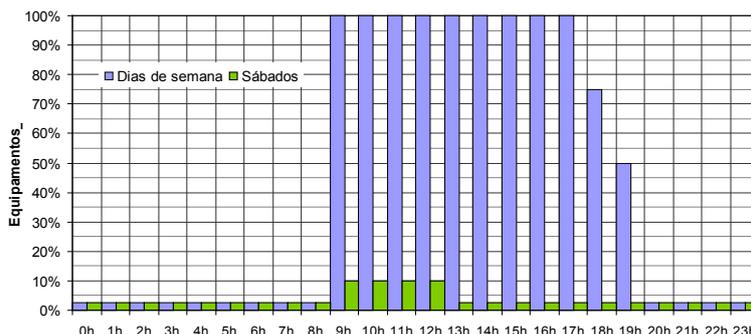


Figura 4. Padrão de uso de equipamentos.

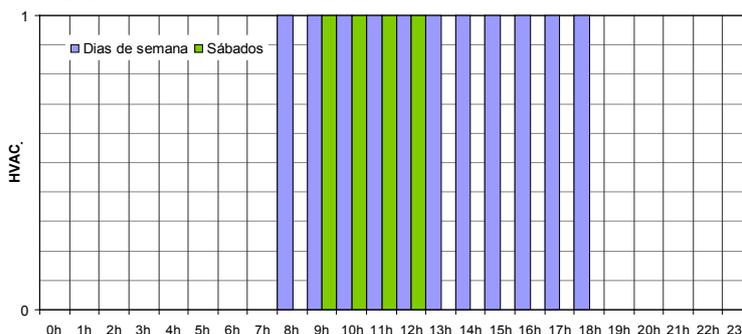


Figura 5. Padrão de uso do sistema de condicionamento de ar.

6 RESULTADOS

CONSUMO FINAL

Observa-se através da Figura 6. Consumo final do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 60W/m². e através da Figura 7. Consumo final do EE com SHGC de 0,71 e carga interna de 20W/m², que apresentam os resultados para os casos com ILD de 60W/m² e 20W/m² respectivamente, que, independente do valor de carga interna instalada, o uso do isolante térmico na cobertura reduz o consumo final da edificação. Para os primeiros casos a redução é da ordem de 1% ao ano e para os casos mais eficientes, ou seja, com densidade de carga interna baixa a redução é maior, em torno de 2% e 3% ao ano. Enquanto que para os casos com alta densidade de carga interna instalada a utilização de isolante térmico nas paredes resultou em um aumento do consumo final da ordem de 1,5% (entre os casos sem isolamento e mais isolados), os casos com ILD de 20W/m² apresentam pouca influência das transmitâncias térmicas das paredes no consumo final da edificação. Porém, para os casos com baixa densidade de carga interna, houve redução de 1% no consumo anual de energia elétrica dos casos com U_{cob}=1,0W/m².K e U_{cob}=2,75W/m².K e WWR de 40% e 20% Oeste

em comparação com os valores de transmitância térmica de paredes de 3,5 W/m².K e 2,5 W/m².K. Percebe-se ainda, que os resultados das diferentes áreas de janelas com relação à fachada possuem comportamento semelhante com relação à alteração da transmitância de paredes e coberturas.

A Figura 7 apresenta os resultados das simulações dos casos do edifício de escritórios com a alteração do SHGC do vidro de 0,71 para 0,30. Apesar da diminuição do consumo anual de energia com a mudança do SHGC para 0,30, o comportamento dos resultados é o mesmo observado anteriormente, onde houve a redução do consumo final com a utilização de isolamento térmico na cobertura (1,5% para 60W/m² e 3% para 20W/m²). Observa-se que a utilização de isolante térmico nas paredes prejudica a dissipação do calor interno para o ambiente externo para os casos com alta densidade de carga interna instalada, aumentando o consumo final da edificação. Para os casos com ILD de 20W/m², houve pouca influência das transmitâncias térmicas das paredes no consumo final da edificação. Porém, comparando-se os casos menos isolados com os casos isolados termicamente, obteve-se redução de 3% para os casos com WWR de 60% e 4% para os casos com WWR de 40% e 20% Oeste.

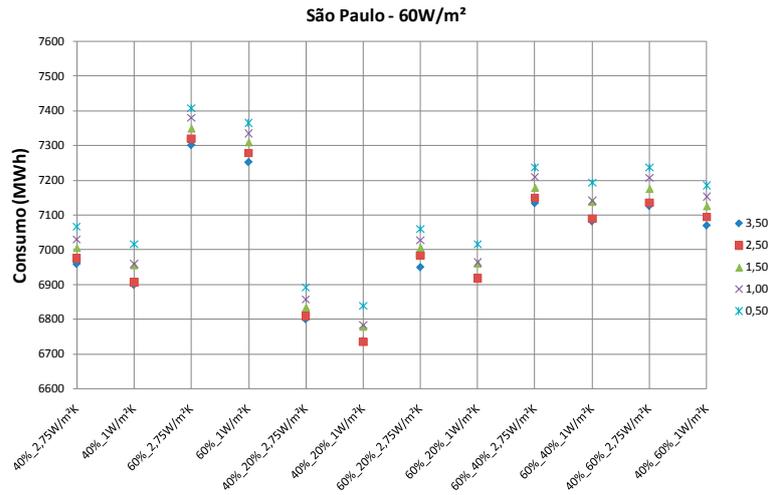


Figura 6. Consumo final do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 60W/m².

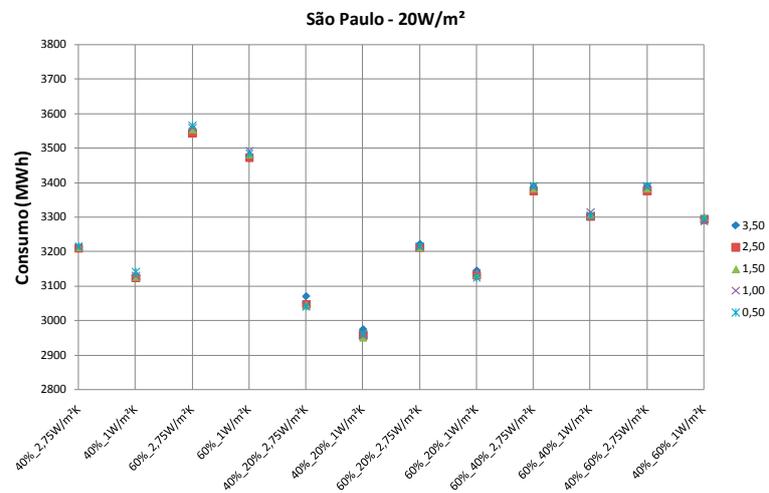
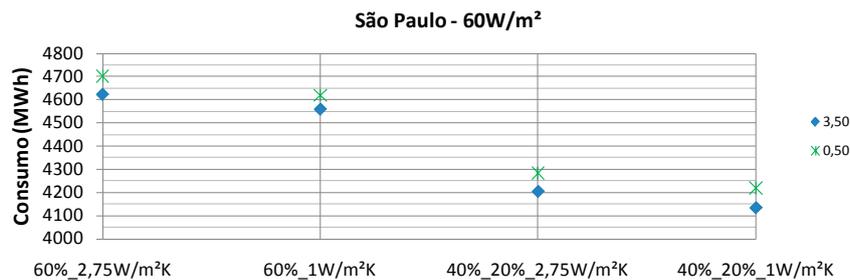


Figura 7. Consumo final do EE com SHGC de 0,71 e carga interna de 20W/m².

Analisando o consumo por uso final de um caso em particular, com WWR de 40% e 20% na fachada oeste, ILD de 20W/m², com o uso de isolante térmico nas paredes e cobertura nota-se, através da Figura 8, que o consumo do sistema de condicionamento de ar representa 42% do uso final (Figura 9). O total do consumo de energia elétrica utilizado pelo sistema de iluminação é de 43%, e pelos equipamentos de 15%. Ou seja, a utilização de isolamento térmico em edificações eficientes reduz o consumo de energia elétrica do

sistema de condicionamento de ar ao reduzir a carga térmica da edificação.

Dessa forma, a redução efetiva no consumo de energia elétrica é maior do que a redução obtida no consumo total. Para o caso em questão, enquanto a redução no consumo total (iluminação + equipamentos + sistema de condicionamento de ar) é de 3,5%, tem-se que o consumo anual do sistema de condicionamento de ar do caso com isolamento é de 1.286 MWh, 7,6% menor do que o consumo do mesmo caso sem isolamento (1.392 MWh).



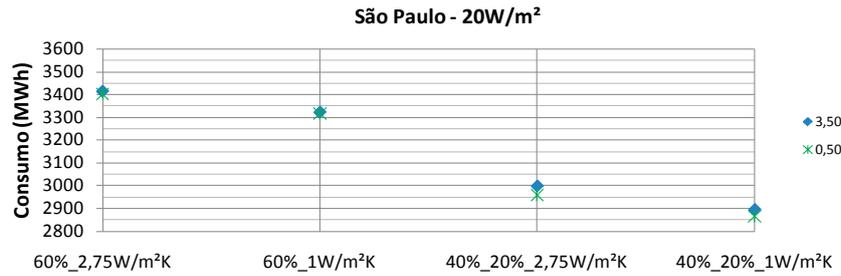


Figura 8. Consumo final do EE com SHGC de 0,30 - São Paulo.

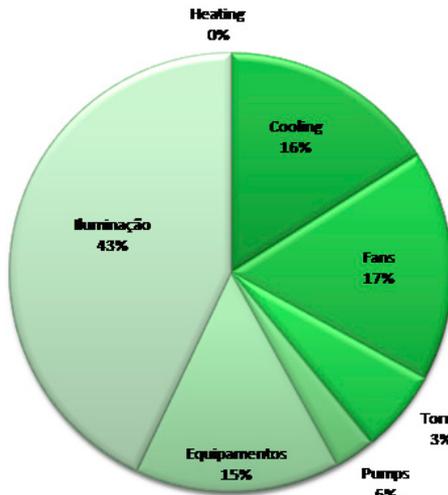


Figura 9. Consumo por uso final do edifício analisado.

CAPACIDADE INSTALADA

Para o arquivo climático de São Paulo, percebe-se que em todos os casos, tanto para alta densidade de carga interna (Figura 10. Capacidade instalada do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 60W/m².) quanto para baixa densidade de carga interna (Figura 11. Capacidade

instalada do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 20W/m².), há redução da capacidade instalada do sistema de condicionamento de ar com a utilização de isolante térmico na cobertura em comparação com o mesmo modelo sem a utilização do isolante. A redução varia de 2% a 3% para os primeiros casos, e de 3% a 6% para os últimos.

Porém, nota-se menor influência da utilização do isolante nas paredes. Para os casos com alta densidade de carga interna, houve redução de 1% na capacidade instalada dos casos com Ucob=1,0W/m².K e WWR de 40% e 20%Oeste e WWR de 60% e 20%Oeste em comparação com os valores de transmitância térmica de paredes de 3,5 W/m².K e 2,5 W/m².K. Não houve redução para os outros casos. Para os casos com baixa densidade de carga interna, houve redução de 2% (4TR) na capacidade instalada do sistema do caso com WWR de 40% e 20%Oeste e Ucob=2,75W/m².K. A redução foi de 1% para os casos com Ucob=1,0W/m².K e WWR de 40% e 20%Oeste e WWR de 60% e 20%Oeste; e do caso WWR de 60% e 20%Oeste e Ucob=2,75W/m².K; em comparação com os valores de transmitância térmica de paredes de 3,5 W/m².K e 2,5 W/m².K. Não houve redução para os outros casos.

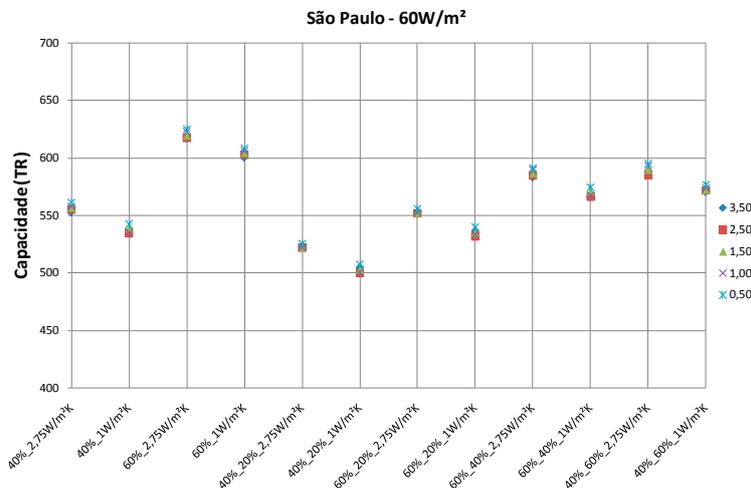


Figura 10. Capacidade instalada do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 60W/m².

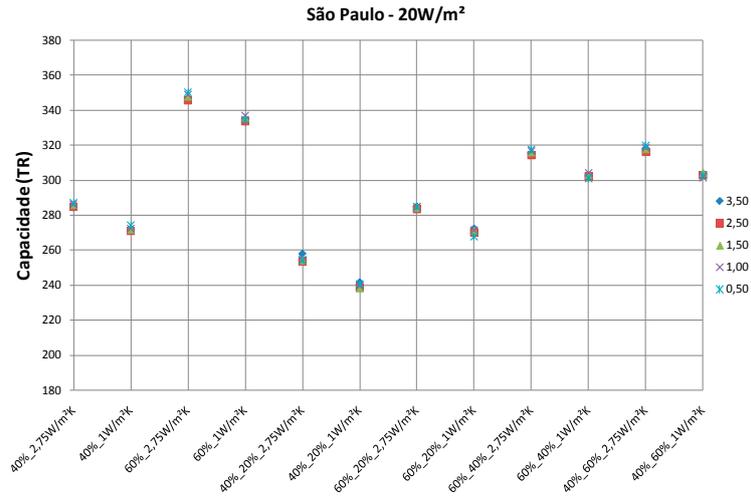


Figura 11. Capacidade instalada do edifício com SHGC de 0,71 e carga interna de 20W/m².

Mesmo com a mudança do SHGC para 0,30, a influência da transmitância térmica com relação à capacidade instalada em sistema de condicionamento de ar das paredes continua sendo pequena, como pode ser observado através da Figura 12. A redução obtida fica em torno de 1% e 2% para os casos com baixa densidade de carga interna. Entretanto, a utilização do isolante térmico na cobertura representou uma redução para todos os casos analisados. Para os casos com ILD de

60W/m² a redução encontrada foi de 4%; e para os casos com ILD de 20W/m² a redução foi também de 4% para os casos com WWR de 60% e de 7% para os casos com WWR de 40%. Comparando-se os casos sem isolamento térmico em paredes e coberturas e casos isolados, obteve-se redução de 3% (16TR) e 4% (19TR) para os casos com elevada carga interna e 4% (14TR) e 8% (19TR) para os modelos de baixa carga interna, para WWRs de 60% e 40% e 20% Oeste, respectivamente.

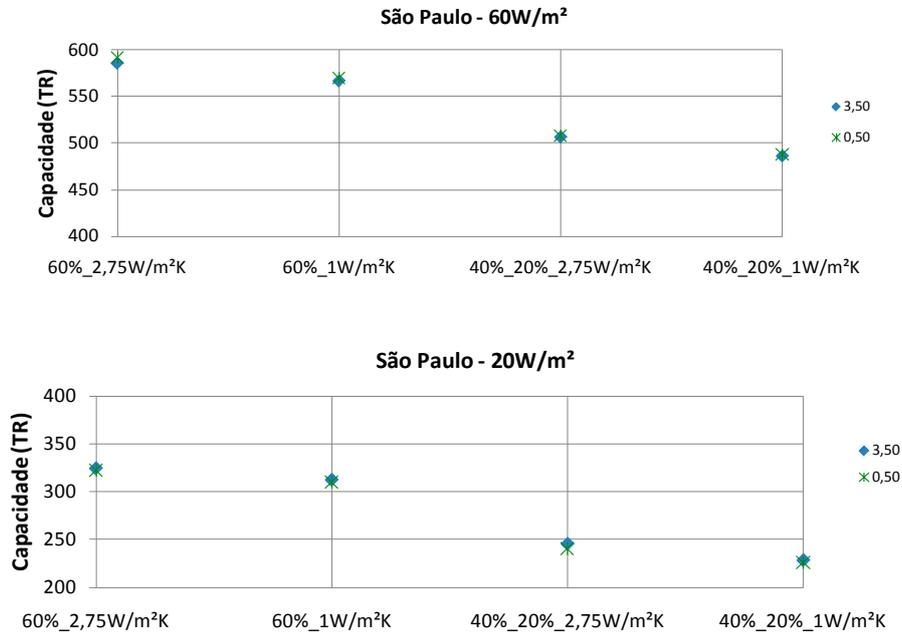


Figura 12. Capacidade instalada do edifício com SHGC de 0,30.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo referente à simulação térmica e energética de uma edificação comercial e respectivas alternativas para avaliação da utilização do isolamento térmico em fachadas e em cobertura no consumo de energia elétrica foram aqui apresentados.

Para a simulação computacional foi adotado o programa EnergyPlus, utilizando a versão 7.2. Este programa calcula a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente, baseado no comportamento térmico e energético da edificação, no clima que a edificação está inserida e nos valores de cargas térmicas encontradas.

Foi adotado um edifício comercial com um total de 15 pavimentos, representando uma área em planta total de 1.500m² por andar. Os parâmetros de percentual de área de aberturas em relação à fachada, tipos de vidro, transmitância térmica das paredes e cobertura e densidades de carga interna ou ILD (iluminação, equipamentos e pessoas) variaram a fim de se obter a análise do desempenho da edificação com relação ao envelope. Os resultados obtidos foram o consumo anual de energia elétrica, expresso em MWh/ano, capacidade instalada em sistema de condicionamento de ar, em Toneladas de Refrigeração (TR). A cidade selecionada foi São Paulo (Zona Bioclimática 3).

Com relação aos resultados obtidos para consumo anual de energia elétrica e capacidade instalada em sistema de condicionamento de ar, constatou-se que para o edifício de escritórios, as maiores reduções foram obtidas para os casos modelados com baixa densidade de carga interna (ILD=20W/m²). Com a alteração do tipo de vidro, de SHGC de 0,71 para SHGC de 0,30 as reduções foram ainda mais significativas. Para a cidade de São Paulo (Zona Bioclimática 3), a redução obtida no consumo de energia elétrica foi de até 3% e na capacidade do condicionamento de ar foi entre 3% e 4% na comparação entre os casos extremos de isolamento do envelope. Para os casos com vidros de menor fator solar, a capacidade instalada foi reduzida entre 4% e 8%. A participação do sistema de condicionamento de ar no consumo final de energia elétrica foi de 42% em um desses casos.

Através dos resultados das simulações pôde-se identificar que os edifícios de escritórios possuem uma grande participação do sistema de condicionamento de ar no uso final de energia elétrica anual, em torno de 40% para edificações com baixa densidade de carga interna. Analisando-se

o consumo por uso final de um caso em particular, com WWR de 40% e 20% na fachada oeste, ILD de 20W/m², com o uso de isolante térmico nas paredes e cobertura observou-se que o consumo do sistema de condicionamento de ar representou grande parcela do uso final.

Somado ao exposto acima, foram constatadas reduções significativas na capacidade instalada em ar-condicionado para todas a tipologia adotada. Portanto, o uso de isolantes é justificável nesses casos devido à significativa redução de demanda e conseqüente redução do custo de energia elétrica. Além é claro de possibilitar um menor investimento em equipamentos condicionadores de ar, já que é possível adquirir máquinas de menor capacidade de refrigeração.

A relação entre o impacto na carga instalada em condicionamento de ar e o uso de isolantes térmicos, constatada no presente estudo, indica forte influência na demanda de energia a ser solicitada pela edificação. Para abastecer um edifício comercial de médio porte no Brasil são necessários grandes investimentos em estrutura de geração e transmissão de energia elétrica. Constatou-se que a aplicação de isolamento térmico nas edificações contribuiu para a redução de consumo e capacidade instalada em sistemas de condicionamento de ar para a maioria dos casos simulados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS [ABNT]. (2005). *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social* Rio de Janeiro.
- Chvatal, K. M. S., Maldonado, E. A. B., & Corvacho, M. H. P. (2005). Study of the impact of the increase of the thermal insulation of the building envelope upon its thermal performance. In: PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini. *Proceedings...* Santorini: PALENC.
- Chvatal, K. & Corvacho, H. (2009). The impact of increasing the building envelope insulation upon the risk of overheating in summer and an increased energy consumption. *Journal of Building Performance Simulation*, v.2, n.4, p. 267-282.
- Department of Energy [DOE]. (2012, out. 21). *Programa EnergyPlus - versão 7.2*. Recuperado de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

- Masoso, O.T. & Grobler, L.J. (2008). A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption. *Energy and Buildings*, v. 40, p. 1889-1894.
- Melo, A. P. (2007). Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Melo, A.P. & Lamberts, R. (2008). Opaque envelope parameters versus energy consumption in commercial buildings in Brazil. *Journal of Building Performance Simulation*, v. 1, n. 4, p. 237-244.
- Roriz, M., Chvatal, K., & Cavalcanti, F. (2009). Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. In: Anais do X Encontro Nacional e VI Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. *Natal. Anais...Natal, 2009.*
- Westphal, F. S. & Lamberts, R. (2007). Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais. In: *Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. Ouro Preto: Antac.

Endereço de correspondência do autor:

Ana Paula Melo

Universidade Federal de Santa Catarina.

Campus Universitário - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

88040-900 - Florianópolis, SC - Brasil