

3

Desenvolvimento de um novo protótipo de dessorção térmica *in situ*

O primeiro protótipo de um sistema de dessorção térmica, desenvolvido por Portes (2002), tinha a finalidade de remediar *in situ* resíduos de limpezas de praias atingidas por derrame de óleo. O sistema foi projetado como uma ferramenta operacional de um sistema de contingência de derrame de óleo em ambientes costeiros. Suas características não são apropriadas para o uso em dutovias, que requerem um sistema modular que se adeque a suas características geométricas. Assim, resolveu-se projetar e construir um novo sistema. Este capítulo apresenta as características desejáveis de um sistema para remediação de britas das dutovias (*pipeways*) e de pisos de concreto, bem como descreve o sistema desenvolvido.

3.1. Características desejáveis

No intuito de obter a melhor simulação das condições e dificuldades a serem encontradas em campo, quando utilizado a técnica de dessorção térmica, procurou-se nesse trabalho projetar e desenvolver um protótipo de dessorção térmica *in situ* eficiente e que apresentasse as seguintes características:

- Cobertor térmico, para o aquecimento do meio a ser descontaminado, que atinja temperaturas de até 1000°C. Este ainda deve apresentar compatibilidade com compostos químicos agressivos;
- Sistema de controle de temperatura, adequado às características do cobertor térmico;
- Sistema de vedação para emissões, impedindo que as emissões gasosas, produzidas durante o funcionamento do NPTIS, sejam emitidas direto para a atmosfera sem o devido tratamento;

- Um isolamento térmico eficaz, que evite, ou pelo menos, minimize a passagem de calor do cobertor térmico para o meio externo, e também impeça o aquecimento excessivo do material usado para vedação dos gases;
- Um sistema de tratamento das emissões produzidas no processo de dessorção e
- Um sistema de aquisição de dados e monitoramento de temperatura durante o funcionamento do NPTIS.

3.2.

Equipamentos projetados, desenvolvidos e materiais especiais utilizados no NPTIS

Foram projetados e desenvolvidos uma série de equipamentos para o sistema de dessorção térmica *in situ*, e também se buscou materiais especiais mais adequados às condições que se desejava atingir. A Figura 8 mostra o diagrama esquemático do protótipo.

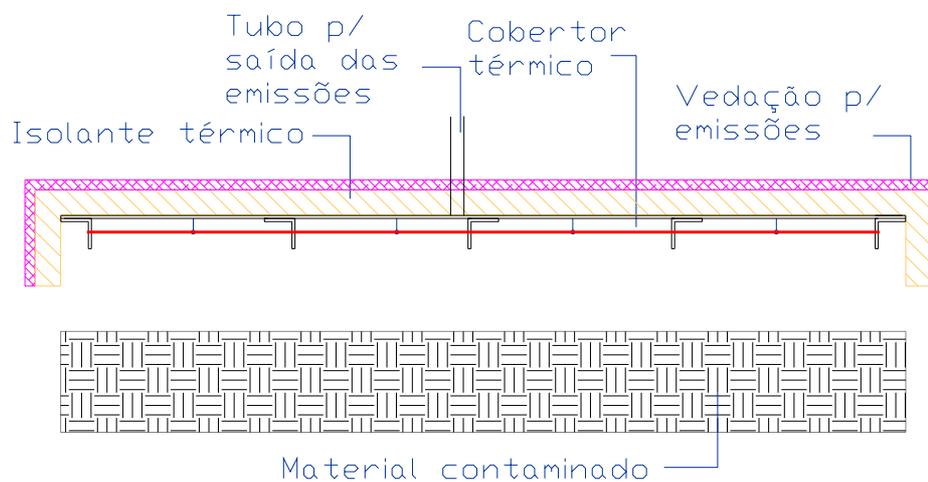


Figura 8 – Esquema do novo sistema de dessorção térmica a ser desenvolvido.

O protótipo possui os seguintes componentes:

- Cobertor térmico;
- Fibra cerâmica (isolante térmico);
- Manta asfáltica (vedação para emissões);

- Controladores de temperatura;
- Controladores de potência;
- Câmara de carvão ativado (filtro e amostragem de gases);
- Bomba á vácuo;
- Oxidador térmico e
- Sistema de aquisição de dados.

Segue abaixo a descrição mais detalhada desses equipamentos desenvolvidos e dos materiais utilizados.

3.2.1. Calha em concreto

Com a finalidade de representar um modelo piloto, do que poderia ser encontrado em campo, foi feita em concreto armado uma calha, em formato trapezoidal, nas dimensões apresentadas na Figura 9. A calha tem a finalidade de servir como local de depósito de material contaminado o qual vai sofrer o processo de dessorção térmica.

A escolha do formato trapezoidal da calha, foi devido ao fato de ser a forma de muitos canais onde são encontrados materiais contaminados por hidrocarbonetos no interior de refinarias, como também, a forma de canais sob tubovias (*pipeways*), onde eventualmente, pode haver vazamento de combustíveis que esses transportam.

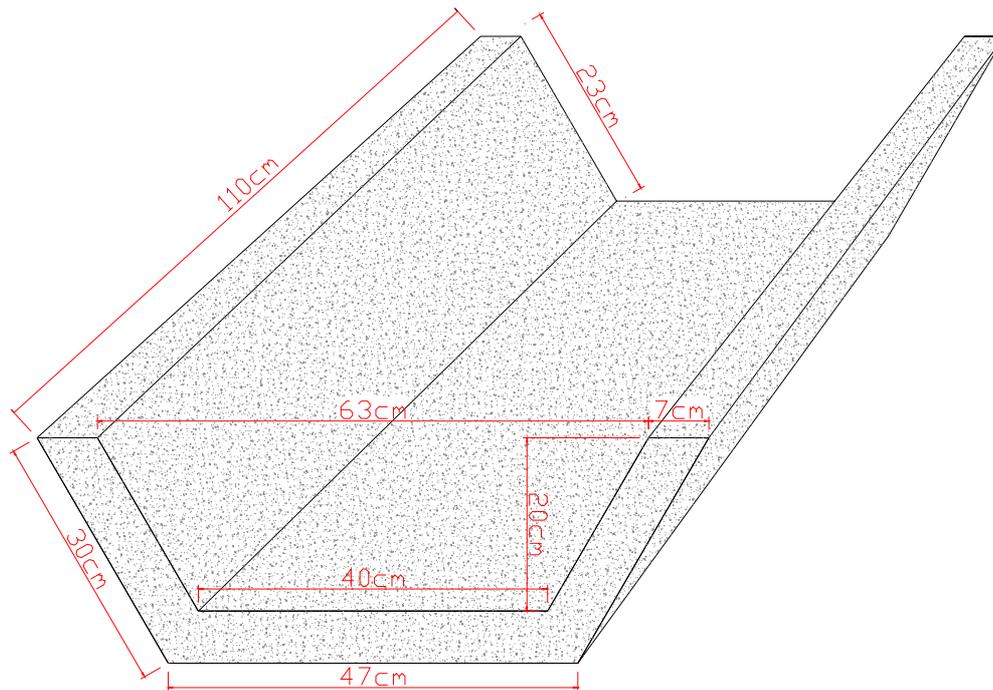


Figura 9 - Perspectiva de calha em concreto (desenho não está em escala).

Pelo método do ACI (*American Concret Institute*), descrito em Metha (1994), foi calculado o traço para o concreto utilizado na confecção da calha em concreto. As características do concreto empregado na construção da calha estão dispostas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características do concreto da calha

Resistência característica	25000kPa
Abatimento do troco de cone	10cm
Diâmetro máximo do agregado	9,5mm
Fator água cimento	0,62

A armadura utilizada na calha foi apenas uma armadura de pele, apropriada para evitar fissuramento excessivo do concreto. Foram usados vergalhões de 8mm, armados em duas direções, com um espaçamento longitudinal de vinte centímetros. A disposição transversal da armadura é melhor visualizada na Figura 10.

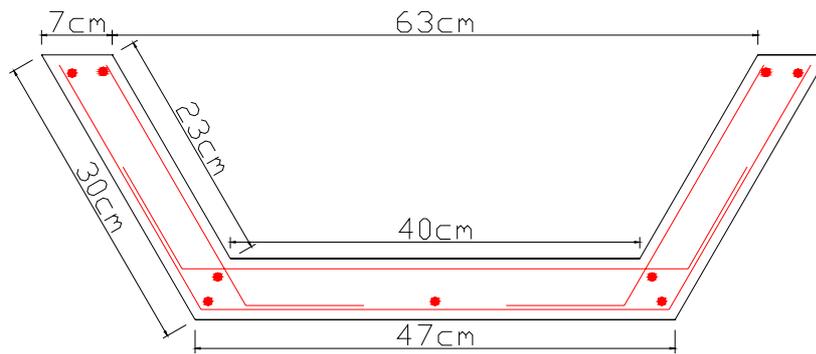


Figura 10 – Distribuição transversal da armadura da calha em concreto

As Figuras 11 e 12 apresentam detalhes da forma e das armaduras empregadas. Observe que a forma em madeira foi revestida com lona plástica para um melhor acabamento.



Figura 11 - Forma e armadura da calha.

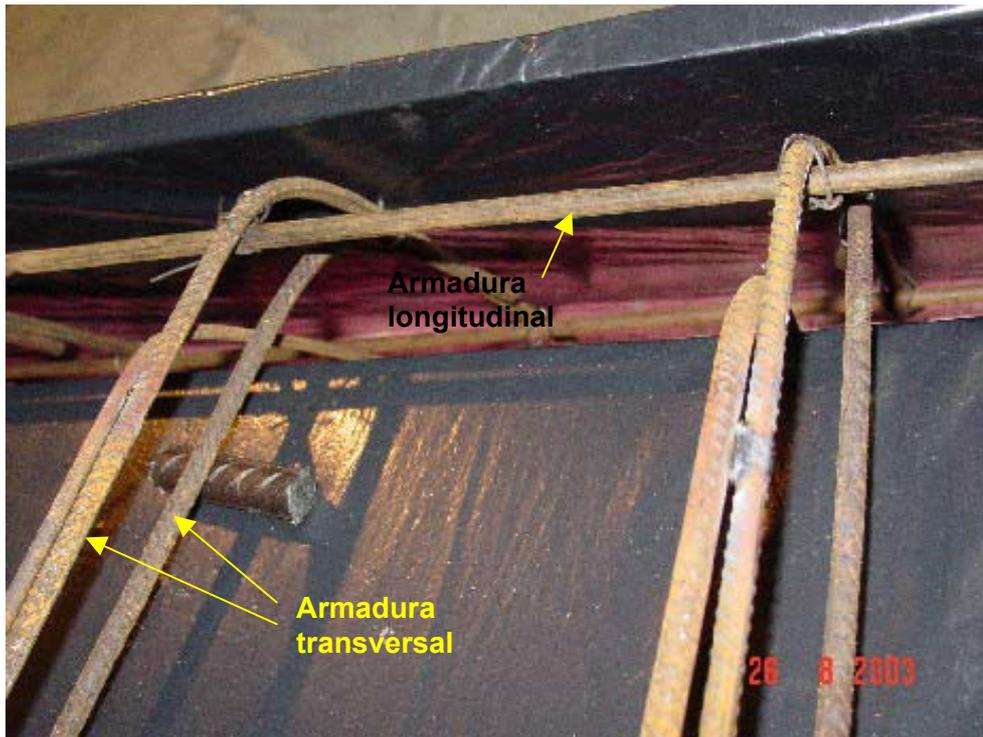


Figura 12 – Detalhe da armadura e forma da calha.

A Figura 13 apresenta a calha recém concretada. A calha foi feita de forma que fosse concretada pela parte inferior para que a superfície interna, em contato com a forma revestida com lona plástica, tivesse um melhor acabamento.

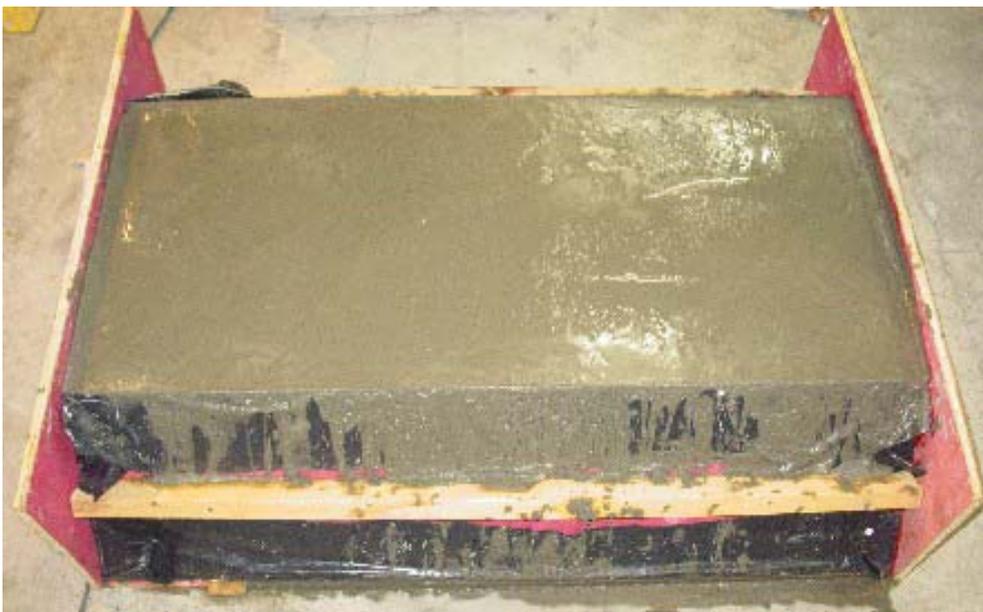


Figura 13 – Calha concretada.

Após a concretagem, foi feita a cura do concreto cobrindo-se a calha recém concretada com uma lona plástica, para evitar a perda excessiva de água. Diariamente era aspergido água sobre a calha para auxiliar a cura. A calha foi desmoldada após 24 dias, e então colocada no local escolhido para ser realizado os ensaios com o novo sistema de dessorção térmica, conforme pode ser visto na Figura 14.



Figura 14 - Calha em concreto.

3.2.2. Cobertor térmico

O cobertor térmico é a fonte de calor pela qual o meio contaminado é aquecido durante a remediação pela técnica de dessorção térmica. Consiste em resistências elétricas montadas em uma estrutura metálica de formato retangular.

Devido ao ambiente que está o cobertor térmico ser agressivo, pois estará submetido a elevadas temperaturas e muito provavelmente em contato com produtos químicos que podem causar corrosão, o material usado na confecção de cobertor térmico foi devidamente escolhido atendendo a esses fatores.

Foram usados para confeccionar a estrutura metálica do cobertor térmico perfis em L, em aço inox 316. O aço 316 não é afetado estruturalmente quando submetido a aquecimentos excessivos (Gerdau, 2004). Devido ao baixo

percentual de carbono, menos de 1% de sua composição, aliado ao alto teor de níquel, com 16 a 18% de sua composição total, e cromo com 10 a 14%, de sua composição, o aço 316 apresenta um bom comportamento quando submetido a altas temperaturas (Gerdau, 2004). Segundo a NBR-6847/81 este aço apresenta alta resistência à corrosão em diversos ambientes agressivos como demonstra a Tabela 10.

Tabela 10 - Resistência à corrosão (NBR 6847/81)

Tipo de Aço	Atmosfera branda e água doce	Atmosfera		Água salgada	Química		
		Industria	Marítima		Branda	Oxidante	Redutor
416	X						
410	X				X		
420	X						
420c	X						
430	X	X			X	X	
302	X	X			X	X	
303	X	X	X		X		
304	X	X	X		X	X	
304l	X	X	X		X	X	
316	X	X	X	X	X	X	X
316l	X	X	X	X	X	X	X
310	X	X	X		X	X	

O cobertor teve sua estrutura confeccionada com perfis em L, de 25,4mm x 50,8mm (aba de 25,4mm e alma de 50,8mm) com 1,5mm de espessura. Foi feita uma estrutura metálica retangular soldada a quente e sobre essa estrutura foi soldada uma tela em aço inox 316, tipo “moeda”, de mesma espessura dos perfis em L, que além de dar uma melhor estabilidade na grade feita com os perfis em L, tem a função de proteger a resistência elétrica. Detalhes desse cobertor são apresentados esquematicamente nas Figuras 15, 16, 17 e 18.

A Figura 15 mostra o esquema do esqueleto da estrutura do cobertor térmico com perfis em L.

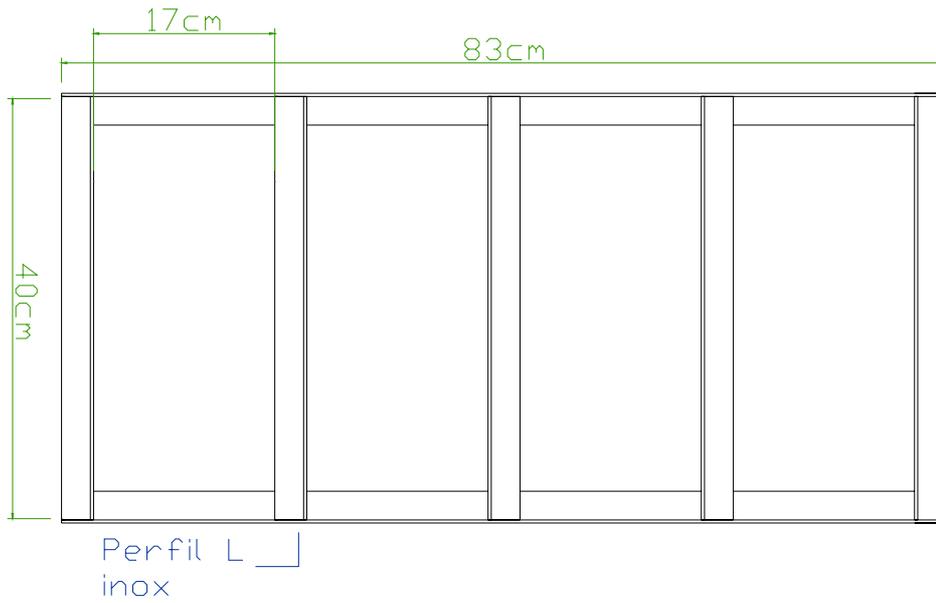


Figura 15 – Esqueleto do cobertor térmico com os perfis em “L”, vista em planta.

A Figura 16 apresenta o esquema completo do esqueleto da estrutura do cobertor térmico com perfis em L e a tela tipo moeda.

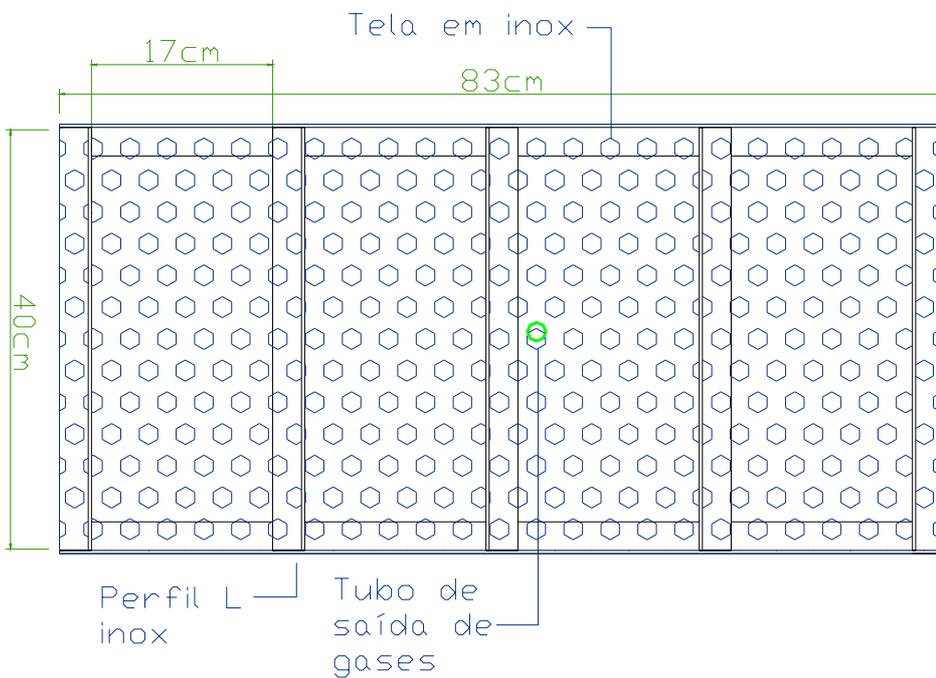


Figura 16 – Esqueleto do cobertor térmico com os perfis em L e a tela tipo moeda.

As Figuras 17 e 18 mostram o esquema do cobertor térmico completo, apresentando os perfis em L, a tela tipo moeda, as resistências, e o tubo de saída para emissões gasosas.

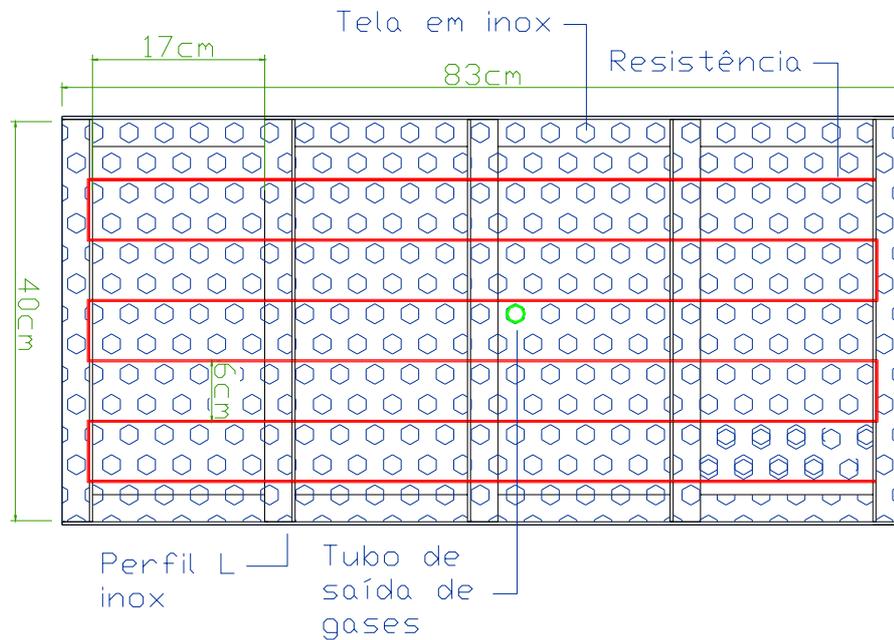


Figura 17 – Cobertor térmico (grade, tela e resistência).

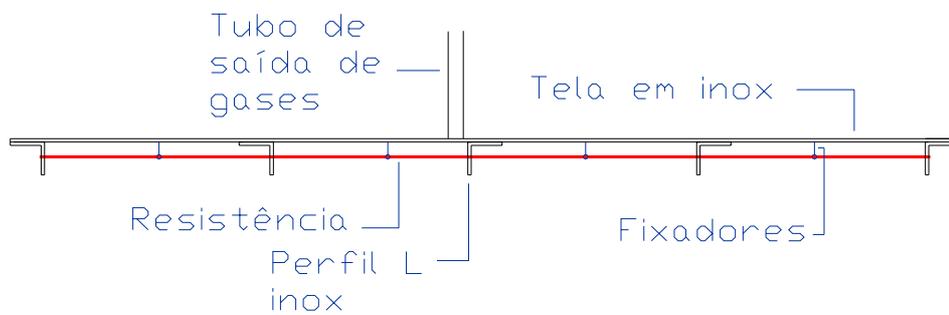


Figura 18 - Cobertor térmico (grade, tela e resistência), corte lateral.

As Figuras 19 e 20 apresentam detalhes da estrutura do cobertor térmico já montado.

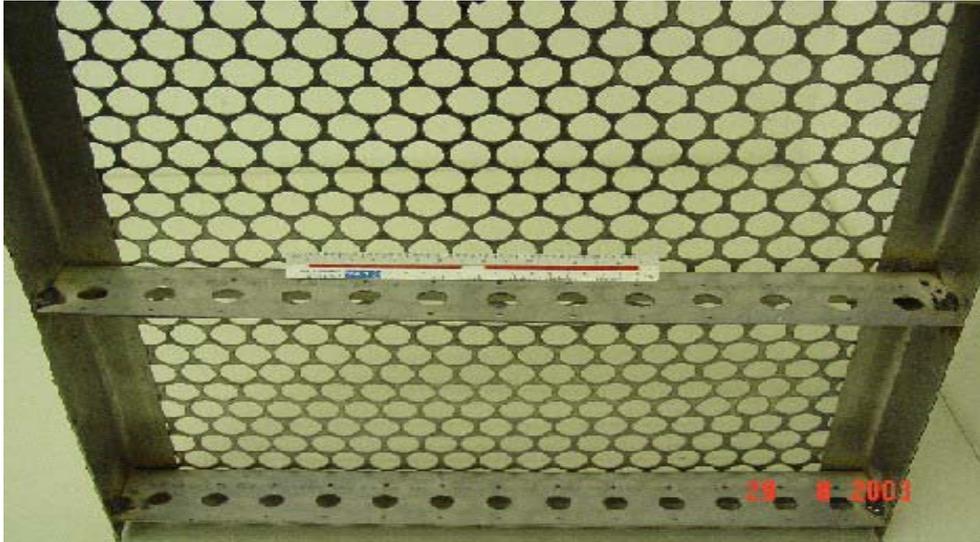


Figura 19 – Detalhe inferior da estrutura do cobertor térmico.

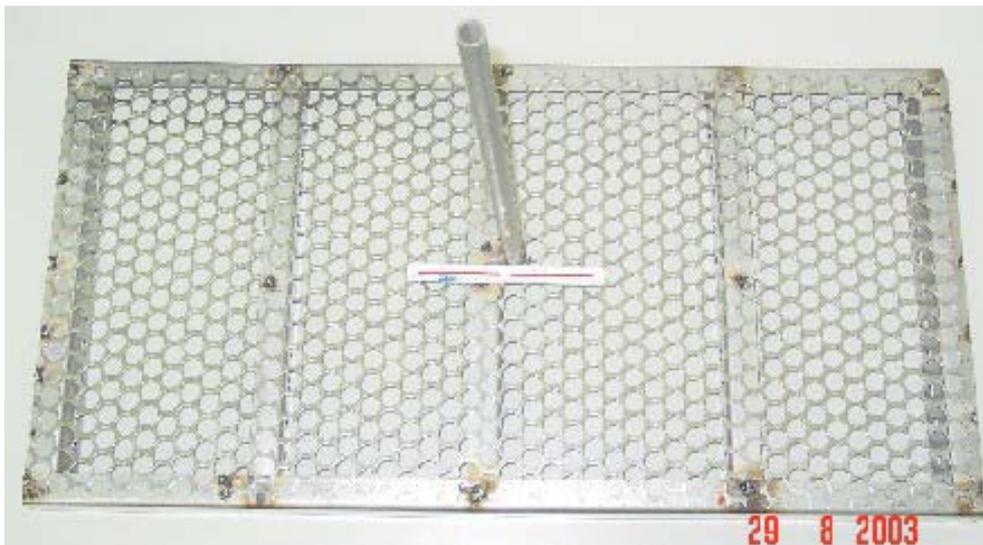


Figura 20 – Estrutura metálica do cobertor térmico

Depois de pronta a estrutura metálica do cobertor térmico, foram então instaladas as resistências elétricas por uma firma especializada. As resistências feitas de níquel e cromo foram encomendadas para que atingissem uma temperatura máxima de 1000°C. Na instalação das resistências elétricas na estrutura metálica foram utilizadas peças refratárias feitas de alumina para servir de isolante elétrico entre a resistência e a estrutura metálica.

As Figuras 21 e 22 apresentam detalhes do cobertor térmico já montado com destaque para as resistências elétricas instaladas. As resistências foram ligadas em paralelo, com cabos especiais, revestidos com silicone e amianto. Os cabos resistem a uma temperatura máxima de 500°C. As resistências operam a uma tensão de 220V e a uma frequência de 60Hz. Foi medido através de um

alicate amperímetro digital, marca Minipa, modelo ET 3200A, que cada resistência possui uma corrente de 10A. Como a ligação é feita em paralelo, a corrente total do cobertor é de 20A.

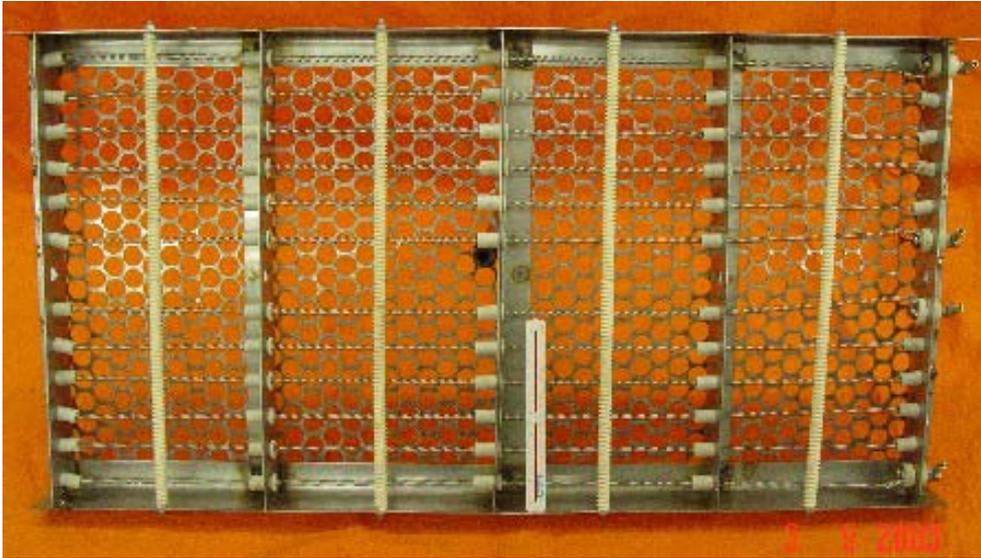


Figura 21 – Vista inferior do cobertor térmico



Figura 22 – Detalhe das resistências e isolantes refratários do cobertor térmico.

3.2.3. Isolante térmico

O isolante térmico ideal para um sistema de aquecimento é aquele que minimiza ao máximo a dissipação de calor para o meio externo, fazendo assim que se tenha uma maior eficiência no aquecimento e, conseqüentemente, um

menor consumo energético. Além disso, o material escolhido deve ser de fácil manuseio, posto que será utilizado *in situ*, e que possa se moldar à superfície a ser instalado.

Como isolante térmico do novo protótipo de dessorção térmica *in situ*, foi utilizado mantas de fibra cerâmica com espessura de 25mm, densidade 96kg/m³ e uma temperatura de serviço máxima de 1400°C. A Figura 23 apresenta a fibra cerâmica empregada.



Figura 23 – Fibra cerâmica.

As fibras cerâmicas, compostas de silicato de alumínio vítreo, são entrelaçadas por um processo de agulhamento para produzirem uma manta de alta resistência, sem a utilização de ligantes orgânicos (FiberFrax, 2003). As características das fibras disponíveis no mercado estão listadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características das fibra cerâmicas (FiberFrax, 2003).

Odor, cor e textura	Insípido, branco, material fibroso
Família Química	Fibra de Silicato de Alumínio Vítreo
Ponto de Ebulição	Não Aplicável
Solubilidade em Água	Não solúvel em Água
Ponto de Fusão	1760°C
Massa Específica	2,50 – 2,75
Fórmula Molecular	Al ₂ O ₃ SiO ₃

Esse material vem sendo empregado ultimamente em substituição a refratários mais comuns como tijolos e amianto, principalmente por ser mais leve e fácil de aplicar. Inicialmente a fibra cerâmica foi empregada para garantir a resistência térmica dos foguetes na entrada da atmosfera. Atualmente, as fibras cerâmicas conseguem atender boa parte das necessidades de isolamento dos fabricantes de equipamentos (Furtado, 2001).

A Figura 24 apresenta as condutividades térmicas de algumas fibras cerâmicas disponíveis no mercado.

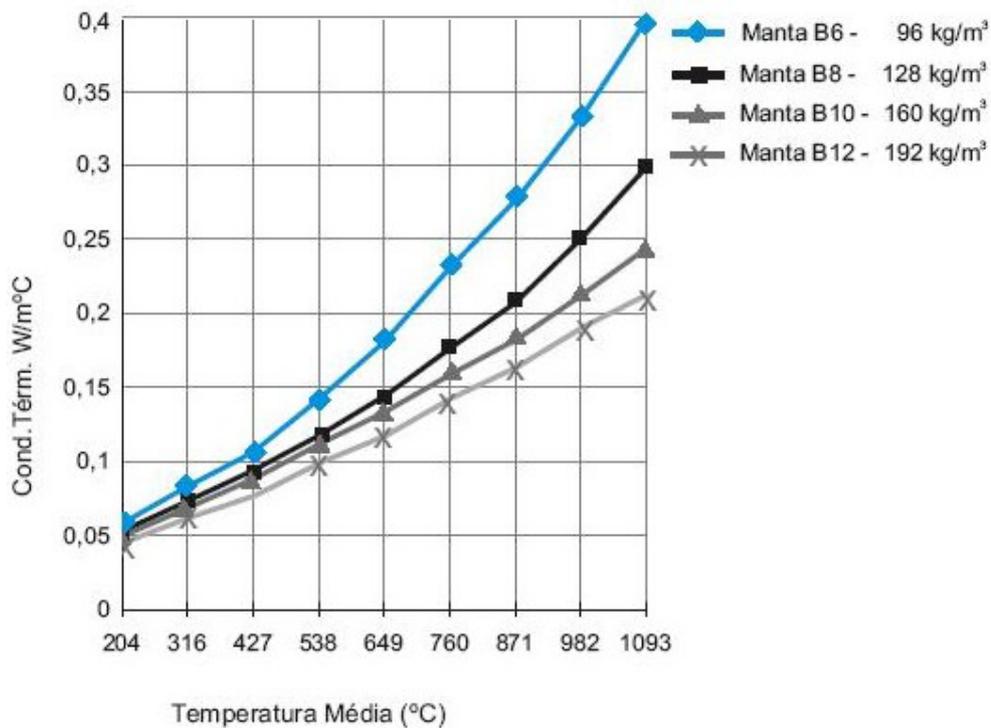


Figura 24 – Condutividade térmica de mantas de fibra cerâmica, FiberFrax (2003).

Em relação a densidade, conforme pode ser visto na Figura 24, quanto maior for o seu valor maior será a sua capacidade de isolamento. No protótipo, foi empregada a manta B6, que apesar de possuir uma maior condutividade térmica a altas temperaturas, possui valores semelhantes aos outros na faixa de temperatura necessária a remediação de materiais contaminados por hidrocarbonetos, *i.e.* o objeto deste estudo.

De acordo com a Fiberfrax (2003), contra a utilização da fibra cerâmica existe principalmente a afirmação de alguns profissionais de que ela é cancerígena. A Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (*apud* Fiberfrax, 2003) classificou a fibra cerâmica, a fibra de lã de vidro e a lã mineral (lã de rocha e lã de escória) como possíveis carcinogênicos humanos baseado na

evidência suficiente de carcinogenicidade em animais, apesar dos dados comprovarem serem insuficientes em humanos. No Brasil, e na América do Sul como um todo, não há nenhuma classificação sobre fibras cerâmicas refratárias (*apud* Fiberfrax, 2003).

De acordo com a FiberFrax (2003), fabricante de fibra cerâmica aqui utilizada, não tem havido aumento de incidência de doenças respiratórias ou outros efeitos significantes em trabalhadores em exposição ocupacional a fibra cerâmica. Estudos a longo prazo e a exposição à inalação em altas doses comprovaram o desenvolvimento de doenças respiratórias em ratos e hamsters. Em consequência disto, a FiberFrax (*op. cit.*) recomenda o uso de luvas, óculos de segurança com abas laterais ou outras formas de proteção para os olhos e roupas bem fechadas para proteger o corpo inteiro, conforme necessário, para prevenir irritação da pele para trabalhadores que mantém contato permanente e direto com esse material.

De acordo com a FiberFrax (*op. cit.*), a fibra cerâmica não é classificada como resíduo perigoso. Segundo a regulamentação da União Européia (*apud* FiberFrax, 2003), os resíduos desse produto não são classificados como “perigosos” ou “especiais”. Sua disposição final é permitida em aterros sanitários licenciados para resíduos industriais. No Brasil os resíduos desse produto não são classificados como “perigosos” ou “especiais”, e sua disposição final também é permitida em aterros sanitários licenciados para resíduos industriais (FiberFrax *op. cit.*).

3.2.4. Manta asfáltica

Com a necessidade de impedir a saída das emissões gasosas, produzidas durante o processo de dessorção térmica, direto para a atmosfera sem que elas passem pelo processo de tratamento, procurou-se um material que envolvesse e cobrisse toda a área na qual estava sendo aplicado calor pelo cobertor térmico.

O material, a ser escolhido para impedir a saída dos voláteis, tinha que também se adaptar a superfície do cobertor térmico e ao local que está sendo descontaminado, além de ter uma certa resistência a temperatura, pois embora esse material seja aplicado sobre a camada de isolante térmico, ainda existe a

possibilidade de um aquecimento dessa camada isolante para longos períodos de aplicação de calor.

O material escolhido foi uma manta asfáltica com 4mm de espessura, com uma face revestida de alumínio, vista na Figura 25, fabricado pela Denver. A Tabela 12 apresenta as características da manta asfáltica empregada.

Tabela 12 – Características da manta asfáltica (Denver, 2004)

Ponto de fulgor mínimo	250°C
Peso	4Kg/m ²
Ponto de amolecimento	95°C à 110°C
Ensaio de escoamento	não escorre quando suspensas na vertical, em estufa a 80°C

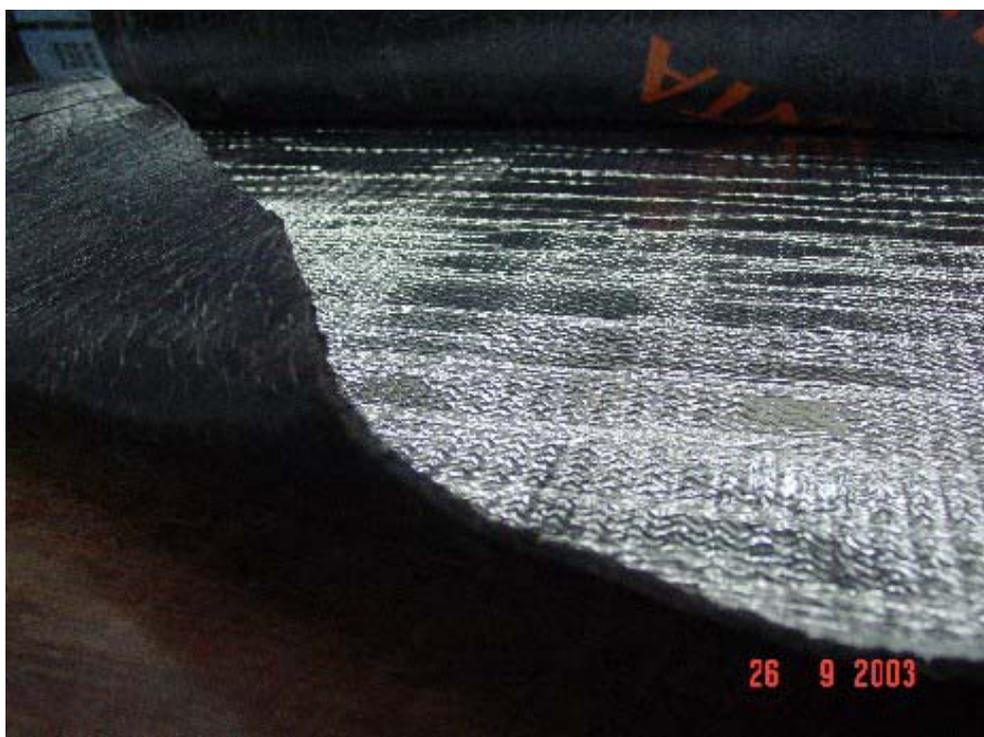


Figura 25 – Manta asfáltica de 4mm, com uma face revestida com alumínio.

Essa manta é a mesma utilizada na construção civil para impermeabilizações de tetos, onde a camada de alumínio em uma de suas faces já oferece proteção mecânica e um melhor isolamento térmico devido refletir a irradiação solar (Denver, 2004).

O isolamento térmico eficiente é fundamental para que a manta asfáltica não sofra amolecimento nem atinja seu ponto de fulgor. Nos primeiros ensaios realizados verificou-se um bom desempenho do isolamento térmico, impedindo

que a manta asfáltica atingisse as temperaturas limites de amolecimento e de fulgor. Porém, com a reutilização da fibra cerâmica em outros ensaios, houve uma perda de sua capacidade de isolamento térmico, conforme é mostrado mais adiante, o que levou a manta asfáltica a atingir patamares de temperatura superiores a seu ponto de amolecimento, entretanto não atingindo o seu ponto de fulgor. Mesmo assim, não houve prejuízo à realização dos ensaios. Após o término dos ensaios com o resfriamento da bancada de ensaio, observava-se a manta um pouco “enrugada” e com pedaços de fibra cerâmica impregnados, conforme é mostrado na Figura 26.

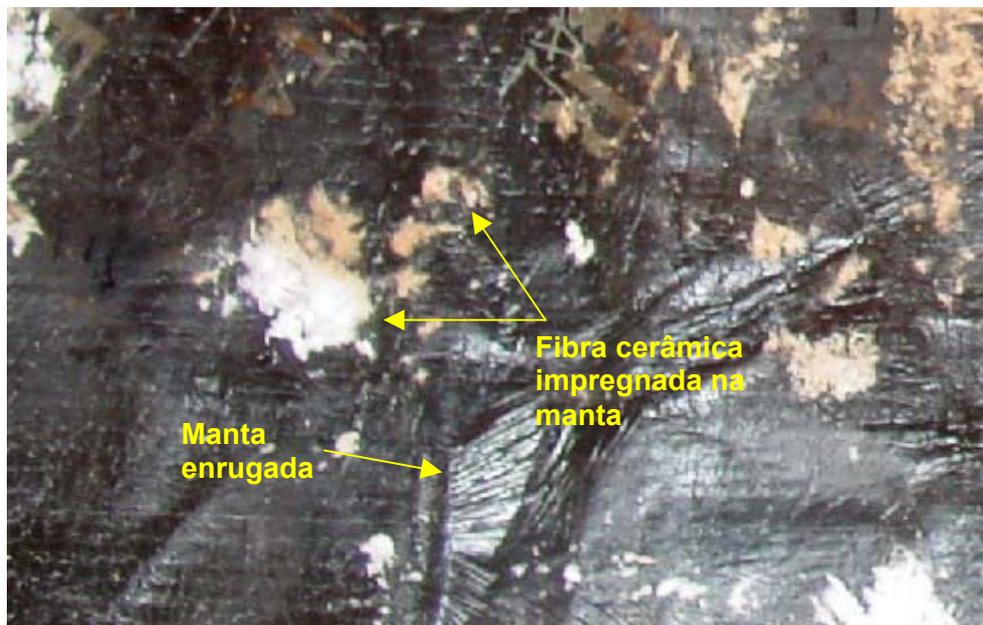


Figura 26 – Manta asfáltica, após utilizada em alguns ensaio

3.2.5. Controlador de temperatura

Para o controle da temperatura do cobertor térmico foi projetado e construído um sistema de controle de temperatura. Este é composto de três partes principais: 1) o controlador de temperatura propriamente dito, 2) um controlador de potência, que une o controlador de temperatura ao cobertor térmico e 3) uma chave tipo liga-desliga que aciona o funcionamento dos controladores bem como a passagem de corrente para o cobertor térmico.

O controlador de temperatura escolhido para esse cobertor térmico foi o controlador universal marca Incon, modelo CNT 110, visto na Figura 27. Esse controlador foi escolhido devido à possibilidade de automatizar a realização do

ensaio, podendo-se programar a realização de todos os incrementos de temperatura que se deseja desenvolver ao longo de todo o ensaio. Este recurso, também chamado de rampas e patamares, permite a programação da aplicação das temperaturas, bem como, os intervalos de tempo em que se deseja permanecer para cada temperatura durante todo o ensaio. Existe ainda a possibilidade desse controlador funcionar no modo manual, onde os incrementos de temperaturas são feitos manualmente para intervalos de tempo determinados por um operador. O controlador tem a possibilidade de ser programado para até 28 segmentos entre rampas e patamares. Entenda-se por segmento o intervalo entre duas temperaturas quaisquer.

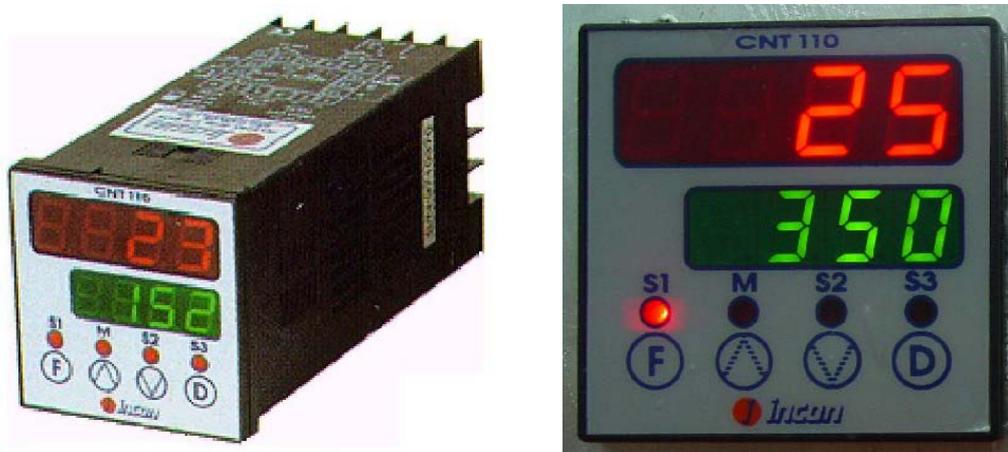


Figura 27 – Controlador de temperatura, Incon CNT 110.

O visor vermelho da Figura 27, indica a temperatura real do processo e o verde à temperatura programada (*set point*). Pelo painel do controlador com auxílio das teclas e dos visores se faz toda a programação do controlador de temperatura. Por meio desse painel também são feitas todas as configurações dos parâmetros a serem utilizados; como por exemplo, o tipo de termopar utilizado. Através dos visores do controlador de temperatura é possível visualizar a intensidade da corrente que está sendo entregue ao cobertor térmico.

As características do controlador de temperatura estão dispostas na Tabela 13.

Tabela 13 – Características do controlador Incon CNT 110

Alimentação	85 a 264V, 50 a 60Hz
Consumo	4 VA
Compatível para termopares	J,K,T,N,S, E,R,S e B
Precisão	J, K, T e N: 0,25% da faixa máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$
	E, R, S e B: 0,25% da faixa máxima de $\pm 3^{\circ}\text{C}$
Resolução	0,1 $^{\circ}\text{C}$
Dimensões	48x48x106mm
Peso	150g
Material	termoplástico ABS preto

O termopar utilizado nesse controlador de temperatura é o tipo K, modelo NiCr (níquel-cromo), sendo do tipo isolado, ou seja, o ponto onde se mede a temperatura é apenas na extremidade da haste do termopar. O termopar tipo K funciona numa faixa de temperatura de -200°C a 1250°C , e tem uma haste de 600mm com um cabo que liga a haste ao controlador com um comprimento de 6m.

Para um melhor desempenho e produtividade do controlador de temperatura e, conseqüentemente, do cobertor térmico foi utilizado um controlador de potência especial, que substitui as chaves contactoras utilizadas normalmente em sistemas de controle de aquecimento. Nesse sentido, foi usado um controlador de potência, produzido pela Incon, série mini, bifásico de 40A, para uma tensão de 220V. A corrente de 40A foi escolhida, para uma maior segurança, devido ao cobertor térmico ter uma corrente de 20A. O controlador de potência, visto nas Figuras 28 e 29, também é comumente chamado de chave estática, devido a seu melhor desempenho em manter a temperatura na temperatura programada.

A Figura 28 mostra o controlador de potência e destaca um *bargraph*, leds vermelhos indicados, que é um indicador com dez pontos em escala percentual que possibilita monitoração visual do nível de potência que está sendo entregue à carga, no caso o cobertor térmico. Os leds verdes vistos também na Figura 28 indicam que o controlador está ligado.

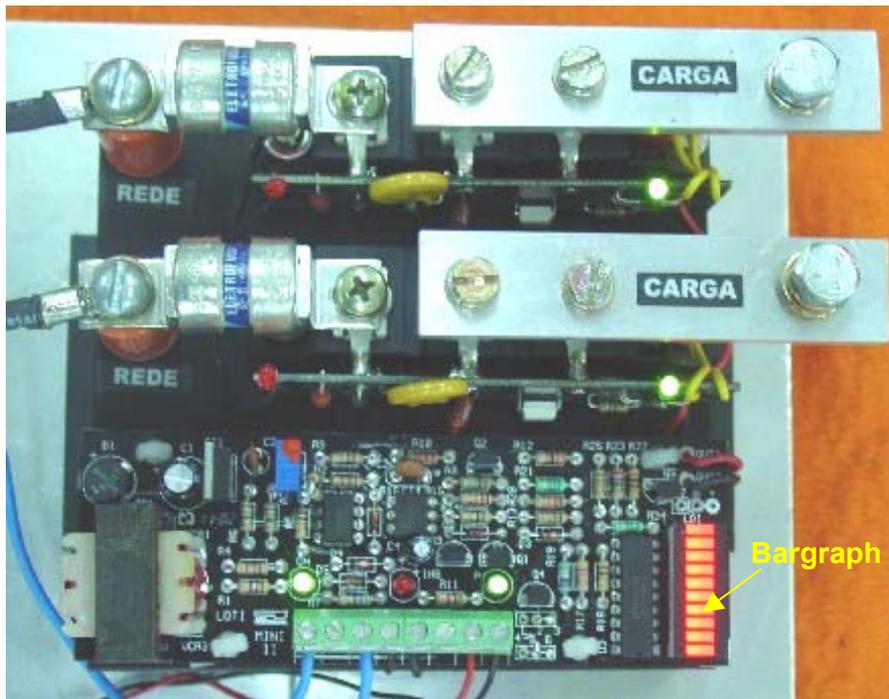


Figura 28 – Controlador de potência, série mini, bifásico até 40A, vista superior.

O controlador de potência possui um dissipador de temperatura em sua base, conforme mostrado na Figura 29.

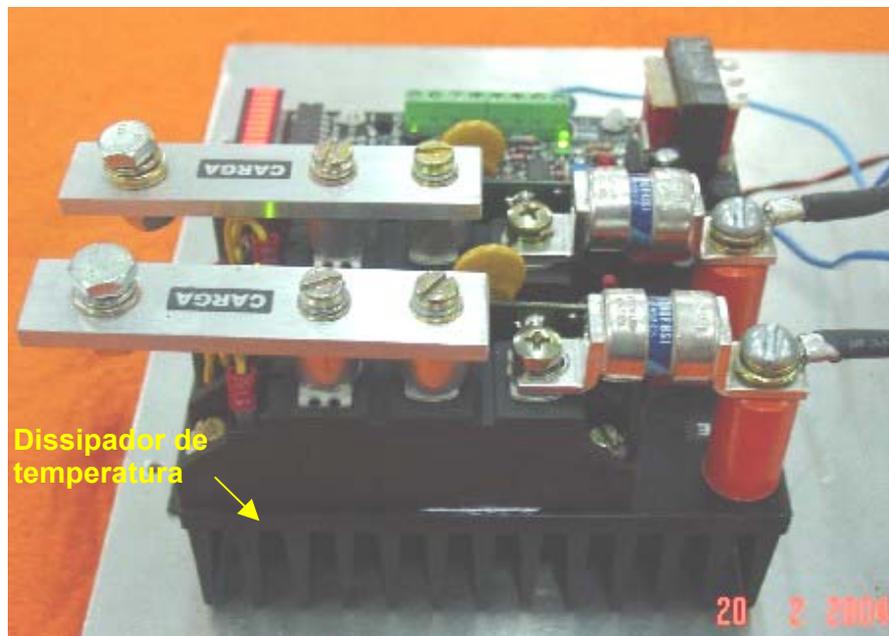


Figura 29 – Controlador de potência, série mini, bifásico até 40A, vista lateral.

Uma chave de 35 A liga-desliga, visto na Figura 30, compatível com os controladores de potência e temperatura foi conectada ao conjunto de controladores.



Figura 30 – Detalhe da chave e do controlador de temperatura.

3.2.6. Câmara de carvão ativado e bomba a vácuo

Com a finalidade de filtrar as emissões gasosas produzidas durante o processo de dessorção térmica, e impedir que esses gases ainda contaminados fossem lançados diretamente na atmosfera, foi feita em alumínio, em formato cilíndrico, com um diâmetro externo de 75mm e uma altura de 120mm, uma câmara na qual o seu interior é completamente preenchido com carvão ativado em pó. A câmara é vista em detalhes nas Figuras 31 e 32.

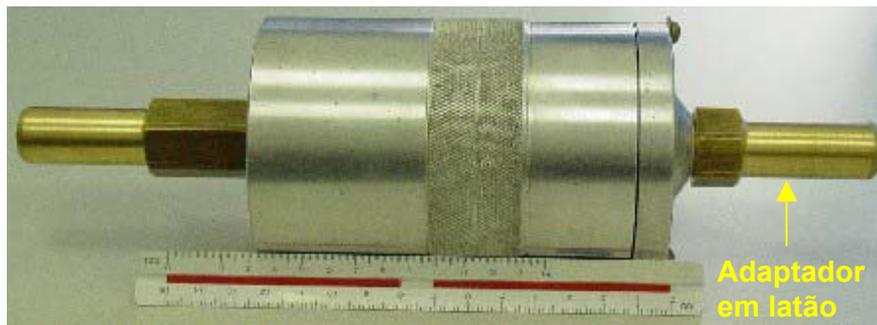


Figura 31 – Câmara de carvão ativado.

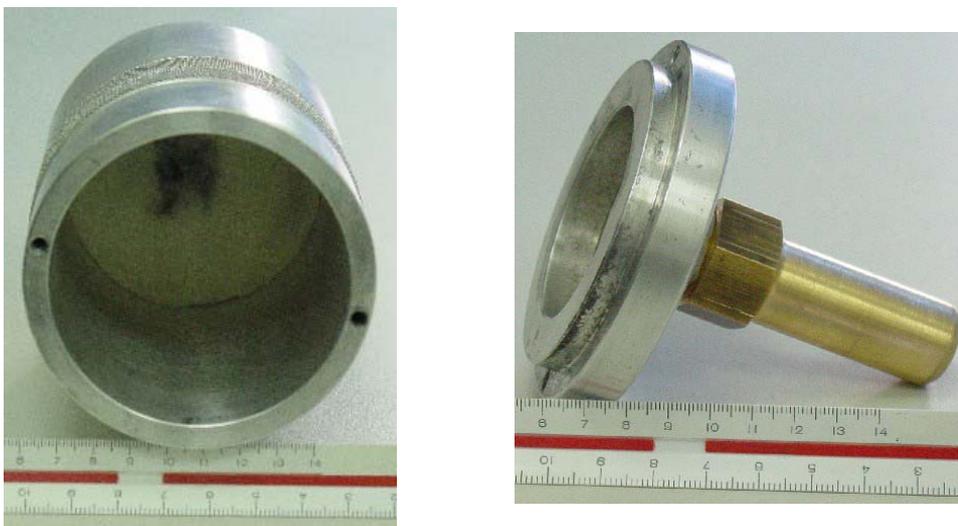


Figura 32 – Câmara e tampa.

Para fazer com que as emissões circulassem pelo filtro de carvão ativado, foram inseridos nas extremidades da câmara em alumínio adaptadores feitos em latão, vistos na Figura 31. Um deles é conectado ao tubo de escape de gases do cobertor térmico e o outro ligado a uma bomba a vácuo que succiona as emissões fazendo essas passarem pelo filtro.

Para evitar que o carvão ativado fosse sugado quando aplicado vácuo, foi colocado internamente à câmara discos de papel filtro em suas saídas, apropriados para material pulverulento. Os discos, colocados em duas camadas, permitiam apenas a passagem de ar, e dessa forma conservava o carvão ativado dentro da câmara.

Essa mesma câmara de carvão ativado foi empregada na amostragem dos contaminantes presentes nos gases que ficaram adsorvidos no carvão ativado. Para isso foi feita uma adaptação, vista na Figura 33, para reduzir a

quantidade de carvão ativado em seu interior e assim aumentar a concentração dos produtos adsorvidos ao carvão ativado após ser aplicado o vácuo e ocorrer à circulação das emissões em seu interior.

A câmara possui 100mm de comprimento por 65mm de diâmetro interno, o que dá um volume de $331,83\text{cm}^3$. Para reduzir esse volume foi colocado dentro da câmara uma peça confeccionada também em alumínio em formato cilíndrico com 70mm de comprimento por 63mm de diâmetro. Essa peça possui um furo ao centro por onde passa as emissões succionadas. Foi colocado um anel de vedação nessa peça para evitar que houvesse fluxo de ar pelas laterais. Após a colocação dessa peça a área destinada ao carvão ativado ficou com o mesmo diâmetro de 65mm, mas com um comprimento de 30mm, o que dá um volume de $99,55\text{cm}^3$.



Figura 33 – Câmara de carvão ativado adaptado para amostragem de gases.

A bomba a vácuo utilizada para succionar as emissões pelo filtro de carvão ativado, vista na Figura 34, foi uma bomba de $\frac{1}{4}$ HP, marca Goldsun, modelo 0411, com uma capacidade de vácuo de 68kPa e uma vazão máxima de 36L/min.



Figura 34 – Bomba a vácuo.

3.2.7. Oxidador térmico

O oxidador térmico foi desenvolvido para realizar a oxidação dos contaminantes presentes nas emissões gasosas. Ele foi desenvolvido para que atingisse em seu interior uma temperatura máxima de 1200°C.

O núcleo do oxidador térmico consiste em um tubo vazado de alumina, com 500mm de comprimento, 30mm de diâmetro externo e 10mm de diâmetro interno. O tubo é envolvido por uma resistência de níquel que funciona a uma tensão de 220V e com uma frequência de 60Hz, possuindo uma corrente máxima de 13A. As Figuras 35 e 36 apresentam detalhes do tubo de alumina envolto com a resistência de níquel. O conjunto é revestido com cimento refratário composto com alumina, em detalhe na Figura 36, cuja finalidade é de proteção e isolamento da resistência.



Figura 35– Aquecedor (tubo em alumina revestido com resistência).

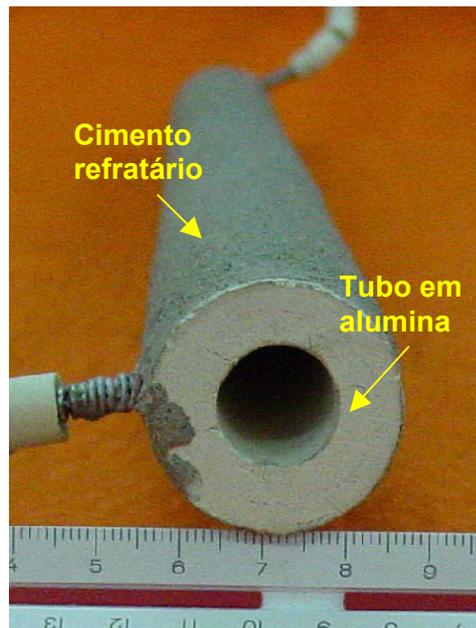


Figura 36 – Detalhe do aquecedor.

Nos fios que saem do aquecedor foram colocados anéis refratários (miçangas) feitos em alumina que servem como isolante. A Figura 37 apresenta as miçangas utilizadas.

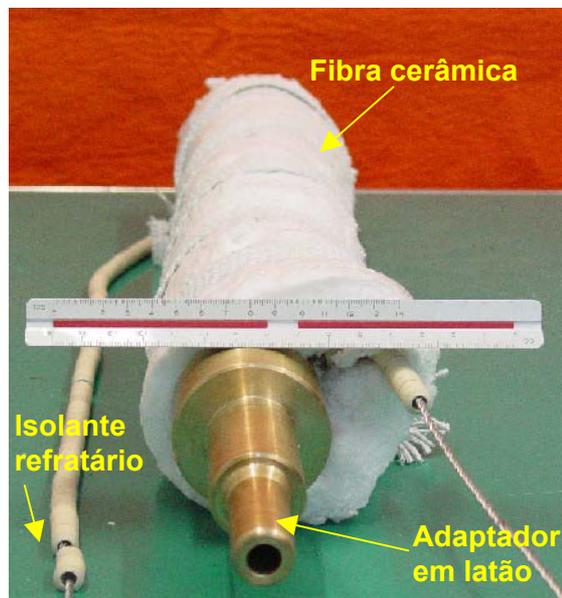


Figura 37 - Aquecedor revestido com fibra cerâmica fixada com fita de amianto (frente).

Para evitar a perda de calor excessiva para o meio externo, o tubo aquecedor foi envolvido com fibra cerâmica que foi fixada através de fita de amianto, conforme visto nas Figuras 37 e 38. Adaptadores feitos em latão foram fixados nas extremidades do tubo aquecedor. Esses adaptadores, vistos nas Figuras 37 e 38, servem para fazer a conexão com os tubos que trazem as emissões gasosas produzidas no processo de dessorção térmica.



Figura 38 - Aquecedor revestido com fibra cerâmica fixada com fita de amianto (lateral).

O conjunto aquecedor, fibra cerâmica e adaptadores foram instalados dentro de um tubo de aço inox, fechado nas extremidades com chapas de alumínio travadas com tirantes, conforme pode ser visto nas Figuras 39 e 40. Os adaptadores em latão também servem para centralizar o tubo aquecedor no tubo de aço inox.

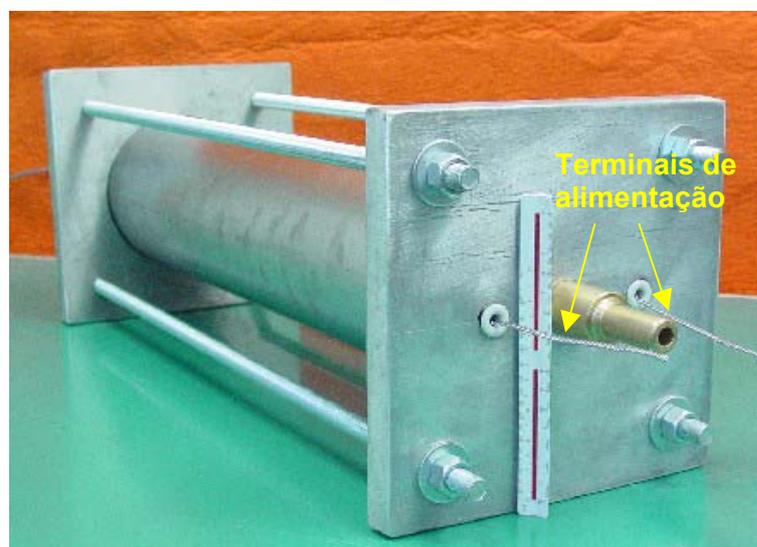


Figura 39 – Oxidador térmico (vista da alimentação)

Através desses adaptadores também passa o termopar do controlador de temperatura do oxidador térmico, de acordo com a Figura 40.

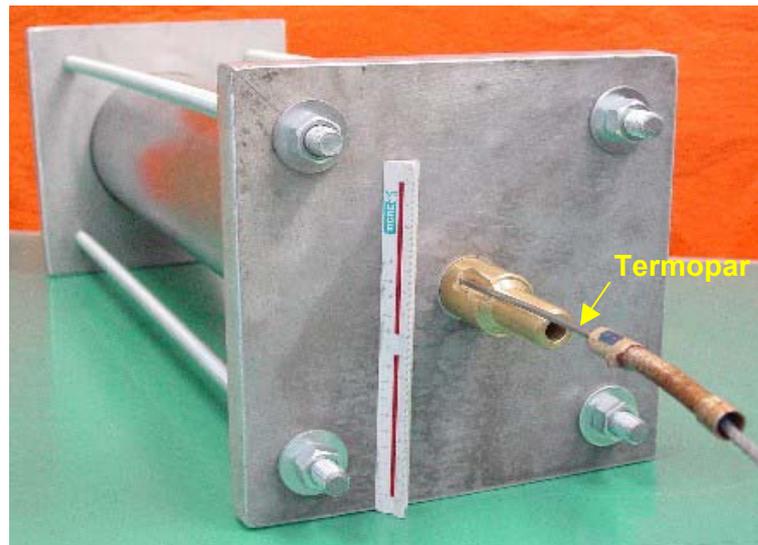


Figura 40 – Oxidador térmico (lado do termopar)

Para o controle e programação da temperatura do oxidador térmico foi montado um controlador de temperatura modelo HW-1440-Coel, visto na Figura 41, que possibilita a aplicação de temperatura de até 1000°C. Esse controlador é alimentado numa faixa de 85 à 265V, a uma frequência de 48 a 62Hz e um consumo de 8VA. O controlador possui dois visores, com quatro dígitos cada, permitindo visualizar simultaneamente a temperatura que se encontra o oxidador térmico e a temperatura programada. Os visores possuem uma resolução de 0,1°C.

A este aparelho está conectado um termopar tipo K, modelo NiCr, que funciona numa faixa de temperatura de -200°C a 1250°C, possui uma haste de 600mm de comprimento, sendo do tipo isolado.

O controlador de temperatura possui uma chave contactora de 20A que, quando a temperatura programada é atingida, a contactora abre o circuito elétrico e automaticamente o oxidador térmico deixa de ser alimentado de corrente. Assim, a temperatura no oxidador começa a diminuir, e quando reduz cerca de 3°C, a chave então fecha novamente o circuito e o oxidador térmico volta a ser alimentado.



Figura 41 – Controlador de temperatura do oxidador térmico.

3.2.8. Sistema de monitoramento e aquisição de dados

Através de um *data logger* portátil, marca Almemo, modelo 2290, é possível registrar e armazenar as temperaturas durante o ensaio em cinco pontos distintos. O *data logger* possui cinco canais onde são conectados cinco termopares tipo K, vistos na Figura 42. Esses são distribuídos em pontos na bancada de ensaio onde se deseja monitorar e registrar as temperaturas.

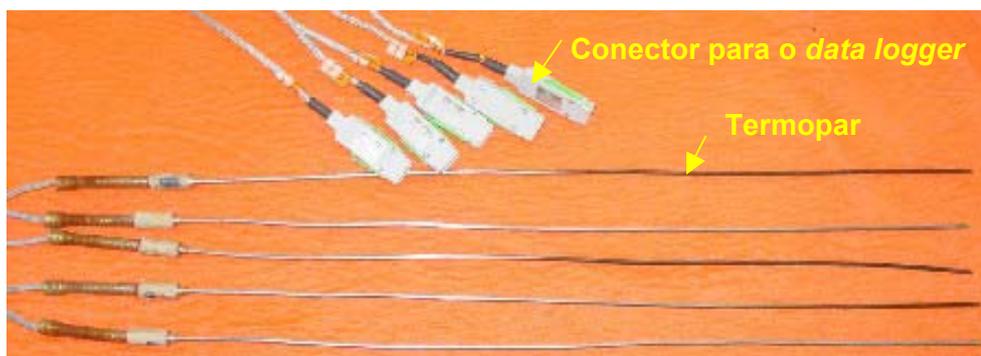


Figura 42 – Termopares tipo k do *data logger*.

No *data logger*, visto na Figura 43, é programado a data e o horário para início e término de aquisição de dados, e também programado o intervalo de tempo dos ciclos de leitura.



Figura 43 - Data logger

Para o coletor dos dados armazenados no *data logger* conecta-se o *logger* a um computador PC através, de uma interface RS 232-C e com o aplicativo *AMR-Control* versão 4.02. É possível copiar os dados armazenados no *data logger* para o computador em formato “ *.txt ”. A Figura 44 apresenta a janela do programa de transferência de dados.

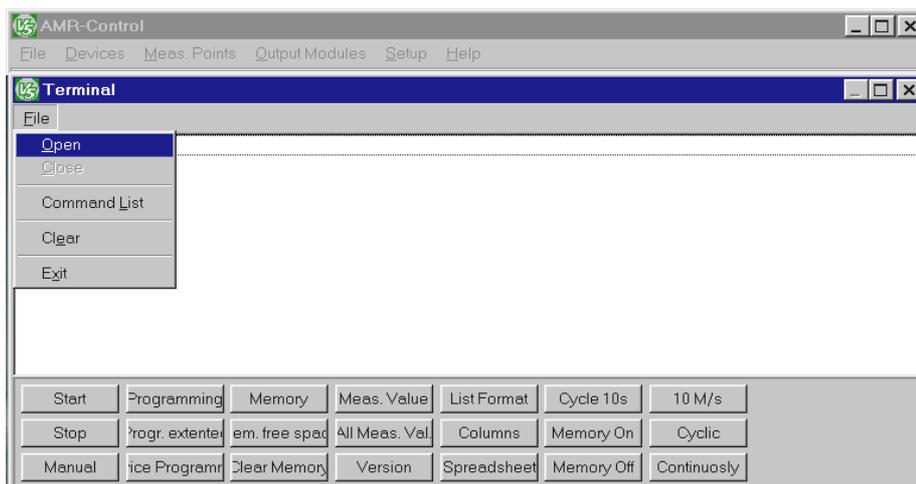


Figura 44 – Janela do AMR-Control.