



### III-227 – GERENCIAMENTO DO POLIURETANO RESIDUAL ORIUNDO DE PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO APLICADO À CONSTRUÇÃO CIVIL

**Carolina Niedersberg<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

**Jorge André Ribas Moraes**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Mestre em Engenharia de Produção pela UFSM. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Chefe e professor do Departamento de Engenharias da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Tiradentes, 542 - Centro – Santa Cruz do Sul - RS - Brasil - Tel: (51) 99516771 - e-mail: [carol.engenhariaambiental@gmail.com](mailto:carol.engenhariaambiental@gmail.com)

#### RESUMO

O poliuretano é um composto polimérico utilizado em diversos setores e é, atualmente, um dos plásticos mais versáteis aplicados pela indústria, principalmente nos setores médico, automobilístico e da construção civil. No presente trabalho, buscou-se uma alternativa para o resíduo da espuma rígida de poliuretano gerado no processo de injeção de uma empresa de refrigeração no município de Venâncio Aires, no Rio Grande do Sul, utilizando-o como isolante térmico na área da construção civil. Resultados mostraram que a utilização do material adicionado ao concreto, confere isolamento térmico ao ambiente chegando a diminuir a temperatura em até 6°C, favorecendo um maior conforto térmico aos usuários. Ainda foi sugerida a venda do material para empresas que atuam na construção civil e alternativas de aplicação do material na própria empresa, melhorando o ambiente de trabalho e diminuindo a geração diária de mais resíduo, já que a temperatura é fator fundamental no processo de injeção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poliuretano expandido, Espuma de poliuretano, Isolação Térmica, Construção civil, Refrigeração.

#### INTRODUÇÃO

Descoberto no ano 1937, por Otto Bayer, o Poliuretano (PU) é um composto polimérico amplamente usado em diversos setores. Já atingia, em 2000, um consumo mundial da ordem de 8,5 milhões de toneladas, e estima-se que, em 2010, esse valor aumente para 16 milhões de toneladas. Ocupa, atualmente, a sexta posição do mercado dos plásticos mais vendidos no mundo (cerca de 5%) comprovando ser um dos produtos mais versáteis aplicados pela indústria. Os maiores centros consumidores são América do Norte, Europa e Ásia. O crescimento global está sendo dirigido, em grande parte, pela economia asiática, todavia, as melhores margens de lucro são obtidas nos mercados tradicionais da Europa e América do Norte, onde as boas propriedades dos PUs podem ser usadas dentro do setor médico, automobilístico e da construção civil (VILLAR, 2002).

Os poliuretanos possuem uma grande variedade de densidades e durezas e podem ser moldados em partes rígidas ou flexíveis, formando desde compostos elásticos até os mais rígidos. Devido a essas propriedades, é um material utilizado em diversas aplicações, como colchões, assentos automotivos, pára-choques, painéis de automóveis e também no isolamento térmico de geladeiras, freezers etc. (VILLAR, 2002).

A expansão da espuma de poliuretano é monitorada pelo crescimento (cerca de 30 vezes), temperatura e viscosidade. O endurecimento da espuma ocorre ainda por cerca de 6 minutos após a expansão. O crescimento da viscosidade é acompanhado por um aumento simultâneo da temperatura e no centro da espuma chega-se a atingir uma temperatura de 190°C. O resultado é um baixo perfil de viscosidade que permite a espuma escoar. Após o preenchimento do molde, a espuma necessita de um tempo de cura antes de ser desmoldada.

As espumas podem ser formuladas para fluir facilmente durante a expansão, preenchendo cavidades complicadas (RIBEIRO, 2004).

Com relação ao conforto térmico, o PU é um dos mais eficientes isolantes térmicos para uso em edificações. Este isolamento proporciona conforto térmico, que reflete a satisfação com o ambiente ao redor. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem

dentro de certos limites, dizemos que estamos em conforto térmico. O organismo humano sente este conforto em uma umidade relativa entre 20 e 80% e temperaturas entre 18 e 29°C (RIBEIRO, 2004).

No presente trabalho, foi realizado o acompanhamento do processo de geração do poliuretano em uma empresa de refrigeração na cidade de Venâncio Aires – RS. Através de experimentos, foi comprovado que o PU, utilizado como agregado ao concreto, colabora com a isolamento térmica do ambiente, reduzindo a temperatura e favorecendo um maior conforto térmico para os usuários.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **PRIMEIRA ETAPA: ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DO PROCESSO**

Foi realizado um acompanhamento do processo de injeção na empresa durante quatro meses e constatou-se que a geração do resíduo de poliuretano chegava a cerca de 10 kg por dia. Esse resíduo não possuía um destino adequado, permanecendo estocado no pátio. Através da observação do processo, constatou-se que não havia um controle sobre a quantidade de PU que era injetada, já que a empresa possui uma grande variedade de moldes. Um deles pode ser visto na figura 1.

**Figura 1: Molde de injeção utilizado na empresa.**



O volume destes moldes era desconhecido, o que ocasionava um excesso de material injetado, pois era feito “a olho” pelos operários. O processo de injeção do material e a geração do material residual podem ser vistos nas figuras 2 e 3.

**Figura 2: Injeção do PU nas peças.**





**Figura 3: PU em excesso nas peças, gerando o resíduo.**



Foi iniciado um dimensionamento dessas peças, com o objetivo de se conhecer o volume de cada uma delas, permitindo, assim, que se saiba o tempo ideal de injeção para que não haja sobras no processo.

Sabe-se que a densidade ideal da espuma rígida de poliuretano para isolamento térmico fica entre 40-45 kg/m³. No caso de uma das peças da empresa, o volume fica em torno de 0,220085 m³. Considerando-se uma densidade ( $\rho$ ) de 45 kg/m³, através do uso da fórmula  $\rho = m / V$ , chegamos ao resultado de:

$$\begin{aligned}\rho &= m / V \\ 45 \text{ Kg/m}^3 &= m / 0,220085 \text{ m}^3 \\ m &= 45 \times 0,220085 = 9,904 \text{ Kg} = 9904 \text{ g}\end{aligned}$$

Segundo dados do equipamento de injeção, em 1 segundo são injetados 184g de material no molde (tiro). Para injetar as 9904g que a peça exige, seriam necessários 53,83 segundos. Ou, 3 tiros de 17,94 segundos (a injeção é feita em tiros para dar mais estrutura à peça). Porém, esses dados seriam ideais à uma temperatura ambiente (25°C). Em dias de temperaturas mais baixas, a espuma expande menos. Já em dias de temperaturas mais altas ocorre o inverso, e a espuma expande mais.

## **SEGUNDA ETAPA: TESTE DE ISOLAMENTO TÉRMICO**

A partir de uma amostra de PU residual da empresa, foi realizado um teste de isolamento térmico para caracterizar as propriedades do material quanto a essa variável. O teste não possui referências em normas, foi feito a partir de uma idéia já realizada anteriormente na própria universidade.

O teste foi realizado utilizando-se uma laje de concreto de dimensões: largura: 40 cm, comprimento: 40 cm e altura: 8 cm. Foi feito um isolamento sobre a laje com 5 cm que consistia em uma mistura de 850g de resíduo de PU estocado, com uma granulometria de 2,8mm, 800g de cimento, 2.300Kg de areia e água, até formar liga. A área coberta da laje era de 0,16m². Colocou-se uma camada de 5 cm de resíduo sobre a laje de concreto, e, sobre essa camada, acrescentou-se uma fina camada de argamassa para suportar a caixa superior. Aguardou-se sete dias para a cura da argamassa.

Foram utilizadas duas caixas de compensado com paredes de meia polegada de espessura, com as seguintes dimensões: largura: 35 cm, comprimento: 35 cm e altura: 30 cm. Entre as caixas foi aplicada a laje com o resíduo de PU agregado ao concreto. A caixa superior foi revestida com papel alumínio e foi fixada uma lâmpada incandescente de 100W de potência como fonte de calor. Nas caixas foram feitas furações para colocação de termômetros de Hg com escala de -100C a 1100C.

Os termômetros T1, T2 e T5 se localizam a cerca de 15 cm da laje de concreto. Os termômetros T3 e T4 foram colocados a 2 cm da laje. O termômetro T1 está localizado à 4 cm da lâmpada e o T2 está a 1 cm. O sistema preparado pode ser observado na figura 4.

**Figura 4: Corpo de prova preparado para teste de isolamento térmico.**



O teste de isolamento térmico foi realizado por oito horas, sendo que a temperatura dos termômetros foi medida de hora em hora. Após as medições, foram relacionadas as temperaturas das duas caixas para verificar o potencial de isolamento.

### **TERCEIRA ETAPA: ESTUDO DA INTRODUÇÃO DO RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Foi analisada a possibilidade da venda do material para empresas da área da construção civil para que pudesse ser utilizado como agregado ao concreto, sem função estrutural, somente com fins de isolamento térmico. Isso porque, a utilização de materiais residuais na área da construção civil vem aumentando cada vez mais, devido à melhoria da qualidade final do concreto com a adição de resíduos que melhoram suas propriedades, e, também, com o intuito de minimizar a disposição final de alguns materiais com boas propriedades, dentre eles, o poliuretano. Essa introdução do material como isolante térmico acarreta em diversos benefícios, como a melhoria do conforto térmico no ambiente e ainda a economia que pode ser feita com meios alternativos para adequação da temperatura do ambiente, como o ar condicionado.

### **RESULTADOS**

Para obtenção da granulometria dos resíduos de PU gerados na empresa foi utilizado um conjunto de peneiras. O resíduo disponibilizado pela empresa estava triturado e grande parte dele se encontrava concentrado na granulometria de 2,8 mm.

O teste de isolamento térmico foi realizado no experimento com a laje de concreto e os resultados foram analisados de acordo com o aumento da temperatura, o diferencial de isolamento do termômetro acima e abaixo da laje e a variação do termômetro 5 (T5), localizado na parte mais abaixo da caixa, e mais distante da lâmpada, que representa onde poderia estar uma pessoa. Assim seria possível verificar a existência de conforto térmico no ambiente.

Foram medidas as temperaturas dos termômetros de hora em hora, durante oito horas. Porém, observou-se que após cinco horas de testes a temperatura se mantém praticamente constante.

#### **Teste de isolamento utilizando somente a laje de concreto**

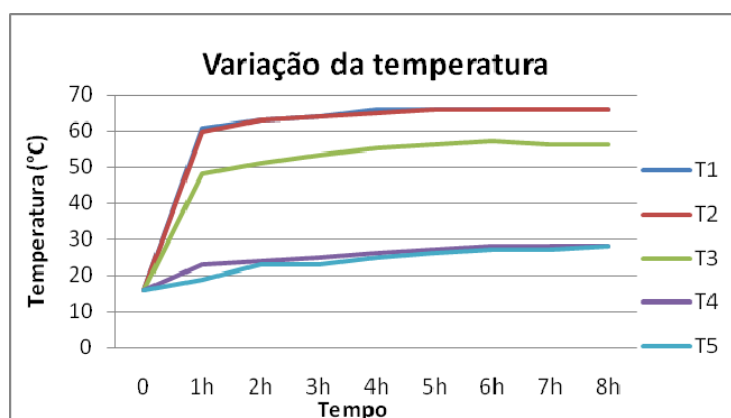
Para fazer a comparação e verificar a capacidade de isolamento do PU agregado ao concreto, foram medidas as temperaturas do processo utilizando somente a laje, sem nenhum agregado. Os resultados podem ser vistos na tabela 1 e também estão plotados na figura 5.



Tabela 1: Resultados utilizando somente a laje de concreto

Temperatura (°C)/Tempo	0	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
T1	16	61	63	64	66	66	66	66	66
T2	16	60	63	64	65	66	66	66	66
T3	16	48	51	53	55	56	57	56	56
T4	16	23	24	25	26	27	28	28	28
T5	16	19	23	23	25	26	27	27	28

Figura 5: Variação da temperatura utilizando somente a laje de concreto.



A variação de T5 foi de, aproximadamente, 1,5°C por hora. Durante as 8 horas, a variação foi de 12°C.

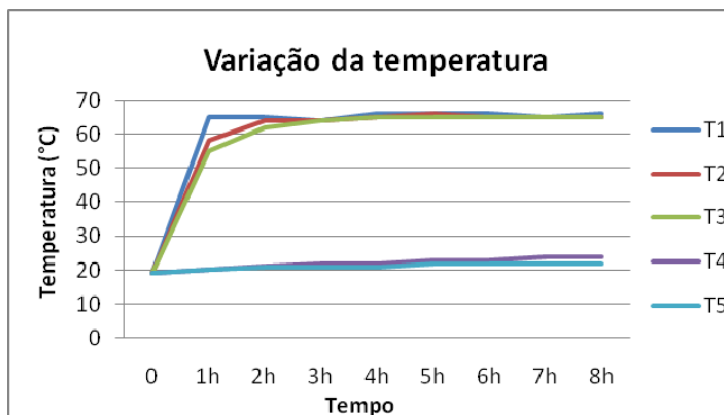
#### Teste de isolamento utilizando uma camada de poliuretano agregado sobre a laje de concreto

Utilizando o poliuretano adicionado ao concreto, foram medidas as temperaturas da mesma forma que somente com a laje, para que se fizesse a comparação do isolamento com e sem o PU. Os resultados podem ser vistos na tabela 2 e na figura 6.

Tabela 2: Resultados obtidos utilizando a camada de poliuretano agregado sobre a laje de concreto.

Temperatura (°C)/Tempo	0	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
T1	19	65	65	64	66	66	66	65	66
T2	19	58	64	64	65	66	65	65	65
T3	19	55	62	64	65	65	65	65	65
T4	19	20	21	22	22	23	23	24	24
T5	19	20	21	21	21	22	22	22	22

**Figura 6: Variação da temperatura utilizando o PU agregado ao concreto.**



A variação de T5 foi de 2°C ao longo das 8 horas.

No trabalho realizado por RIBEIRO (2004), a variação da temperatura utilizando-se o PU com granulometria entre 4 mm e 12,5 mm foi de aproximadamente 4°C.

Na presente pesquisa a variação da temperatura utilizando-se o PU com granulometria de 2,8 mm foi de 6°C. Como pode ser observado pela tabela 3 e leitura do termômetro T5 (28°C - 22°C = 6°C). Supõe-se que essa melhora foi obtida devido a homogeneidade do poliuretano agregado ao concreto, o que se obteve devido ao controle dos resíduos que saíram da peneira.

#### **Análise da introdução do PU na construção civil**

Analizamos a possibilidade de venda desse material para empresas que trabalham na área da construção civil e já utilizam esse material como agregado ao concreto.

Foi feito o contato com a empresa Dakron®, localizada em Porto Alegre, que já utiliza um material de EVA como agregado leve ao concreto, sem função estrutural, mas com fins de isolamento térmica e acústica, como pode ser visto na figura 7. Por ser um material muito semelhante ao PU, que possui as mesmas propriedades como isolante térmico, poderia ser estudado o uso do poliuretano com o mesmo fim, vendendo-o para empresas que tenham interesse no controle de temperaturas em ambientes diversos.

**Figura 7: Agregado leve de EVA e concreto.**



A empresa Dakron® vende esse material por cerca de R\$6,80 o saco de rafia de 100litros. Sugere-se que a empresa avaliada disponibilize sacos de 100 litros também por um valor aproximado de R\$6,00, dando uma destinação correta ao resíduo gerado, e com algum retorno sobre o mesmo, visto que ele deverá ser triturado, posto em sacos de rafia e também deve se ter alguma mão de obra para processar o material.





É importante salientar que, a intenção da empresa é não gerar o resíduo, ou, ao menos, reduzir a geração. Porém, visto que há material estocado e que ocorre, ainda, uma geração diária de poliuretano residual, a destinação do PU para a área da construção civil seria uma alternativa ambientalmente correta e com algum retorno financeiro para a empresa.

Outra alternativa para a empresa seria utilizar o resíduo em benefício próprio, realizando o isolamento térmico do próprio pavilhão, já que existe a necessidade de um controle de temperatura para que não haja mais a geração do próprio resíduo, pois uma das formas de controlar a expansão do PU nas peças seria controlando a temperatura, procurando manter sempre uma temperatura ambiente.

## CONCLUSÕES

Através do experimento realizado com o poliuretano agregado ao concreto, pode-se observar que o T5, que representa o ambiente onde o homem estaria inserido, alcança valores de conforto térmico no ambiente, já que a faixa de conforto do organismo humano está entre 18° e 29°C, e a temperatura máxima alcançada foi de 22°C, enquanto que, somente com o concreto, a temperatura máxima atingida foi de 28°C. Este valor ainda está dentro da faixa de conforto térmico, porém, comprova-se que, utilizando o agregado a temperatura é mais baixa, existindo a isolação térmica, favorecendo assim, um maior conforto térmico para os usuários do ambiente.

Os valores de T4 também nos mostram uma boa característica na temperatura, alcançando um valor de 24°C no sistema utilizando o PU agregado ao concreto.

A pesquisa referente à venda do material também mostra que a empresa poderia obter certo retorno financeiro com o resíduo, enviando-o para empresas da área de construção civil que o utilizassem em seus processos como material agregado. Dessa forma, também se faria a reutilização desse material, que não seria enviado para aterros sanitários, deixando de causar impacto ao meio ambiente.

Antes de qualquer proposta, a empresa poderia tentar reduzir cada vez mais a geração do poliuretano residual no processo, introduzindo na linha de produção um conceito de produção mais limpa (P+L), onde o foco principal está, primeiramente, na redução, e só então na reciclagem e reutilização do resíduo. Deve ser feito o dimensionamento de todas as peças e o controle de fatores externos, como temperatura, umidade etc., que possam alterar o processo de expansão do PU na injeção.

Não sendo possível reduzir totalmente a geração do resíduo, poderia ser estudada a venda do poliuretano para empresas da área da construção civil para ser utilizado na isolação térmica em edificações, porém, sem fins estruturais, de forma que ele deixaria de estar estocado no pátio da empresa, e não haveria a necessidade de enviá-lo a um aterro sanitário.

Uma forma de utilização do resíduo estocado seria a isolação térmica do próprio pavilhão da empresa, de forma que o ambiente dentro da linha de produção estaria controlado, proporcionando conforto térmico aos funcionários e contribuindo para a própria diminuição do PU na injeção, pois a temperatura é um dos fatores chaves para que se tenha um controle na expansão da espuma.

Também é importante ressaltar a economia que pode ser feita com processos de climatização, já que o próprio material, com suas propriedades isolantes, proporciona o conforto térmico necessário ao ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RIBEIRO, J. I.; Estudo para aplicação de resíduos de poliuretano como isolante térmico na construção civil. Monografia apresentada ao curso de arquitetura na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Santa Cruz do Sul, 2004.
2. VILLAR, W. D.; Química e tecnologia dos poliuretanos; 3 ed. Rio de Janeiro, 2002.