

# CONTROLE DE QUALIDADE GLOBAL EM NOVAS INSTALAÇÕES OU MANUTENÇÕES DE REVESTIMENTOS REFRATÁRIOS – UM CONCEITO MODERNO<sup>1</sup>

*Abrão José Kahn<sup>2</sup>*

*Breno Akerman<sup>3</sup>*

*José Carlos de Carvalho<sup>4</sup>*

*Marcus Vinicius Dias Garcia<sup>5</sup>*

*Rodnei Ventura<sup>6</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos pela aplicação, pela primeira vez no país, do conceito de sistema de controle de qualidade global para refratários com a utilização de laboratório de campo para ensaios dos materiais refratários instalados, levado a efeito em uma unidade no Brasil, de empresa de grande porte do setor de não ferrosos. Justifica-se a relevância do trabalho pela extrema importância que tem, para qualquer empresa, uma intervenção para troca parcial ou total de revestimento, principalmente no caso de equipamentos de longas campanhas, grande desempenho, altos custos de implantação e altos valores de lucro cessante. Metodologicamente, o trabalho apresenta as diversas etapas do projeto, e os resultados obtidos com sua aplicação. O objetivo do projeto foi garantir a qualidade do revestimento refratário para permitir aos equipamentos operação segura, vida útil prevista e baixa manutenção, sem paradas intermediárias para reparos ou adoção de contramedidas para evitar superaquecimentos localizados.

**Palavras-chave:** Refratários; Controle de qualidade; Laboratório; Ensaios.

## **GLOBAL QUALITY CONTROL IN NEW INSTALATIONS OR MAINTENANCES OF REFRACTORY LININGS – A MODERN CONCEPT**

### **Abstract**

This paper aims to present the results obtained with the application, for the first time in the country, of the global quality management system for refractories utilizing a field laboratory for testing the refractory materials installed, done in a unit, in Brazil, of a large company of the non ferrous branch. The relevance of the job is justified by the extreme importance that has, to any company, a partial or total replacement of linings and services in maintenance, overall revamping and erection of long campaign, high performance, introduction and loss of profit of the equipments. Methodologically, the paper is based on the development of a project, showing the several steps of the system, as well as the results obtained with its use. The aim of the project was to guarantee the refractory lining quality to get the expected life, with no intermediary stoppages for repairs or the adoption of counter measures to avoid localized hotspots.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista, Diretor, Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Gerente de CQ, Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda*

<sup>4</sup> *Sócio da ABM, MBA em Siderurgia, Engenheiro Metalurgista, Gerente de P&D, Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda.*

<sup>5</sup> *Sócio da ABM. MBA em Marketing, Engenheiro Mecânico, Gerente de Marketing, Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda.*

<sup>6</sup> *Técnico Ceramista, Supervisor Técnico, Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda.*

## 1 INTRODUÇÃO

Equipamentos que utilizam materiais refratários são, em geral, de alto custo, com expectativa de vida longa e/ou de alto desempenho operacional. Esses requisitos podem ser comprometidos caso não se tenha a garantia de que todas as etapas do processo de refratamento, seja ele para reforma total, parcial ou mesmo manutenção, de pequena ou grande monta, foram cumpridas de acordo com o previsto em projeto. Essa garantia é função do Controle de Qualidade, que deve existir e ser adequadamente exercido em todas as etapas do empreendimento.

Como etapas do empreendimento, pode ser feita a seguinte divisão: projeto e especificação; compra e fornecimento; montagem; e aquecimento e entrada em operação.

O desempenho de um revestimento refratário depende de um projeto correto, uma especificação adequada, da qualidade intrínseca dos materiais refratários utilizados e de sua correta aplicação na obra. Quando todos esses fatores são adequadamente considerados, pode-se esperar que o equipamento atinja a vida útil prevista e se alcance o melhor custo benefício para o empreendimento.

Um serviço de controle de qualidade que acompanhe todas as etapas, desde a liberação de entrega do material pelo fornecedor até sua aplicação na obra, garante a qualidade do revestimento como um todo e permite a minimização de riscos e que se atinjam os objetivos planejados. A contratação de empresas idôneas - tanto para o fornecimento dos materiais como para execução dos serviços de montagem - garante que se terá, para o material, um produto de qualidade e de acordo com a especificação e, para a aplicação, um serviço executado de acordo com as exigências técnicas. Deve ser dada grande atenção à qualificação dessas empresas, verificando-se a experiência em projetos de mesma natureza, seu retrospecto nesses empreendimentos.

Na implementação dos serviços de Controle de qualidade em um projeto, pode-se fazer a seguinte distribuição:

**Projeto e Especificação:** O Controle de Qualidade nesta fase está na elaboração de um projeto do revestimento refratário adequado ao plano estratégico da empresa em termos de custo de implantação e duração esperada da campanha do equipamento, objetivando o melhor custo benefício no investimento;

No aspecto especificação, as propriedades dos materiais refratários a serem utilizados devem ser definidas com muito critério para que se tenha certeza de que eles atendam às características necessárias às exigências do processo produtivo, assim como garantam a qualidade no processo de fabricação e fornecimento.

Nas etapas de compra e fornecimento, o processo de Controle de Qualidade é normalmente o efetuado pelos fornecedores com o acompanhamento do comprador, seja por pessoal próprio seja por meio de terceiros.

Na etapa de montagem, é de responsabilidade da fiscalização da obra fazer o controle de qualidade dos serviços, além, é claro, de supervisionar o controle de qualidade próprio da empresa montadora.

Na fase de secagem e aquecimento, deve-se assegurar que toda a água presente no revestimento seja removida adequadamente, seguindo-se uma curva de aquecimento que leve em consideração a capacidade do revestimento refratário de liberar o vapor gerado em seu interior com o aumento da temperatura. Esta etapa, assim como as demais, também é de fundamental importância para a vida do revestimento, pois, se mal feita, irá gerar trincas internas em função da pressão de vapor, provocando desgaste prematuro dos refratários e, por conseguinte,

comprometendo a vida útil do equipamento, seu desempenho e o custo/benefício do empreendimento, por conta da necessidade de reparos intermediários, assim como adoção de contramedidas para contornar problemas de pontos quentes.

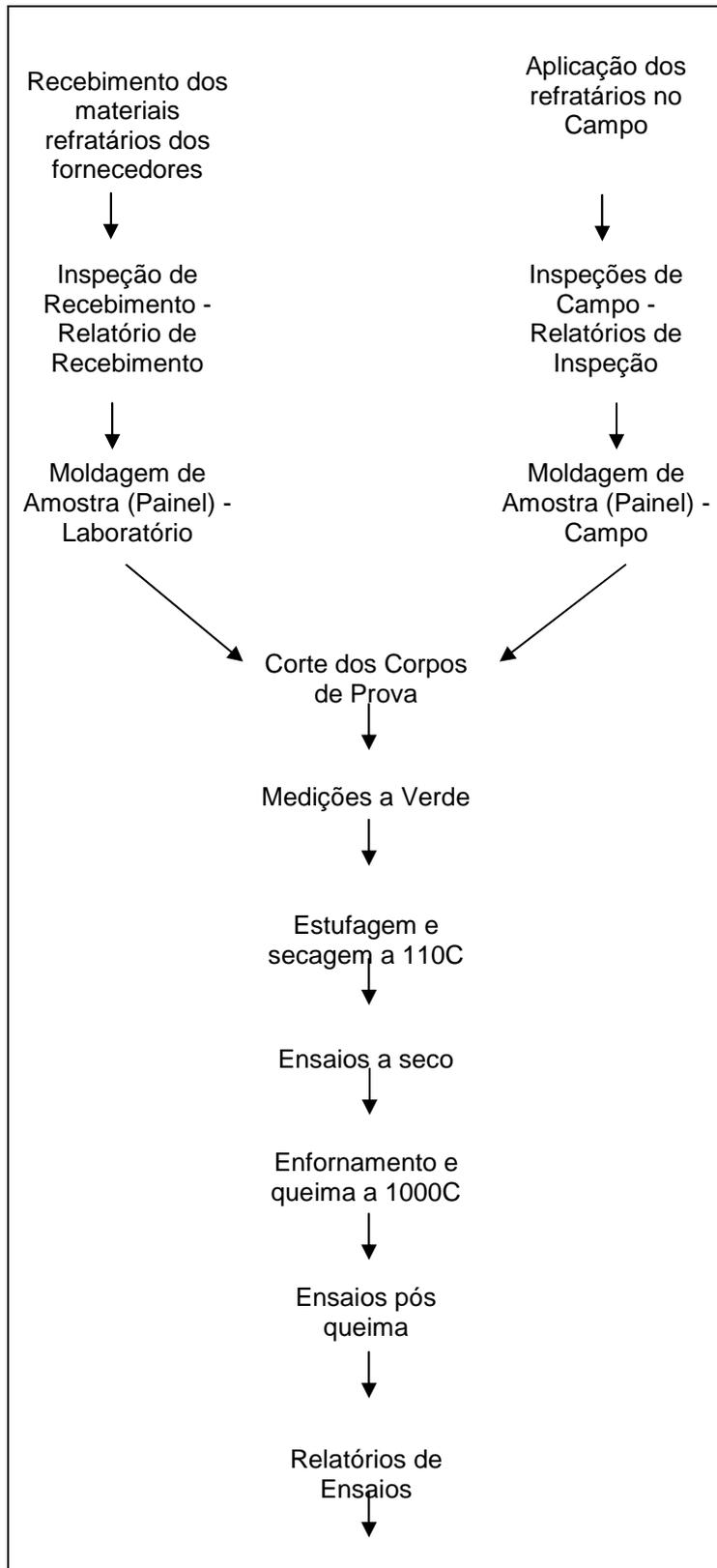
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como base para o presente trabalho, utilizaram-se dados obtidos em serviço de Controle de Qualidade prestados em uma unidade no Brasil de uma grande empresa do setor de não ferrosos. De acordo com a filosofia de trabalho aqui apresentada, o escopo de serviços contratado abrangeu o Controle de Qualidade para os materiais refratários desde o seu recebimento na planta, até o acompanhamento da secagem e aquecimento do revestimento, passando pela preparação e aplicação dos refratários nesses equipamentos. O escopo de serviços está apresentado na Quadro 1.

Quadro 1 – Escopo de serviços de Controle de Qualidade.

<b>Itens</b>	<b>Ações</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Documentação</b>	Obter e analisar as especificações do fabricante, do aplicador e/ou plano de execução da contratante	<b>Estabelecer e especificar o escopo do serviço.</b>
<b>Qualificação do Material</b>	Coletar amostras, preparar e executar os testes das mesmas.	<b>Confirmar se o material entregue pelo fabricante atende as características especificadas para o projeto</b>
<b>Qualificação do aplicador</b>	Avaliar o desempenho dos operadores através de aplicações de campo.	<b>Confirmar se os operadores estão capacitados a aplicar os materiais qualificados de acordo com as especificações do projeto.</b>
<b>Monitoramento da aplicação.</b>	Acompanhar a coleta de amostras em turnos alternados.	<b>Confirmar se as especificações e procedimentos de aplicação estão sendo mantidos.</b>
<b>Testes de Materiais amostrados</b>	Executar testes nos materiais refratários coletados a partir de amostragem no campo.	<b>Confirmar se os materiais instalados estão de acordo com as especificações e propriedades físicas conforme FDT – Ficha de Dados Técnicos do Material</b>
<b>Inspeção pré-secagem</b>	Inspeccionar visualmente e por martelamento o revestimento refratário aplicado.	<b>Confirmar se o revestimento refratário instalado atende às especificações do projeto.</b>
<b>Monitoramento da secagem</b>	Verificar e acompanhar o ciclo térmico proposto para o equipamento / material refratário.	<b>Confirmar se o ciclo térmico especificado esta sendo cumprido.</b>
<b>Inspeção pós-secagem</b>	<b>Inspeccionar visualmente e por martelamento o revestimento refratário instalado em comparação à fase anterior.</b>	<b>Confirmar se o revestimento refratário instalado atende às especificações do projeto.</b>

O fluxograma de serviços seguido é apresentado abaixo:



**Figura 1.**

Os serviços foram divididos em três áreas distintas de controle:

- controle de recebimento;
- controle de aplicação de campo; e
- controle laboratorial de propriedades físicas.

Cada etapa do processo teve seu desenvolvimento baseado em normas e procedimentos previamente definidos em conjunto com o contratante. O sistema de normas adotado no empreendimento foi o ASTM.

Na fase de recebimento dos materiais, são verificadas as condições dos *pallets*, sua integridade, assim como a dos sacos nele contidos, a forma de estocagem e retiradas amostras para serem feitos ensaios de aferição da qualidade. Conforme determinado na norma específica, a cada 20 t de material recebido, por qualidade, é feita uma amostragem para ensaio.

Para as amostras de recebimento, denominadas RT, há dois tipos de material refratário: densos e isolantes. Para os densos, em cada amostra são realizados 40 ensaios, e para os isolantes, são realizados 25 ensaios por amostra.

Na fase de inspeção de campo, são verificadas as condições da carcaça metálica e das ancoragens nos equipamentos a serem revestidos; se aprovadas, passa-se então à aplicação propriamente dita, fase na qual se acompanha a preparação do material a ser aplicado, sua homogeneidade, para a água de adição, sua qualidade e temperatura, para o processamento, tempo de mistura e sua temperatura, tempo entre preparo e aplicação e para a aplicação, pressão de bombeamento.

Pelos critérios definidos, durante a aplicação, são preparadas duas amostras (foto 6) do material aplicado (FA), painel (foto 7), por turno, região, aplicador e lote de material; uma a ser analisada e uma de *backup* para o caso de o primeiro painel apresentar algum problema seja de aparência, verificado na etapa de corte (foto 8), seja nos resultados dos ensaios. Para cada painel gerado são preparados corpos de prova (fotos 9 e 10), para 24 ensaios para densos e 18 ensaios para os isolantes.

O número de amostras, painéis, processados diariamente varia de acordo com a programação da obra, chegada e aplicação dos materiais, assim como da qualidade dos materiais e da aplicação, pois em caso de não aprovação do painel analisado é ensaiado o painel *backup*.

Devido ao fato de a liberação de frentes de serviço para continuidade dos serviços estar vinculada aos resultados dos ensaios, é de extrema importância que seja definido um prazo limite para sua liberação. No caso aqui relatado, o prazo definido foi de 5 dias entre a entrada do painel no laboratório e a entrega do certificado de análise.

Verifica-se que a quantidade de amostras e, por conseguinte, de ensaios executados é bastante grande, o que inviabilizaria a utilização de institutos de pesquisa e/ou laboratórios convencionais. Dessa forma, a instalação utilizada segue o conceito de laboratório móvel de campo, que é de utilização normal no exterior com empresas atuando nesse formato a mais de 20 anos.

O Conceito do laboratório móvel é a locação da instalação junto à obra de forma a atender no prazo suas necessidades, sem se perder tempo em transporte por longas distâncias, como é o caso normalmente. Para se trabalhar nesse conceito, é necessária, além da disponibilidade de equipamentos, uma logística que permita alta mobilidade na resposta das necessidades da obra, já que a quantidade de painéis e ensaios pode até dobrar caso ocorram problemas de qualidade, uma vez que, nessa situação, além dos painéis normais terão que ser feitos ensaios

também nos painéis de backup.

Os ensaios necessários e sua quantidade vão definir quais os equipamentos necessários, sua quantidade e a equipe necessária para operá-los.

Neste projeto, os ensaios especificados para o controle das propriedades dos materiais refratários acordado com o cliente foram os que estão listados a seguir:

- Porosidade Aparente (PA);
- Massa Específica Aparente (MEA);
- Variação Linear Dimensional (VLD);
- Resistência à Compressão a Frio (RCF);
- Resistência à Flexão (RFF);
- Resistência à Erosão (RA).

Obs.: 1 – São feitos ensaios com o material seco a 110°C e queimado a 1.000°C.

2 – O Sistema de Normas utilizado foi o ASTM O

Os equipamentos e instrumentos utilizados são todos de primeira linha equivalentes aos disponíveis nos melhores laboratórios do país. Todos eles calibrados periodicamente, conforme prazos definidos pelos certificadores, e com certificados de calibração por eles emitidos. A seguir são ilustrados os principais equipamentos utilizados:

- misturador planetário e mesa vibratória, foto 5, para preparação de amostra dos materiais de recebimento;
- serras de corte (foto 8), para corte das amostras com dois diâmetros de discos;
- estufas para secagem a 110°C (fotos 11 e 12), com capacidade de trabalhar a até 600°C;
- fornos para queima a 1.000°C (fotos 13 e 14), com capacidade para trabalhar a até 1600°C;
- prensa hidráulica para execução de ensaios de resistência à compressão (fotos 15 e 16), para execução dos ensaios de RCF com capacidade 600kPa;
- prensa hidráulica para execução de ensaios de resistência à flexão a frio (fotos 17 e 18), com capacidade de 100kPa;
- erosímetros (foto 19);
- paquímetros aferidos e certificados para medições (foto 20); e
- balanças de precisão para diversas capacidades.

Para os instrumentos, podem-se citar medidores de pressão, termômetros de imersão, termohigrômetros, cronômetros, paquímetros, radiômetros, entre outros, todos aferidos e certificados.

Para a execução dos serviços, foi montada uma equipe que trabalhava inicialmente em um turno, mas a exigência dos serviços obrigou o aumento e desmembramento para trabalhar em dois turnos. No pico de obra, chegou-se a contar com mais de 20 pessoas trabalhando diretamente só para o laboratório.



Foto 1 – Containeres do CQ



Foto 2 – Container Laboratório



Foto 3 – Equipe de Controle do Laboratório



Foto 4 – Equipe de ensaios



Foto 5 – Misturador e mesa vibratória



Foto 6 – Preparação do painel no campo



Foto 7 – Painel



Foto 8 – Corte do painel



Foto 9 – Corpos de prova cortados



Foto 10 – CP's identificados



Foto 11 – Estufas para secagem



Foto 12 – Carga na estufa



Foto 13 – Fornos de queima



Foto 14 – Carga no forno



Foto 15 – Prensa de RCF



Foto 16 – Controle da prensa



Foto 17 – Prensa de RFF

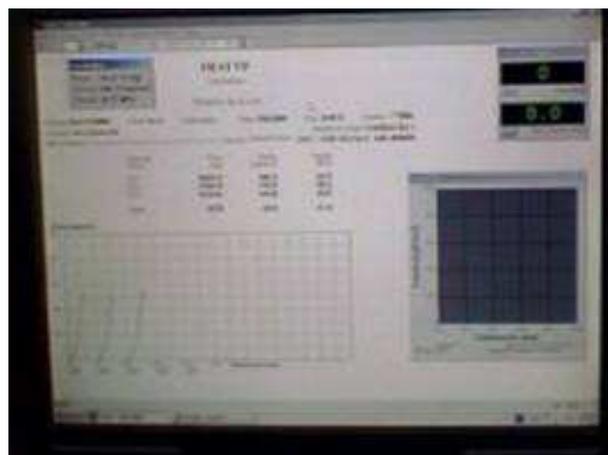


Foto 18 – Tela de controle da prensa



Foto 19 – Erosímetros



Foto 20 – Medições

### 3 RESULTADOS

Os resultados obtidos no empreendimento são sumarizados na tabela 1 a seguir e que utiliza como referência os dois relatórios-base para o controle de qualidade que são os seguintes:

**CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO DE MATERIAL REFRACTÁRIO (CQMR) e;  
RELATÓRIO DE NÃO CONFORMIDADE (RNC).**

O CQMR é gerado para cada painel que entra no laboratório para análise. Esse documento sintetiza todos os resultados de todos os ensaios e, uma vez emitido, e verificado, é então submetido à fiscalização da contratante para tomada de posição quanto à liberação ou não da continuidade da obra na frente de serviço correspondente.

O Relatório de Não Conformidade é gerado quando os resultados dos ensaios não atendem aos especificados, ou ainda antes, quando na etapa de corte do painel, se verificam falhas de estrutura no material. Esse relatório é então encaminhado à fiscalização para definição do procedimento a ser tomado.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos, para todos os tipos de inspeção e ensaios, durante o período de trabalho considerado de aproximadamente 8 meses de atuação do Controle de Qualidade.

Entre 30/08/2007 e 02/02/2009, foram relatadas 125 não conformidades pelo CQ da Heat Up, assim distribuídas:

- Ancoragem 11
- Dimensão do Revestimento 16
- Falhas de Processo 13
- Inspeção Visual 47
- Juntas de Dilatação 03
- Laboratório Processo (FA) 15
- Laboratório Recebimento (RT) 20

O Cliente emitiu parecer com relação a 122 RNCs, propondo ações corretivas para 113 RNC's, sendo que desse total apenas 9 foram aceitas com desvio.

Tabela 1 – Distribuição dos ensaios por etapa do processo

Levantamento de Dados CQMR																	
Material		Etapas do processo														Total Geral	
		(1)Qualificação		Requalificação		Reteste		(3)Testes de campo		Qualificação aplicador		Qualificação de procedimento		(2)Aplicação de campo			
		Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio	Amostra	Ensaio
Isolantes	1													7	126	7	126
	2	35	875	5	125	2	50			15	375			465	8370	522	9795
Denso	1	76	3040	32	1280	1	40			8	320	1	40	292	7008	410	11728
	2	6	240	1	40	2	80					2	80	19	456	30	896
	3	37	1480			2	80	8	320	2	80	10	400	200	4800	259	7160
	4	4	160									1	40			5	200
	5													10	240	10	240
Total		158	5795	38	1445	7	250	8	320	25	775	14	560	993	21000	1243	30145

(1): para as amostras de recebimento (RT), são realizados 40 ensaios, no caso dos materiais densos e para os isolantes são realizados 25 ensaios; (2): para as amostras de aplicação de campo (FA), são realizados 24 ensaios, no caso dos materiais densos e para os isolantes são realizados 18 ensaios.

## **4 DISCUSSÃO**

Como pode ser visto pelos resultados apresentados, um controle efetivo da qualidade dos serviços de refratário só é possível mediante a utilização de um laboratório trabalhando no conceito de laboratório móvel devido ao grande número de ensaios verificados.

Pela formatação do critério de amostragem, a retirada de amostras e o ensaio, estas cobriram praticamente cem por cento das regiões revestidas e o sistema de geração de duas amostras, uma regular e outra reserva, foi muito efetivo, visto permitir serem dirimidas dúvidas quanto à qualidade do revestimento em caso de problemas com a amostra regular.

Como a distribuição do número de amostras não é igual ao longo do tempo, pois obedece ao cronograma de obra, na fase de pico se chegou a processar no laboratório entre 20 amostras e 30 amostras por dia, o que representa entre 400 ensaios e 500 ensaios. O atendimento a essa necessidade só foi possível graças ao um aumento na quantidade de recursos alocados inicialmente. Neste ponto, a agilidade no aporte dos recursos foi de fundamental importância para que se conseguisse atender às necessidades da obra. A existência de uma equipe de apoio logístico e a rapidez na tomada de decisões e sua posta em prática foram imprescindíveis pelo fato de a obra transcorrer em região muito distante do eixo comercial do País. Neste aspecto ainda, de grande importância foi a existência dos procedimentos específicos desenvolvidos, na preparação e treinamento de pessoal, contratado na própria região, e sem conhecimento prévio dos serviços desenvolvidos.

Como se pode verificar no Quadro 1, foram acompanhadas todas as etapas do processo relativo ao refratamento, desde o material propriamente dito até a avaliação e qualificação dos aplicadores da montadora contratada.

O número de Não Conformidade verificada foi de aproximadamente dez por cento do total de amostras ensaiadas, o que é bastante significativo, considerando-se o fato de que muitas possíveis não conformidades foram evitadas pela atuação efetiva da inspeção vinculada ao controle de qualidade.

Verifica-se ainda que a totalidade de não conformidades aceitas como passíveis de não correção, 9 de um total de 122, foi muito pequena, denotando a eficiência dos serviços de inspeção e análise efetuados.

## **5 CONCLUSÃO**

Pelo apresentado, verifica-se que realmente o Controle de Qualidade nos moldes aqui propostos e utilizados se justifica plenamente, uma vez que permite que se detecte sem margem de dúvidas qual a condição real do revestimento em termos globais, tanto em relação à qualidade dos materiais utilizados como quanto à sua correta preparação e aplicação. A utilização de um laboratório junto à obra também se mostra de fundamental importância na medida em que permite que se tenham, em prazo compatível com a necessidade do cronograma de andamento da obra, resultados quantitativos para avaliação de análises qualitativas verificadas pela inspeção de campo, dando subsídio para uma tomada de posição criteriosa pela equipe de implantação do cliente.

É de fundamental importância que a contratada para efetuar o Controle de Qualidade da obra se considere e seja vista e considerado como parte integrante da

equipe do cliente, para que possa atuar de forma estritamente isenta, sem sofrer influências de quem quer que seja.

Vale lembrar ainda que o que foi aqui apresentado leva em consideração tão-somente os resultados obtidos em ensaios de laboratório, não se considerando as correções feitas na área pela equipe de inspeção, as quais evitam problemas de aplicação que fatalmente se traduziriam em um maior número de não conformidades e consequentes atrasos para a obra.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 ASTM C – 113 – Permanent Linear Change (Reheat change of refractory)
- 2 ASTM C – 133 – Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories.
- 3 ASTM C – 134 – Size and Bulk Density of Refractory Brick and Insulating Firebrick.
- 4 ASTM C – 704 – Abrasion Resistance of Refractory Materials at Room Temperature.