3
DESENVOLVIMENTO DO NOVO SDTIS

3.1.
Introdução

Neste capítulo serão apresentados o desenvolvimento do novo bastonete térmico, bem como de todos os seus componentes de apoio que, juntos, constituem o sistema de dessorção térmica *in situ* – SDTIS. A grande maioria foi projetada e concebida no **Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente – LGMA**.

O novo bastonete térmico se baseou no instrumento construído por Baptista (2004), porém com algumas modificações no sentido de aumentar o seu poder calorífico, direcionar a sua aplicabilidade para campo, bem como lhe fornecer maior resistência às altas temperaturas e às condições desfavoráveis ambientais que, por ventura, podem vir a ocorrer.

Os componentes de apoio ao bastonete térmico e que compõem o SDTIS são:

- 04 sondas contendo 02 termopares de ponta isolada em cada um;
- 01 controlador de temperatura;
- 01 unidade aquisitora e armazenadora de dados;
- 01 bomba/compressor de ar;
- 01 gerador de energia elétrica, a diesel;
- 01 fonte de energia elétrica da rede pública convencional, com medidor de consumo próprio e com medidor comum ao estabelecimento;
- 01 armário, para armazenagem de equipamentos em geral, instrumentos e ferramentas;
- 01 sistema de tratamento de gases, contendo oxidador, condensador, filtro de carvão ativado e separador de água e óleo.

É importante ressaltar que alguns destes componentes já existiam antes ou foram adquiridos pelo Núcleo de Geotecnia Ambiental para trabalhos anteriores,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

porém grande parte da instrumentação concebida no **LGMA/PUC-Rio** contou com o fundamental apoio do **Sr. José Raimundo Martins**, mestre da oficina do laboratório, que auxiliou no projeto técnico e mecânico da maioria dos instrumentos, fabricou peças e contribuiu sempre que solicitado para o desenvolvimento deste novo sistema de dessorção térmica *in situ*.

3.2.
Projeto e Concepção do Novo SDTIS

Como os resultados obtidos por Baptista (2004) em relação ao seu bastonete térmico foram extremamente satisfatórios para o tipo de experimento realizado – projeto piloto de remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo com condições controladas – idealizou-se que a composição do novo protótipo deveria manter as mesmas características básicas do anterior, ou seja:

- Aquecedor constituído por um cartucho de resistência trabalhando a 220 Volts, instalado em uma estrutura de aço usinada com furos eqüidistantes ao longo de toda a sua extensão;
- Tubulação interna para injeção e emulsão de ar no aquecedor e, conseqüentemente, no solo;
- Tubulação-guia interna para introdução de um termopar no aquecedor para aferição da sua temperatura de trabalho;

Com relação ao sistema de apoio, o objetivo dos componentes deveria ser o de atender aos mesmos requisitos a seguir:

- Medidores de temperatura em diversos pontos próximos ao bastonete;
- Aquisição e armazenamento simultâneo, e em tempo real, de dados;
- Sistema de injeção de ar;
- Fonte de energia elétrica;
- Sistema de tratamento de gases.

Porém, como a aplicação do sistema seria em campo, e não em laboratório, alguns deles teriam que ser modificados para atender a esta nova classe de experimentos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

3.2.1.
Bastonete Térmico

Conforme observado junto ao trabalho de Baptista (2004), o projeto piloto para aplicação do bastonete anterior havia sido realizado em um mini-forno de tijolos refratários com dimensões reduzidas (40x40x49cm), instalado no **LGMA** (Figura 3.1), o que implicou em algumas condições especiais.

A sua metodologia de preparação de ensaio indicava que, em primeiro lugar, colocava-se o bastonete alinhado em posição vertical (com a sua base encostando-se ao fundo do forno) para que, em seguida, o solo contaminado fosse distribuído e compactado ao longo dos espaços restantes do forno, até o seu topo. As Figuras 3.1 e 3.2, a seguir, mostram como era realizado o procedimento.

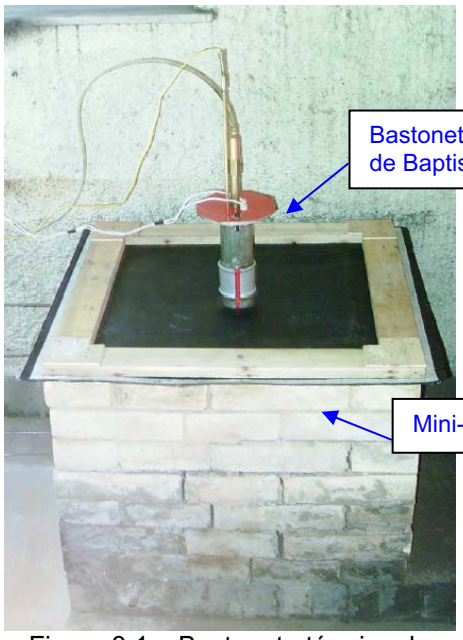

Figura 3.1 – Bastonete térmico de Baptista (2004), instalado no forno térmico do **LGMA/PUC-Rio** (vista externa) (Baptista, 2004)

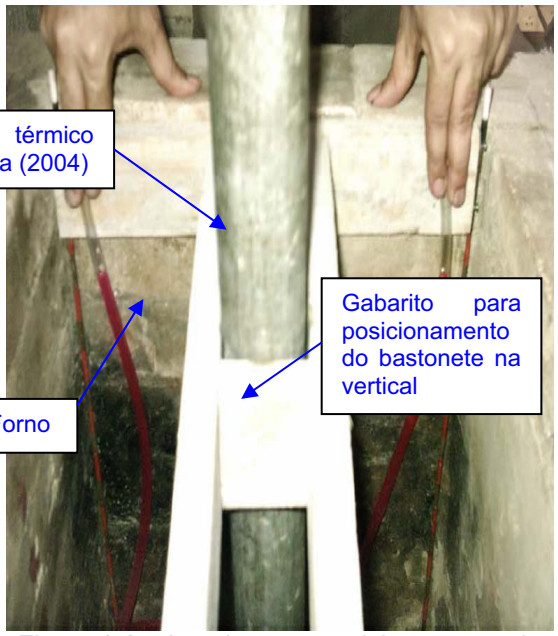

Figura 3.2 – Instalação e posicionamento do bastonete no forno, antes do preenchimento do mesmo com o solo contaminado (vista interna) (Baptista, 2004)

Para este tipo de aproveitamento, e sob condições controladas, não haveria maiores problemas em se utilizar este tipo de bastonete, porém observou-se que o mesmo não poderia ocorrer para o caso de se tentar aplicá-lo em campo. Um dos fatores a se destacar é que, o ato de introduzi-lo no solo a partir de um pré-furo, por exemplo, apresentaria problemas relacionados à não garantia de contato entre o bastonete e a parede do furo (no caso, o solo). Isto porque, em seu projeto estrutural, a conexão entre o tubo onde se localiza o cartucho de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

resistência e a flange localizada no topo do instrumento era realizada por meio de uma luva de ferro galvanizado com diâmetro externo superior ao do tubo, conforme se pode observar na Figura 3.3, mostrada a seguir.

É possível que constasse em seu projeto inicial que, no caso de futuras utilizações em campo, hastes prolongadoras poderiam ser acopladas ao tubo do bastonete apenas utilizando luvas iguais a esta para conexão. Contudo, devido ao fato do seu diâmetro externo ser maior do que o diâmetro do tubo do bastonete, o pré-furo a ser feito no solo para inserção do conjunto deveria ter as dimensões da luva, o que deixaria uma folga de, pelo menos, meia polegada entre a parede do furo e o tubo do bastonete. Esta folga seria difícil de ser preenchida e, possivelmente, prejudicaria o desempenho do protótipo visto que, neste espaço, poderia se formar um "bolsão" isolante de ar que atrapalharia a propagação do calor. Neste caso, ao invés da transmissão se dar preponderantemente por condução, ela se daria por radiação e, como mostrado no capítulo anterior, o ar é um mal condutor.

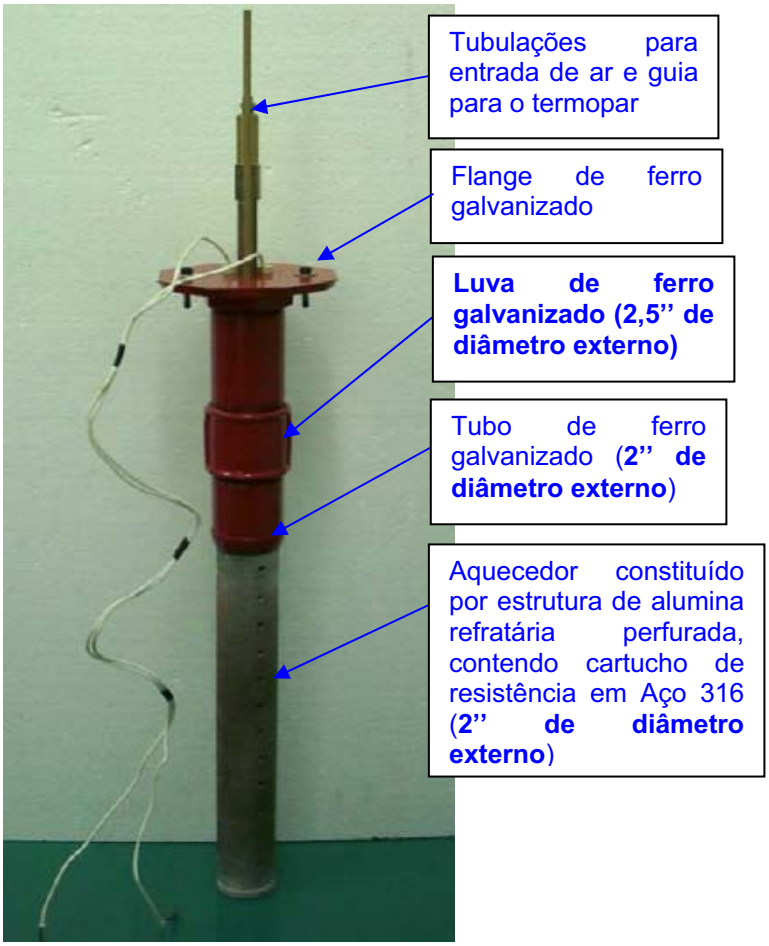

Figura 3.3 – Bastonete Térmico de Baptista (2004)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Sabendo-se disso, foi projetado para este novo protótipo um tubo de 400 mm de comprimento e 50 mm (cerca de 2 polegadas) de diâmetro externo que possuísse um sistema de rosca “macho-fêmea” (niple) em sua parte superior interna, para que hastes com o mesmo sistema e com o mesmo diâmetro externo do bastonete pudessem ser encaixadas sem a utilização de um elemento adicional de conexão, como foi o caso da luva utilizada anteriormente. Dessa forma, o conjunto teria um diâmetro externo único, o que facilitaria a sua instalação em campo.

Já as conexões das tubulações internas (injeção de ar e guia para o termopar), de forma a aumentar os seus respectivos comprimentos, seriam compostas por luvas e anilhas, o que implicaria às hastes prolongadoras a necessidade de terem um diâmetro interno livre de, no mínimo, 30 mm, para acomodá-las sem problemas. Dessa forma, restariam cerca de 20 mm de parede interna para serem utilizados para a usinagem e fabricação do sistema de rosqueamento. A Figura 3.4 ilustra o esquema idealizado.

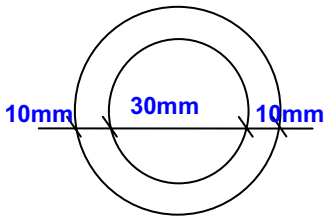

Figura 3.4 – Esquema da haste prolongadora (sem escala)

Tanto a tubulação guia do termopar, quanto a tubulação para entrada de ar, bem como seus respectivos conectores, seriam usinados em latão, seguindo o mesmo padrão utilizado no bastonete de Baptista (2004).

Com relação à estrutura onde estaria inserido o cartucho de resistência elétrica, foram projetados furos ortogonais entre si, ao longo de todo o seu comprimento, com espaçamento longitudinal de 35 mm, em média.

A Figura 3.5, apresentada a seguir, mostra como foi desenhado o projeto estrutural do novo bastonete térmico, junto com seus conectores mecânicos.

Já adiantando alguns pontos em relação ao que será descrito ao longo do próximo capítulo, um fator que não foi levado em consideração neste projeto

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

mecânico inicial foi a vedação dos terminais elétricos do cartucho de resistência, de forma a evitar a entrada de água nos mesmos, o que acabou acarretando em alguns problemas durante os ensaios de campo.

Com relação ao comprimento do seu aquecedor, Stegemeier e Vinegar (2001) sugerem que ultrapasse em cerca de 60 cm o topo e a base da pluma de contaminação, ou seja, para uma pluma de 100 cm de espessura, por exemplo, deve-se utilizar um bastonete de 2,20m de comprimento. Além disso, para compensar possíveis perdas de calor nos limites inferior e superior, estes 60 cm devem ser projetados para emitir 25% de potência a mais do que o restante da parte aquecedora. Para o presente trabalho, como se tratava de um protótipo, isto acabou não ocorrendo, até porque qualquer modificação neste sentido deveria ser fácil de ser executada.

Logo, para este novo bastonete, idealizou-se que o comprimento estrutural da parte aquecedora teria 40 cm – semelhante ao protótipo utilizado por Baptista (2004) – no qual seria posicionado um cartucho de resistência com comprimento de 35 cm, 1'' de diâmetro, e com capacidade para chegar a temperaturas de até 1200°C.

Com relação ao material do tubo do bastonete, levando em consideração os efeitos de flambagem e os desgastes físico-químicos sofridos pelo protótipo anterior devido às altas temperaturas e aos danos provocados pelo seu contato com os contaminantes (no caso, hidrocarbonetos derivados de petróleo), idealizou-se a utilização do mesmo material usado para fabricação do cartucho de resistência, ou seja, o Aço Inox 316L, que é resistente a temperaturas de até 1200°C, à corrosão e aos ataques físico-químicos dos contaminantes. Para o protótipo anterior, havia sido utilizada uma alumina refratária.

Para as hastes prolongadoras, prevendo que suas solicitações seriam quase todas voltadas para suportar o peso do bastonete e as tensões do solo (que dependem da profundidade), decidiu-se pela utilização do Aço 1020, por possuir um melhor custo-benefício em relação a outros materiais. Para elas, projetou-se um comprimento padronizado de 1500 mm, com sistema de rosqueamento macho-fêmea.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

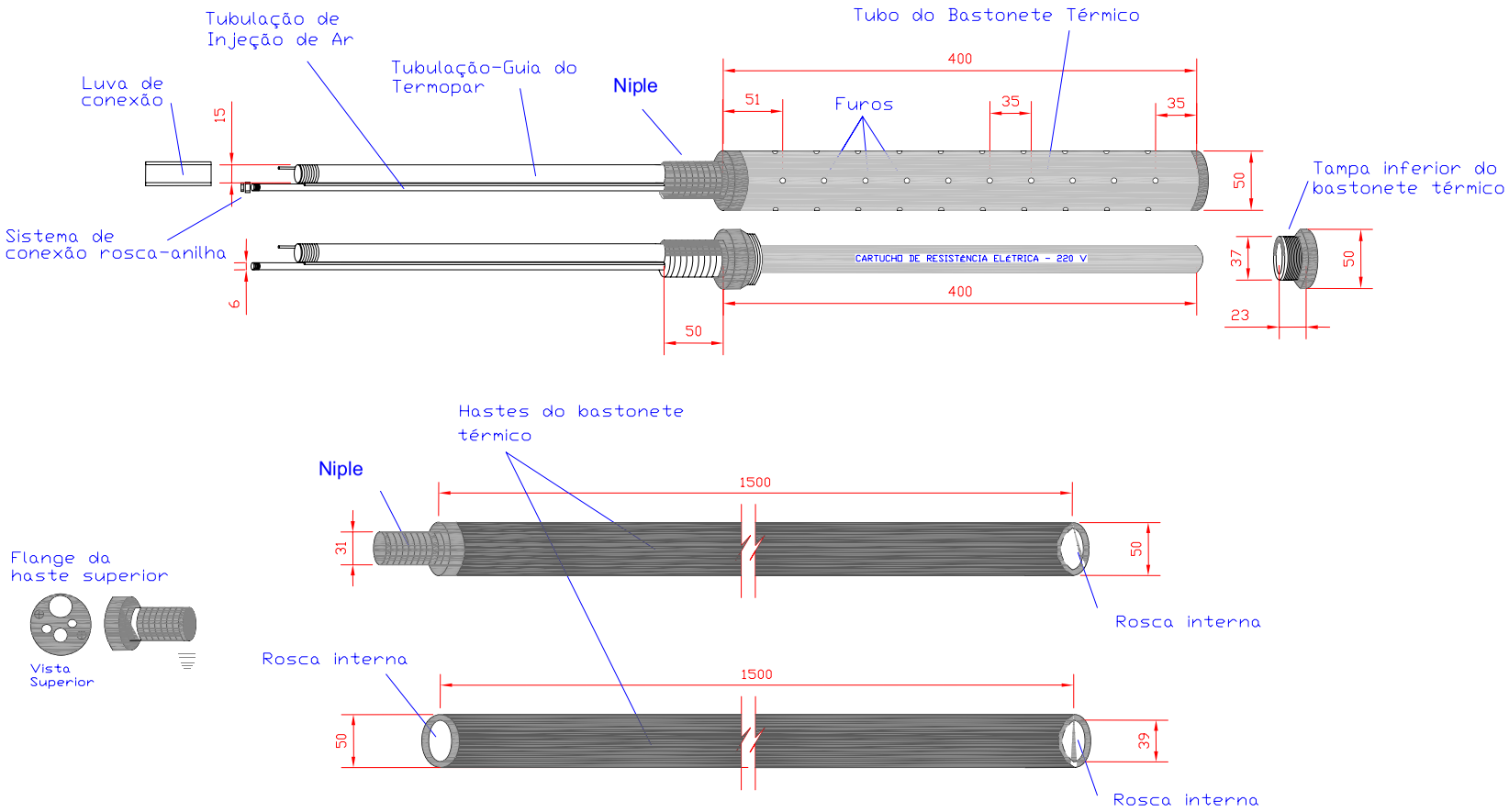

Figura 3.5 – Projeto estrutural do bastonete térmico e das hastes prolongadoras (dimensões em milímetros)

A seguir, é apresentada a Tabela 3.1 contendo algumas características químicas dos materiais utilizados:

Tabela 3.1 – Composição dos materiais utilizados (Romeiro, 1997)

Material (Aço)	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	Mo%
1020	0,18 a 0,25	0,3 a 0,6	0,1 a 0,3	-	-	-
316L	0,5	0,4	1,2	18	12	2,7

O aço 1020 é uma liga comum, enquanto o 316L é classificado como um aço especial, devido às suas qualidades em relação aos outros materiais (inoxidável, dureza, resistência à temperatura, corrosão, etc). Na Tabela 3.1, mostrada anteriormente, a porcentagem de carbono (C%) é um indicador sobre a dureza e a resistência mecânica do aço, o que já mostra uma grande disparidade entre os dois materiais. No caso das porcentagens de manganês (Mn%) e silício (Si%), Romeiro (1997) mostra que as proporções que variam entre 0,3 e 0,6 e 0,15 e 0,30, respectivamente, passam a atuar na liga como um desoxidante (neutralizando a ação do CO ou do CO_2) e como um dessulfurante (eliminando a fragilidade a solicitações sob altas temperaturas). Já os elementos cromo (Cr), níquel (Ni) e molibdênio (Mo) são utilizados na liga para se aumentar a resistência mecânica, a resistência ao desgaste físico (corrosão) e melhorar suas propriedades quando ela é submetida a temperaturas elevadas, sendo inoxidável e pouco reativa com a maioria dos reagentes.

Com relação à condutividade térmica, o Aço 1020 possui 50 W/m.K (Godoy *et al*, 2006), enquanto a do 316L é por volta de 40 W/m.K (Núcleo Inox, 2006).

Após o projeto e escolha dos materiais a serem utilizados, partiu-se para a fabricação, compra, construção e montagem das peças. As Figuras 3.6 a 3.10, a seguir, mostram o resultado final deste trabalho.

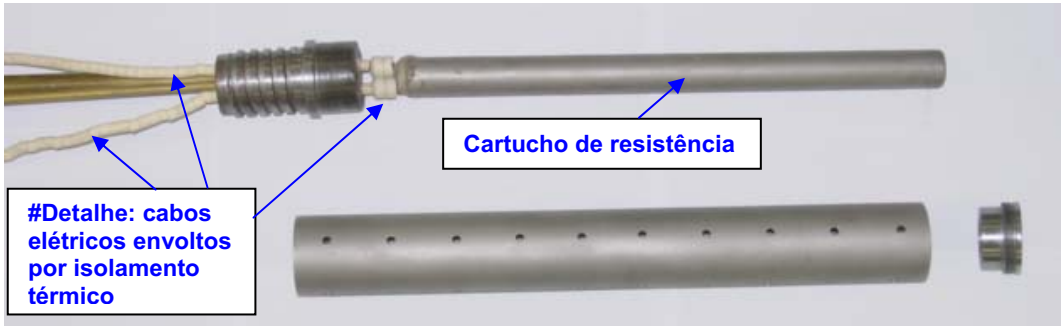

Figura 3.6 – Composição do aquecedor do novo bastonete térmico

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

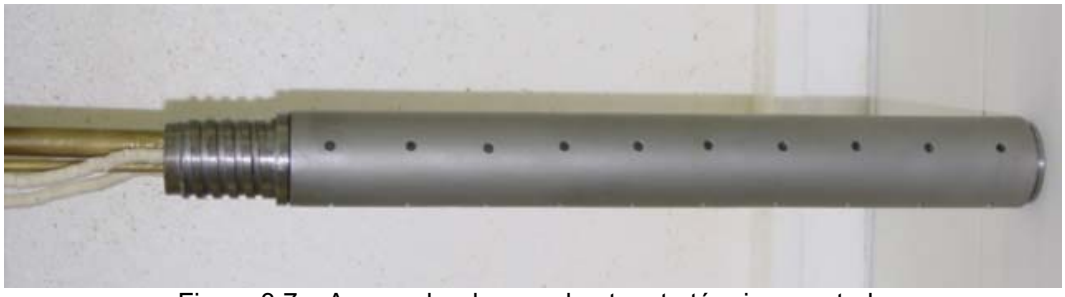

Figura 3.7 – Aquecedor do novo bastonete térmico montado

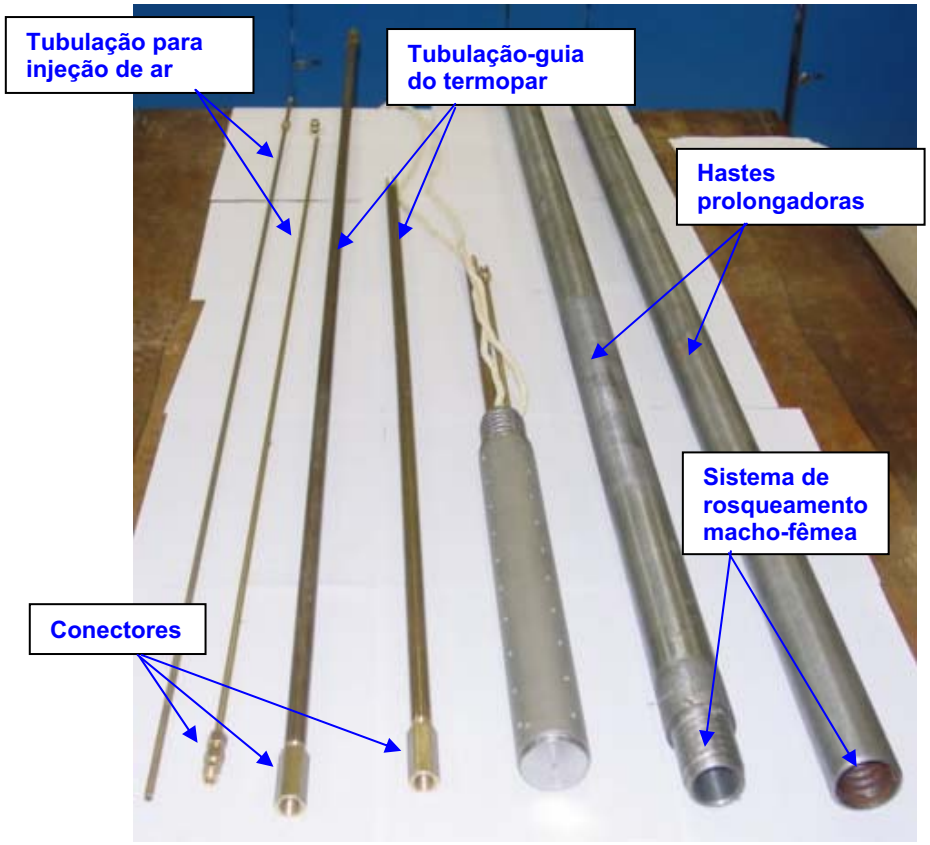

Figura 3.8 – Peças mecânicas e elétricas do novo bastonete térmico

Figura 3.9 – Detalhe da conexão (anilhas) entre as tubulações de injeção de ar

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Figura 3.10 – Detalhe da luva de conexão entre as tubulações-guia do termopar interno

Na Figura 3.6, é mostrado em detalhe que os cabos elétricos de níquel-cromo que partem dos terminais do cartucho de resistência estão envoltos por anilhas de cerâmica, cuja função é a de tentar proteger estes elementos contra os possíveis efeitos decorrentes das altas temperaturas.

Durante os experimentos, como será mostrado mais adiante, ficou claro que estes cabos necessitavam de um isolamento térmico mais resistente, o que resultou em algumas tentativas de utilização de revestimentos com maior qualidade e resistência. Um deles foi uma “capa protetora” formada por fibra de vidro com amianto, a qual passou a envolvê-los por toda a sua extensão.

Quando todos os componentes mostrados na Figura 3.8 são montados e conectados, o conjunto fica com um comprimento total de 3,40m e um diâmetro de 50 mm. O seu menor modelo, com apenas uma haste prolongadora, mede 1,90m.

No início de setembro de 2005, depois de pronto, o novo bastonete térmico foi testado em laboratório, com sua temperatura sendo elevada até 700°C. Tal ensaio durou cerca de 6 horas e, durante este período, o instrumento não apresentou nenhum problema. O termopar utilizado para medir esta temperatura foi o de ponta isolada.

Com relação aos custos despendidos, segue a Tabela 3.2 a seguir apresentando os gastos realizados para a compra dos materiais e fabricação do novo protótipo, já contando com a mão-de-obra para fabricação do bastonete térmico e das hastes prolongadoras, uma vez que os conectores mecânicos para as tubulações e as roscas e peças de ligação do bastonete e das hastes prolongadoras foram todos fabricados no **LGMA/PUC-Rio**, ou seja, as suas respectivas mãos-de-obra não foram totalmente contabilizadas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Tabela 3.2 – Estimativa de custos relativos ao novo protótipo do bastonete térmico

Material	Custo (R$)
Bastonete térmico (cartucho de resistência, tubo de aço e cabos elétricos)	1.500,00
Hastes prolongadoras (2 x 1,5m)	580,00
Tubulação-guia do termopar e tubulação para injeção de ar (3m cada)	308,00
Conectores para as tubulações	12,00
TOTAL	**2.400,00**

Em 2004, Baptista havia gastado cerca de **R$ 1.000,00** para construção do seu bastonete térmico, o que poderia ser comparado diretamente aos **R$ 1.500,00** gastos apenas com o protótipo do bastonete atual, uma vez que não houve hastes complementares para o primeiro bastonete. Porém, além do incremento considerável de custos relativos aos cerca de dois anos de reajustes no Brasil – de 2003 até 2005 – o material atual possui qualidade superior ao anterior, possuindo ainda uma conexão especial para que o bastonete possa alcançar profundidades maiores, por meio das hastes prolongadoras sem aumentar o diâmetro total externo do bastonete.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

3.2.2.
Sondas medidoras de temperatura

Para auxiliar a avaliação do desempenho do novo protótipo sob condições de campo, idealizou-se a criação de medidores de temperatura a serem instalados em diversos pontos do solo, próximos ao bastonete – tomando como base o fato da emissão de calor se dar radialmente. Assim, foi proposta a utilização de sondas contendo termopares de ponta isolada ao longo do seu comprimento. O seu diâmetro externo e sistema de conexão entre hastes deveriam seguir o mesmo padrão utilizado no conjunto hastes-bastonete para que os procedimentos de instalações em campo fossem idênticos, ou seja, utilizando trados de mesmo diâmetro para realização de pré-furos para a instalação de qualquer um dos instrumentos. O comprimento das sondas e de suas hastes também deveria ser de 1,5m, tal como as hastes do bastonete.

Com relação ao material utilizado, também justificado pelas vantagens custo-benefício, decidiu-se que este deveria ser o Aço SCH 160, com características relativamente inferiores ao material das hastes do bastonete. Isto pelos fatos das sondas, a princípio, serem menos solicitadas mecanicamente e possuírem menor importância do que as hastes do bastonete.

Quanto ao número de sondas que seriam construídas, assim como a quantidade de termopares para cada uma delas, por se tratar de um projeto de pesquisa, levou-se em conta o aspecto financeiro, como pode ser observado nos custos apresentados na Tabela 3.3 abaixo.

Tabela 3.3 – Custo unitário do conjunto de materiais das sondas medidoras de temperatura

Material	Custo Unitário (R$)
Termopar (isolação mineral com junta isolada Ø3mm x 3100mm, tipo K, montado com saída de conector compensado tipo tomada e instalado em sondas)	350,00
Cabos de compensação (tipo K, revestimento de PVC)	4,00/m
Hastes prolongadoras	140,00/m
Conectores e acabamento para hastes e sondas	17,50/haste

A faixa de medição de temperatura destes termopares varia entre 0 e 900ºC, com precisão de 0,1ºC.

Logo, optou-se pelo projeto e fabricação de 04 sondas com 02 termopares instalados em cada uma, juntamente com 01 haste prolongadora para cada uma delas. Somando-se aos cerca de 50 metros de cabos de compensação (necessidade estimada) a serem divididos igualmente entre elas, os 04 conjuntos haste-sonda sairiam ao custo total de **R$ 4.260,00**, já contando com a mão-de-obra para montagem e usinagem das sondas. Algumas das peças, como os conectores mecânicos que serão mostrados a seguir, foram concebidas no **LGMA** e, portanto, não foram levados em consideração nestes cálculos.

Obviamente, seria bem melhor a utilização de um número maior de termopares, a serem posicionados ao longo de todo o comprimento da sonda, porém, conforme mencionado anteriormente, o fator custo inviabilizou o uso de um número maior do que dois para cada uma delas. Com isso, optou-se por alocações próximas às extremidades da sonda, a exatos 15 cm das pontas cada uma. Idealizou-se que, desta forma, atender-se-iam tranqüilamente às dimensões do aquecedor do novo bastonete térmico – limites superior e inferior da distribuição de calor – e, já se pensando em casos práticos, poder-se-ia ao menos abranger as extremidades de uma pluma de cerca de 1,20m de altura.

O projeto estrutural do conjunto sonda-termopares-haste está mostrado na Figura 3.11, juntamente com os seus detalhes de posicionamento de termopares e dimensões de materiais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

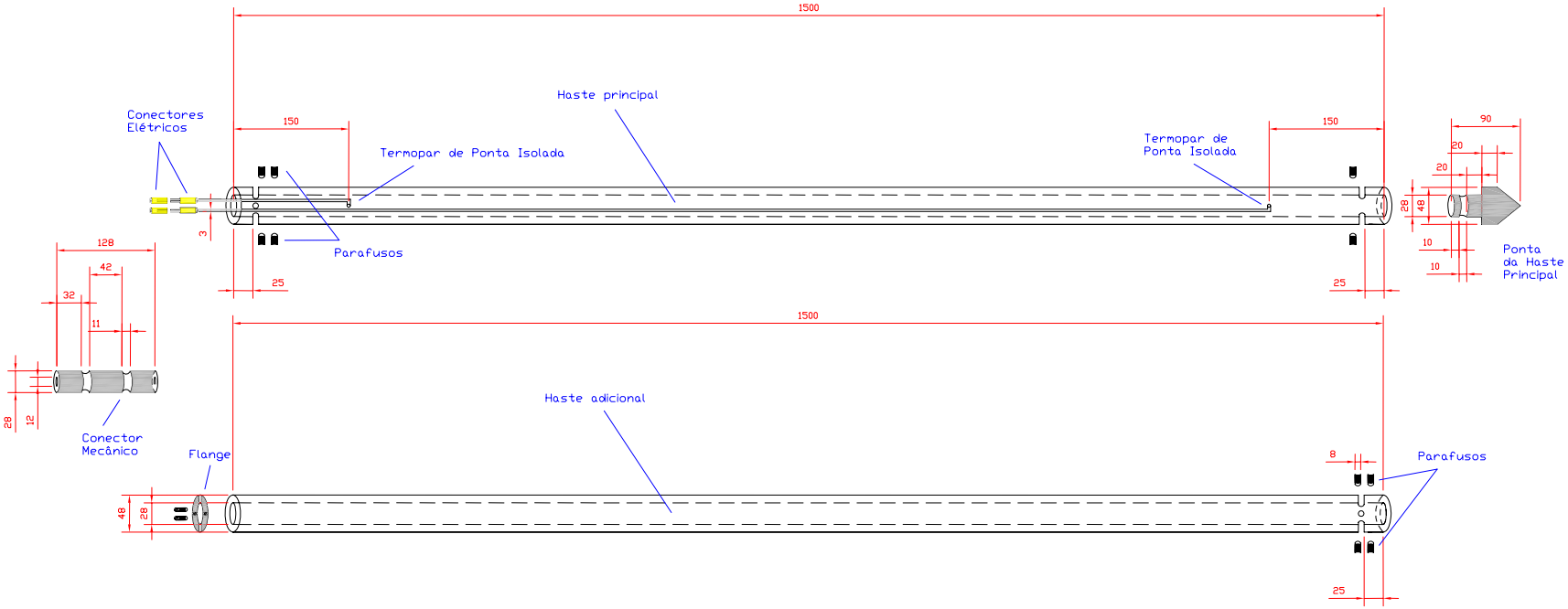

Figura 3.11 – Esquema do projeto estrutural do conjunto sonda-termopares-haste (dimensões em milímetros)

Por outro lado, o posicionamento do conjunto sonda-termopares-haste em relação a qualquer outro referencial também poderia ser alterado, de forma a abranger outros limites ou captar a temperatura em um ponto específico. A Figura 3.12 ilustra três possíveis casos de instalação das sondas medidoras de temperatura, com o posicionamento dos termopares variando em relação ao aquecedor do bastonete.

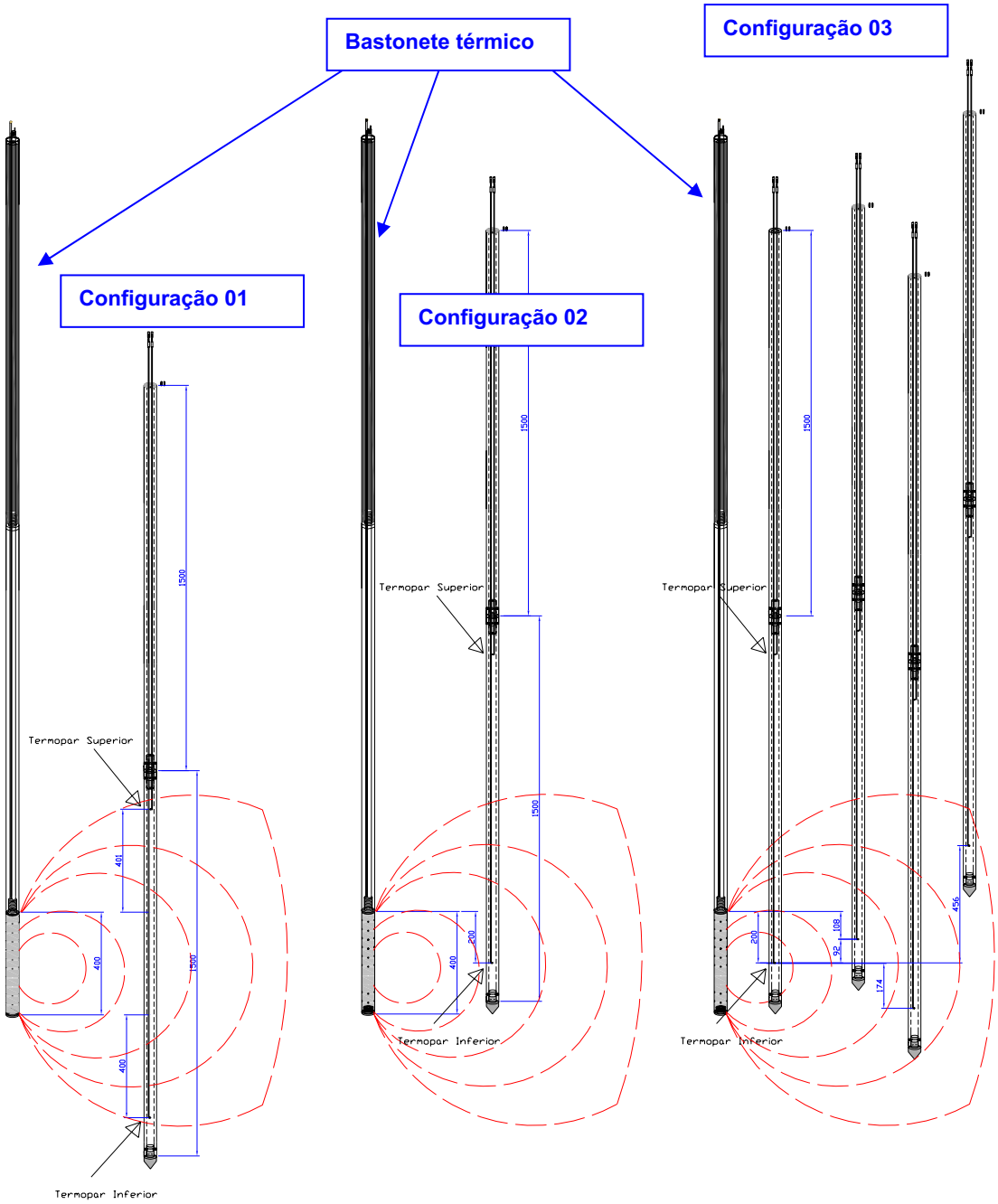

Figura 3.12 – Casos genéricos de instalação das sondas medidoras de temperatura

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

No primeiro caso, os termopares superior e inferior da sonda procuraram abranger os limites máximos de aquecimento do bastonete. Na segunda confirguração, o termopar inferior é posicionado no ponto médio vertical do aquecedor, enquanto no terceiro caso, três bastonetes térmicos são instalados, com o posicionamento de seus termopares inferior e superior variando. Outras configurações alternativas referem-se ao distanciamento horizontal destas sondas em relação ao bastonete. Algumas dessas variações foram utilizadas durante os ensaios de campo desta dissertação.

Ressalta-se ainda, conforme observado, que os termopares utilizados possuem medição isolada em suas pontas. Para se instalá-los, fez-se necessário um trabalho de usinagem e soldagem junto à sonda para se alocarem as pontas dos termopares (3 mm de diâmetro) em furos com o mesmo diâmetro. Desta forma, além de não restarem folgas, evitando a entrada de materiais indesejáveis no interior da sonda, ele poderia se posicionar rente ao comprimento da própria sonda, de forma a não ultrapassar o seu diâmetro externo, evitando assim desgastes mecânicos por abrasão durante a sua instalação e funcionamento.

Finalizado o projeto estrutural, partiu-se para a fase de fabricação dos conjuntos. As Figuras 3.13 a 3.17, a seguir, mostram, em detalhe, o resultado final do instrumento.

Os dois termopares de cada sonda são ligados a um conector duplo que, por sua vez, é ligado a um instrumento de aquisição de dados, cujas especificações estarão detalhadas no tópico 3.2.3.2, a seguir.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

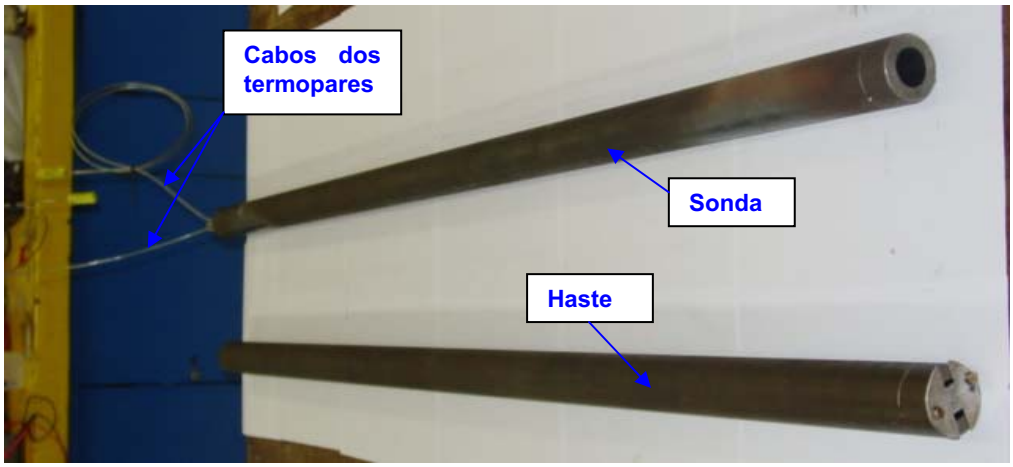

Figura 3.13 – Conjunto sonda-termopares-haste

Figura 3.14 – Detalhe do acabamento da parte superior da haste

Figura 3.15 – Detalhe do acabamento da ponta da sonda

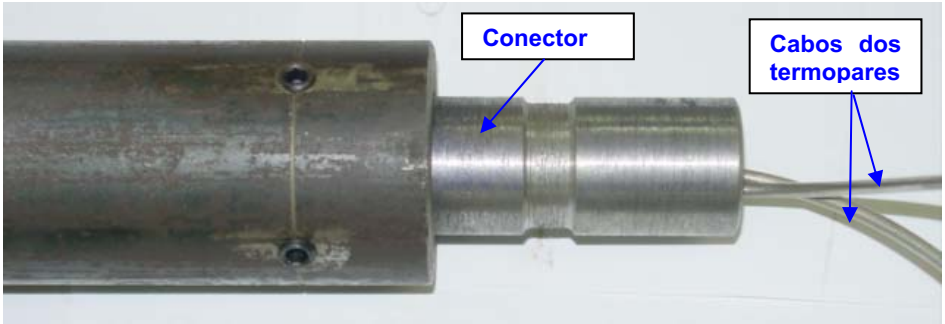

Figura 3.16 – Detalhe da conexão (fixada por parafusos) entre a sonda e a haste, com passagem interna livre para os cabos dos termopares (ø3mm)

Figura 3.17 – Detalhe do posicionamento da ponta isolada do termopar inferior, soldada a 15cm do final da sonda

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Depois de finalizadas e devidamente conectorizadas, as sondas medidoras de temperatura foram testadas em laboratório com o auxílio de uma unidade de leitura de dados, a qual será mais detalhada posteriormente, quando foi verificado o seu correto e perfeito funcionamento.

3.2.3.
Elementos Auxiliares

Baseado na estrutura montada por Baptista (2004) em seus experimentos, o novo sistema de dessorção térmica *in situ* manteve a utilização de outros três componentes auxiliares necessários para o seu funcionamento, a serem descritos a seguir.

3.2.3.1.
Controlador de Temperatura

Os terminais elétricos do bastonete térmico são ligados diretamente a um aparelho de automação comumente denominado de controlador de temperatura, cuja principal função é a de aplicar e controlar a temperatura a ser emitida pelo próprio bastonete. Esta pode ser direcionada de forma direta ou programada sob patamares graduais como, por exemplo:

- De 0 a 400°C em 5 minutos;
- De 0 a 400°C em 4 horas, sendo de 0 a 100 na 1ª hora, de 100 a 200 na 2ª hora, de 200 a 300 na 3ª hora e de 300 a 400°C na 4ª hora.

O conjunto do controlador de temperatura é composto, além de uma chave controladora, por um controlador de potência, no qual os terminais do bastonete são conectados, um visor (‘*display*’) com botões multifuncionais e uma chave liga-desliga, para acionar o funcionamento do sistema, conforme ilustra a Figura 3.18 abaixo. Para se medir a temperatura do bastonete, há ainda um termopar do tipo K, de ponta isolada, medindo cerca de 600 mm de comprimento, que é posicionado internamente ao bastonete, junto ao seu aquecedor, através da sua tubulação-guia. É ele quem “avisa” ao controlador a temperatura atual do aparelho, fazendo com que ele envie mais ou menos corrente elétrica.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

A alimentação do sistema é dada em 220 Volts, para atender a uma corrente elétrica de, aproximadamente, 12 Ampérès, do controlador e do próprio bastonete térmico.

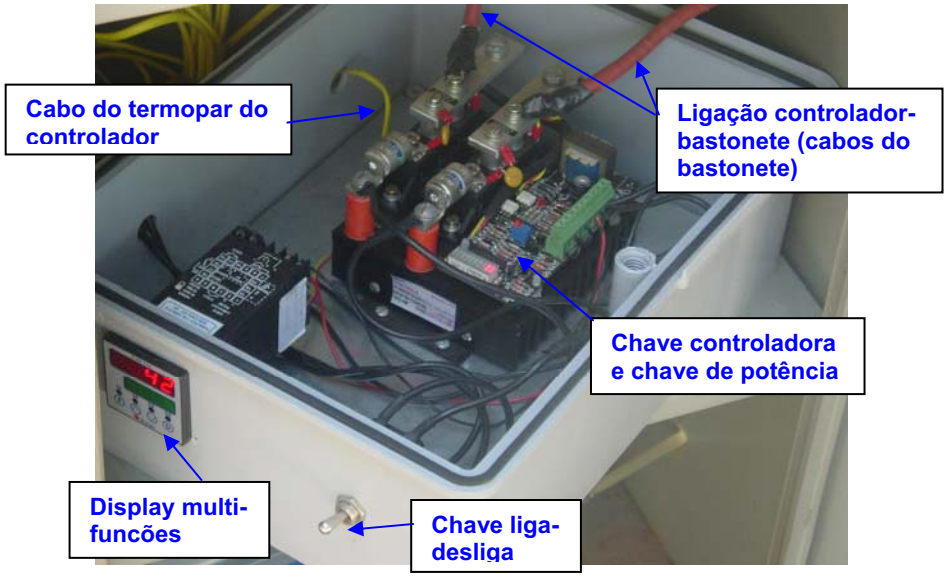

Figura 3.18 – Controlador de Temperatura

O aparelho é o mesmo utilizado em outros experimentos de dessorção térmica já realizados pelo **Núcleo de Geotecnia Ambiental** – **NGA da PUC-Rio**, de marca **INCON®**, modelo CNT 110, e suas especificações, conforme o manual, estão descritas na Tabela 3.4 a seguir:

Tabela 3.4 – Especificações do controlados de temperatura

Controlador de Temperatura – Especificações	
Alimentação	85 – 264 V; 50 a 60 Hz
Consumo	4 kVA
Termopares compatíveis	Tipo J, K, T, N, S, E, R, S e B
Precisão	Tipo J, K, T e N: 0,25% da faixa máxima de ±1°C Tipo E, R, S e B: 0,025% da faixa máxima de ± 3°C
Resolução	0,1°C

3.2.3.2. Aquisitor e Armazenador de Dados

Um outro importante componente do sistema é a unidade de aquisição e armazenamento de dados (‘*data-logger*’), instrumento utilizado para adquirir e armazenar os dados de temperatura que podem ser provenientes de até cinco conectores. Nele, pode-se programar o intervalo entre cada aquisição, além das

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

datas e horários de início e término de medições, por meio de uma chave multifuncional.

A sua precisão é de 0,1°C.

Há conectores duplos que permitem a conexão de até dois termopares simultaneamente, o que pode ampliar a capacidade do '*data-logger*' para até dez termopares. Para os experimentos deste trabalho, este tipo de conector foi utilizado em todas as quatro sondas medidoras de temperatura (um conector duplo para cada sonda).

Finalizada a coleta, os dados armazenados são transmitidos para um computador por meio do software **AMR-CONTROL®, versão 4.02**, via placa USB, onde seus arquivos em '.txt' são processados de forma a serem organizados em uma planilha como a **Microsoft Excel®** ('.xls'), por exemplo.

O instrumento, mostrado na figura seguinte, também é o mesmo que foi utilizado para outros ensaios de dessorção térmica pelo **NGA/PUC-Rio**.

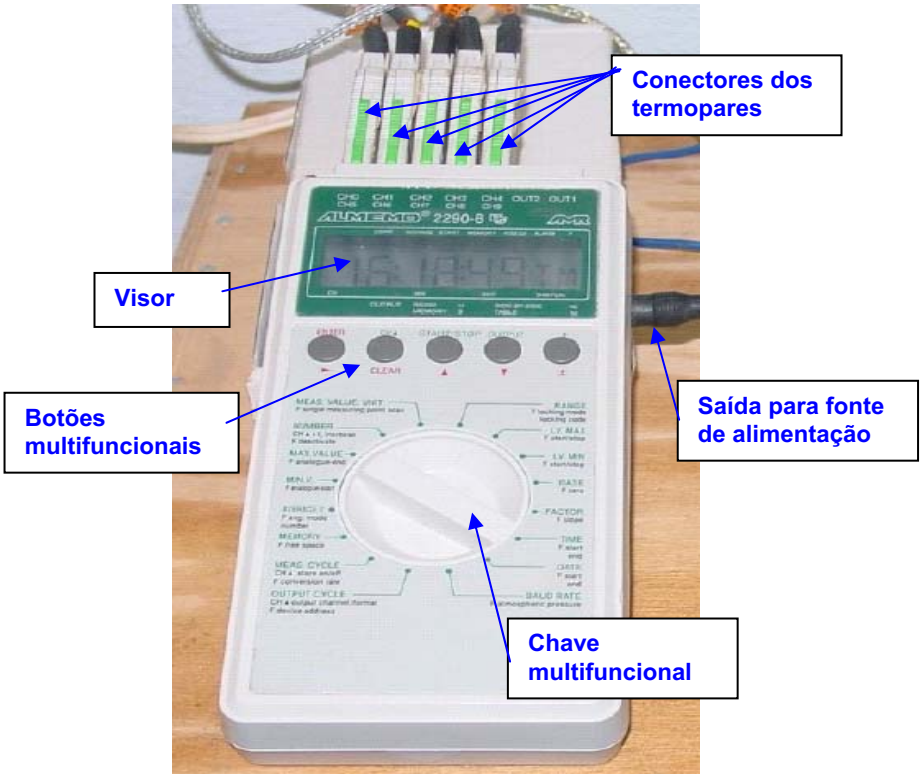

Figura 3.19 – '*Data-logger*' do SDTIS (Baptista, 2004)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Na sua parte superior, observa-se a ligação de cinco conectores que estão diretamente ligados a 05 termopares. No caso do presente trabalho, serão usados 04 conectores duplos para os 08 termopares.

A sua alimentação é fornecida tanto por baterias, quanto por uma fonte de 12 Volts ligada à rede elétrica.

3.2.3.3.
Bomba/Compressor de Ar e Controlador de Tempo

O terceiro componente utilizado é um compressor de ar – que também trabalha como bomba a vácuo – marca **Goldsun®**, modelo 0411, com 1/4HP (*Horse Power*) de potência, e vazão máxima de 36L/min, que está representado na Figura 3.20, a seguir. Sua faixa de voltagem varia de 110 a 220 Volts.

A sua função no sistema de dessorção térmica *in situ* é a de injetar ar no solo através de uma das tubulações internas do bastonete, de forma a aumentar o fluxo de calor e evitar o coqueamento do solo próximo aos furos, conforme citado por Baptista (2004).

Este compressor pode ser ligado a um instrumento controlador de tempo Multi-Timer Digital (Figura 3.21), de marca **ICEL®** capaz de ligá-lo e desligá-lo em até 10 intervalos de tempo.

Figura 3.20 – Compressor de ar (Baptista, 2004)

Figura 3.21 – Multi-timer digital (Baptista, 2004)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

3.2.3.4.
Fontes de Energia

Por se tratar de uma técnica de remediação de solos *in situ*, deve haver, dentre os componentes, um que represente a fonte de energia para alimentar o sistema e que possa ser levado a campo, independendo assim da disponibilidade de pontos de rede elétrica no local.

3.2.3.4.1.
Gerador a diesel

Para o presente caso, pensou-se em um gerador a diesel, fabricado pela **AGRALE**, de marca M90 e com potência de 6kW[8] (seis quilowatts). Tal gerador, adquirido anteriormente para outras finalidades pelo **NGA/PUC-Rio**, teoricamente, estaria apto a sustentar a alimentação de todo o sistema, visto que seriam necessários cerca de 4kW (quatro quilowatts) para a sua totalidade.

De acordo com o manual, a sua autonomia, considerando um tanque de 12 litros, era de cerca de 10 horas ininterruptas. No entanto, ele alerta para os seguintes pontos:

1. A cada 10 horas, deve-se completar o óleo do carter;
2. A cada 150 horas (6 dias) deve-se trocar o óleo do carter, limpar aletas, cilindros, cabeçotes e turbinas;
3. A cada 250 horas (10 dias) deve-se trocar o filtro de ar seco e o filtro de combustível;
4. A cada 300 horas (12 dias) deve-se limpar a tela do filtro de óleo lubrificante, apertar parafusos e porcas externas;
5. A cada 500 horas (20 dias) deve-se trocar o elemento do filtro de ar, limpar / drenar tanque de combustível, limpar aletas, cilindros, cabeçotes e turbinas.

Outro detalhe importante constado no manual de instruções é que, após o abastecimento, deve-se deixar o combustível em repouso por 24 horas.

[8] 1kW = 1kV.A (um kilo Volt Ampérè)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

Com relação a sua parte elétrica, há uma caixa de força onde foram instaladas 06 tomadas e 01 disjuntor, todos trabalhando a 220 Volts. Projetou-se que, nas tomadas, seriam ligados os terminais do controlador de temperatura, a unidade aquisitora de dados e o compressor de ar, junto ao controlador de tempo, sobrando ainda três delas para quaisquer eventuais necessidades.

Para facilitar o seu transporte, foi criada uma carreta própria para comportá-lo e que pudesse ser engatada a qualquer outro veículo automotor.

No capítulo seguinte, quando serão descritos os ensaios de campo, será mostrado que este gerador não conseguiu atender às solicitações dos experimentos de campo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

3.2.3.4.2.
Energia elétrica convencional

E, como o gerador disponível para os experimentos de campo não atendeu à demanda energética do novo sistema de dessorção térmica *in situ*, foi necessário captar energia elétrica da rede convencional para dar continuidade aos ensaios.

Nas dependências do **Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente** – **LGMA** da **PUC-Rio** já havia, inclusive, uma instalação própria para este sistema, sendo a mesma que havia sido utilizada para o trabalho de Baptista (2004) e que está mostrada nas Figuras 3.22 e 3.23 seguintes. Esta instalação possui um medidor de consumo elétrico próprio, a fim de se registrarem e contabilizarem os gastos energéticos do equipamento.

A rede elétrica comum do **LGMA / PUC-Rio** também foi disponibilizada para a realização dos experimentos, porém sem a possibilidade de se registrar o consumo.

Figura 3.22 – Local da instalação elétrica, no **LGMA/PUC-Rio**, para os sistemas de dessorção térmica

Figura 3.23 – Instalação elétrica do **LGMA/PUC-Rio**, com medidor de consumo individualizado para os sistemas de dessorção térmica

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

3.2.3.5. Armário

Para armazenar e guardar, em campo, todos os componentes do sistema, tais como ferramentas, utensílios em geral, equipamentos de proteção individual – luvas, jaleco e máscara – e outros materiais, foi utilizado um armário, estruturado em coluna, com 05 prateleiras móveis, o qual está mostrado nas Figuras 3.24 e 3.25 a seguir. Por questões de segurança, tal armário é lacrado durante os ensaios de campo.

Na Figura 3.25, com o armário aberto, observa-se a organização dos equipamentos e utensílios utilizados durante os ensaios. Na prateleira superior, está alocada a caixa de ferramentas. Abaixo dela, encontra-se o '*data-logger*', no qual são '*plugados*' os conectores dos termopares instalados nas sondas. Nas duas prateleiras seguintes são colocados, aleatoriamente, mais algumas ferramentas e utensílios. Já a última prateleira comporta o controlador de temperatura, no qual são conectados o termopar e a resistência do bastonete térmico. Por fim, na base do armário, encontra-se o compressor, do qual sai uma tubulação de ar que é ligada ao bastonete.

Para que os termopares, tubulações e cabos pudessem permanecer conectados aos seus instrumentos correspondentes com o armário fechado, foram executados alguns furos na sua lateral.

Figura 3.24 – Armário do SDTIS

Figura 3.25 – Armário do SDTIS aberto

3.2.3.6.
Sistema de tratamento de gases

O sistema de tratamento de gases do novo SDTIS é composto por um oxidador, um condensador, um filtro de carvão ativado, um separador de líquidos e uma bomba de sucção, alguns deles inclusive foram fabricados no próprio **LGMA**. Todos pertencem ao **NGA/PUC-Rio** e vêm sendo utilizados em pesquisas sobre a dessorção térmica desde o trabalho de Portes (2002).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA

No entanto, tais instrumentos, em princípio, não serão utilizados durante este trabalho, uma vez que está previsto que os campos experimentais onde o bastonete será testado não apresentarão qualquer tipo de contaminação, já que o objetivo do presente trabalho é fazer uma avaliação do desempenho do bastonete térmico e suas possíveis conseqüências ao solo e ao ecossistema quando submetido a condições naturais de campo. E, conforme observado no trabalho de Baptista (2004), a eficiência do instrumento para remediar solos contaminados por contaminantes orgânicos já foi devidamente comprovada utilizando, inclusive, este mesmo sistema de tratamento de gases.

Tais elementos estão apresentados na figura a seguir, encontrando-se dispostos para uso em um dos experimentos de dessorção térmica do **NGA/PUC-Rio**.

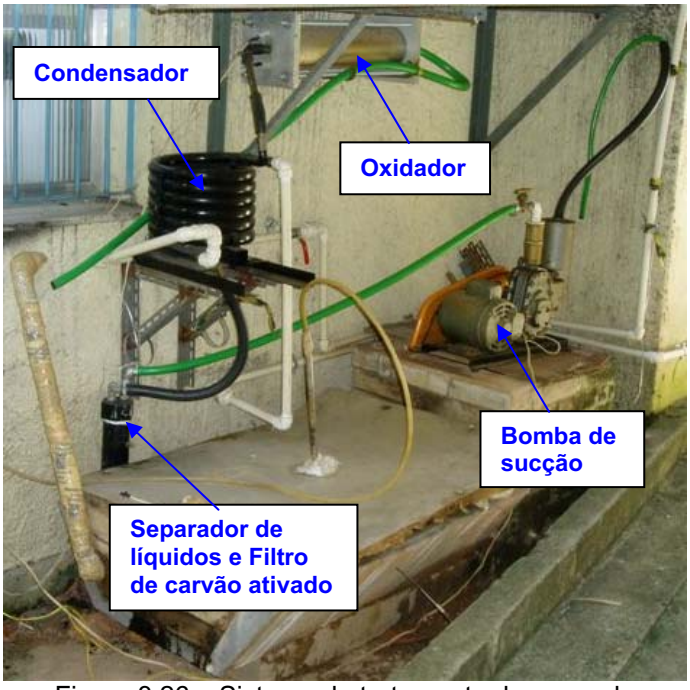

Figura 3.26 – Sistema de tratamento de vapor do **NGA/PUC-Rio**

3.3. Comentários Finais

Com todos os elementos apresentados e devidamente testados, considerou-se que o novo sistema de dessorção térmica *in situ* encontrava-se completo, funcionando e pronto para uso. Sua aplicação e resultados serão mostrados a partir dos capítulos seguintes.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410751/CA