

# **FABRICAÇÃO INDUSTRIAL DE AGREGADOS DE ARGILA CALCINADA: RESULTADOS OBTIDOS**

**Gustavo da Luz Lima Cabral**

Comissão Regional de Obras da 1ª Região Militar

**Álvaro Vieira**

**Luiz Antônio Silveira Lopes**

Instituto Militar de Engenharia

## **RESUMO**

Atualmente, a pesquisa sobre a produção e emprego de agregados de argila calcinada está direcionada à obtenção de respostas relativas à produção em escala industrial dessa alternativa como material de pavimentação. Conseqüentemente, as questões inerentes aos custos de fabricação são essenciais, principalmente para regiões com escassez de rochas, afim de ressaltar a vantagem econômica deste agregado cerâmico. Adquirindo o conhecimento da indústria cerâmica, e através de visitas a alguns pólos cerâmicos, ficou evidenciada uma alternativa de como efetuar esta produção industrial. De forma resumida, descreve-se a metodologia elaborada para a fabricação do agregado de argila, que culminou recentemente com o depósito do pedido de patente desta inovação tecnológica. Na aplicação desta metodologia, foi constatada a viabilidade técnica e financeira de uma produção industrial experimental. São então apresentados, uma síntese dos resultados obtidos, tais como a resistência mecânica, absorção, mistura asfáltica, e conseqüentemente dos custos envolvidos com esta pioneira produção experimental.

## **ABSTRACT**

Recently, the research over the production and employment of the calcined clay aggregate is addressed to obtain answers that could resolve the production in industrial scale of this solution as paving material. Consequently, the subjects about the production costs are also priority, mainly for areas without rocks, emphasizing this way, the ceramic aggregates economical advantage. Acquiring the industry ceramist's knowledge, and through visits accomplished in ceramic poles, an alternative was evidenced to realize this industrial production. Concisely, it is also described the methodology elaborated for the calcined clay production, that culminated recently with the patent request of this technological innovation. During the application of this methodology, the technical and financial viability of an experimental industrial production was verified. The article presents a synthesis of the obtained results, such as the mechanical resistance, absorption, asphalt mixture, and consequently the costs involved with this pioneer experimental production.

## **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, os principais estudos voltados para a busca de tecnologias relacionadas aos agregados artificiais vêm avançando continuamente em face dos esforços de pesquisas científicas e estratégicas levadas a efeito.

Dentro deste contexto, destaca-se a conhecida carência de jazidas de rochas da região norte do país, que constitui um natural obstáculo ao seu desenvolvimento regional. Incluída neste cenário, a Engenharia Militar do Exército Brasileiro convive há muitos anos com esse problema, pois nesta região estão situados alguns de seus Batalhões de Engenharia de Construção, que freqüentemente são encarregados da construção e da conservação de diversos corredores rodoviários que agregam valores indispensáveis ao desenvolvimento regional, integração nacional e manutenção de políticas estratégicas para a região amazônica.

Desta forma, a evolução do estudo relacionado ao agregado artificial de argila calcinada, iniciado pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), revela uma nova fase de desenvolvimento. A procura de respostas para as questões relacionadas ao custo de obtenção deste tipo de agregado, assim como a passagem da fase de produção em laboratório para uma escala industrial são os principais interesses desta nova etapa da pesquisa.

Essa busca por modelos de fabricação adequados foi fundamentada através de uma proposta metodológica, desenvolvida em dissertação de mestrado (do primeiro autor), direcionada ao processo industrial de produção, bem como as diversas fases anteriores.

Com o advento de uma aplicação desta proposta metodológica, foram utilizadas amostras de solos provenientes da região de Santarém (PA), e da mesma forma, amostras de agregados de argila calcinada provenientes de uma produção experimental efetuada exclusivamente para este estudo, em uma indústria cerâmica de Santarém. São então apresentados neste trabalho, os principais resultados obtidos, bem como a quantificação dos custos relativos a esta produção industrial de agregados de argila calcinada.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Inicialmente com o advento dos resultados de Batista (2004), foi possível avaliar de forma positiva a viabilidade técnica desta alternativa como material de pavimentação. No intuito da busca da industrialização deste processo, naturalmente observa-se a grande semelhança com a indústria cerâmica convencional, seja na matéria-prima utilizada, equipamentos empregados e inclusive o seu controle tecnológico.

A partir desta constatação, foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o assunto, salientando as normas técnicas e ensaios de laboratório, equipamentos industriais utilizados, combustíveis para os fornos, temperatura e tempo de queima dos produtos cerâmicos, e aditivos à massa de argila para melhoria da qualidade das peças e redução da porosidade final.

Nesta revisão, pode-se também notar a semelhança tanto da matéria-prima quanto do processo de fabricação, entre o agregado de argila calcinada e o que é utilizado na fabricação de telhas e pisos cerâmicos, o que vem a concordar com alguns registros freqüentes de utilização de cacos cerâmicos na pavimentação e na construção civil no estado do Acre (FUNTAC, 2001).

Dentro desse contexto do controle tecnológico da matéria-prima e da qualidade do produto cerâmico obtido, situam-se diversas pesquisas (Alexandre, 2000; Vieira *et al.*, 2003; Melchiades e Pracidelli, 1997) que forneceram subsídios para a elaboração da metodologia adotada para o processo de fabricação do agregado artificial de argila. Ressalta-se que estes estudos vieram demonstrar principalmente alguns parâmetros de verificação da matéria-prima argilosa e do produto após queima, tais como suas características físicas, químicas e mineralógicas que até então, na pesquisa do agregado de argila calcinada, não estava sendo traduzida de forma clara, a ligação dessas características com a qualidade final do agregado cerâmico produzido.

A maioria dos produtos cerâmicos apresenta alta porosidade, com pouca fase vítrea, decorrente da temperatura de queima (800 a 900°C). Mesmo assim, mostram resistência mecânica suficiente para os usos a que são propostos. Os fundentes presentes estão contidos nas estruturas das argilas ilíticas e esmectíticas presentes ou adsorvidos nos argilominerais, tais como complexos ferruginosos e sais solúveis, que podem reagir durante a queima.

A exigência técnica dos produtos de cerâmica vermelha é mais rigorosa para telhas e blocos estruturais, requerendo maior sinterização das peças. Nesses materiais, as argilas devem ser mais ilíticas ou conter a mistura destas ou de outros fundentes (Motta *et al.*, 2001).

Sobre o aspecto da busca pela aparelhagem que materialize esta fabricação, em uma primeira instância de análise são descobertos os altos custos de implantação de uma possível usina de fabricação de argila calcinada, semelhante ao que foi desenvolvido na década de 80 pelo DNER (1981) em um estudo mais específico sobre o agregado de argila expandida.

Ainda referindo-se às primeiras pesquisas, um fato que ainda apresentava relativa distância com relação ao agregado pétreo, era a taxa de absorção da argila calcinada, devido a sua porosidade, que é observada em todos produtos cerâmicos que são produzidos nesta temperatura. Porém, a título de desempenho como material de pavimentação, ficou comprovada a necessidade de se diminuir esta porosidade, e conseqüente aumento da densidade aparente do agregado, uma vez que sob esta taxa atual de absorção, a taxa de ligante ótima obtida em misturas asfálticas com este agregado, era observada sempre muito elevada, o que encarecia a mistura com este tipo de agregado.

Sobre este assunto, destacam-se os estudos de Kandhal (1991) e Lee *et al.* (1990). Aditivos experimentais que foram incorporados à massa argilosa, tais como a cal, carvão mineral moído e óxidos alcalinos (elementos químicos fundentes) não comprovaram a efetiva diminuição da porosidade. Os resultados dos ensaios referentes à absorção dos agregados também estão sendo apresentados neste artigo, inclusive com a variação da temperatura e do tempo de queima.

### **3. A ALTERNATIVA DA INDÚSTRIA CERÂMICA**

A etapa que começou a fase experimental, tinha como intenção adquirir conhecimentos específicos sobre a linha de produção dessas indústrias, seus equipamentos, custos de produção, tipos de fornos e combustíveis empregados.

Tais conhecimentos, seriam então utilizados para a idealização e desenho de um projeto-tipo de usina de fabricação do agregado de argila calcinada, a ser proposto juntamente com a metodologia, de forma similar ao que foi elaborado pelo estudo do DNER para o agregado de argila expandida, mas sem o “anseio” de viabilizá-lo na prática, obviamente por motivos de recursos financeiros necessários à montagem de um projeto deste vulto.

Apesar dessa proposição (mesmo que somente teórica) já possuir alguma relevância a título acadêmico, com o andamento dessas visitas, foi vislumbrada uma outra possibilidade de produção, e conseqüentemente uma nova alternativa a ser considerada: a tentativa de efetuar uma produção experimental do agregado de argila calcinada, em uma unidade industrial convencional de peças cerâmicas.

Essa alternativa foi planejada, não somente pela dificuldade financeira e acadêmica citada, mas também devido às peculiaridades de diversos municípios localizados na região norte do país, que são atingidos pela conhecida escassez de ocorrências de jazidas rochosas, e não têm como dispor de um elevado aporte de recursos para a aquisição de uma usina pré-fabricada para a produção do agregado de argila calcinada.

Fato este já não se observa para uma unidade de produção de peças cerâmicas, que é usual em vários municípios, ou mesmo no caso de não existir, pode-se mais facilmente optar pela implantação de fornos e de olarias na região. Além disso, existe também o conhecimento da

reduzida demanda necessária para atender estes mercados locais em comparação aos grandes centros.

Foi então diante desses fatos, que a solução encontrada foi levada a efeito, e compôs uma linha de ação dentro da pesquisa, tendo o êxito esperado, essencialmente devido ao suporte fornecido por empresários cerâmicos que colaboraram e somaram esforços para atender esta nova opção. As Figuras 1 e 2 ilustram esta etapa da pesquisa.



**Figura 1:** Combustíveis alternativos das indústrias cerâmicas: queimadores para serragem e/ou gás natural

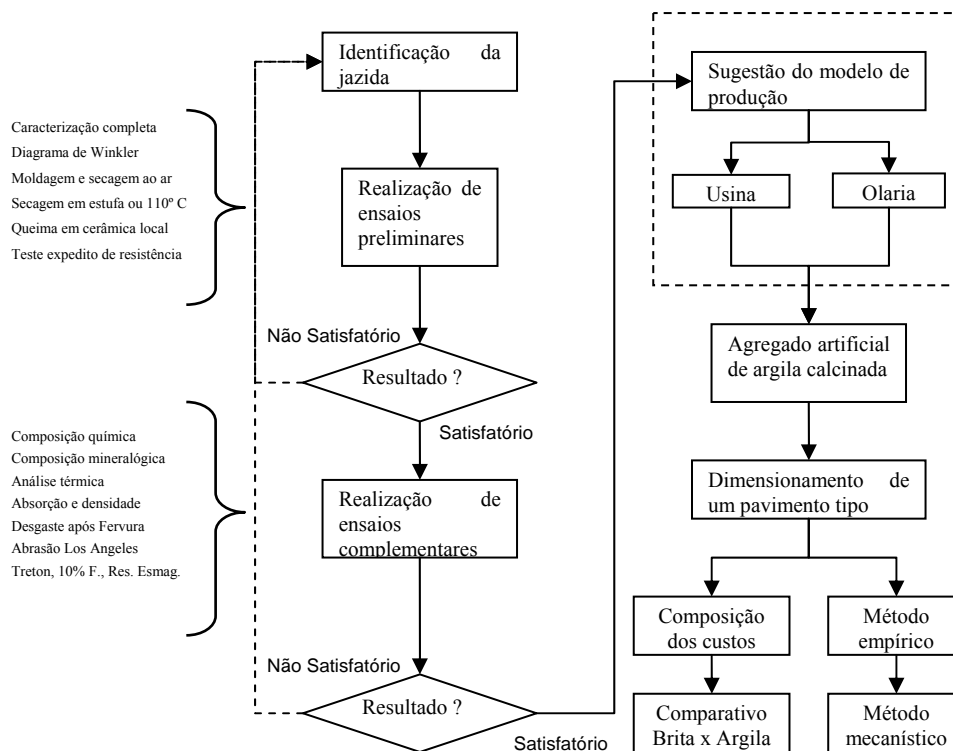


**Figura 2:** Unidade de pré-tratamento da serragem

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir deste levantamento efetuado, passou-se para a etapa de elaboração de uma metodologia que melhor representasse e pudesse avaliar as características da matéria-prima e do produto cerâmico produzido e ao mesmo tempo, obter as respostas deste produto como um agregado a ser empregado na pavimentação, em misturas solo-agregado e misturas asfálticas.

Apresenta-se então a metodologia sugerida, conforme mostrada pela Figura 3, com todas as etapas que envolvem o processo da escolha da matéria-prima, da produção e do emprego do agregado de argila calcinada. Vale lembrar que o principal objetivo desta formulação seria o de repassar o conhecimento e propiciar uma ferramenta de análise para o técnico local da região norte do país, que conviva com o problema da escassez do agregado pétreo durante a escolha dos materiais para o seu projeto viário.



**Figura 3:** Fluxograma das etapas de análise da matéria-prima, da escolha do modelo de fabricação do agregado de argila calcinada, e do seu emprego

Pelo fato desta metodologia não estar sendo considerada o assunto principal do presente artigo, não está sendo realizada uma elucidação completa de todos estes estágios do fluxograma apresentado. Entretanto, em Cabral (2005), é possível realizar uma leitura completa de todo este roteiro operacional para a avaliação da matéria-prima, produção e emprego do agregado de argila calcinada.

Para a fase de aplicação desta metodologia, obteve-se inicialmente uma amostra com 345 (trezentos e quarenta e cinco) quilogramas de solos argilosos, divididos em dois tipos: uma de coloração escura e de alta plasticidade, e outra amostra de coloração clara, com menor plasticidade, e com uma pequena fração silte em sua composição granulométrica. Ambas amostras são provenientes de jazidas de matéria-prima utilizada por olarias de Santarém (PA), para a fabricação de produtos cerâmicos tais como tijolos, blocos cerâmicos e telhas.

Com a visita ao pólo cerâmico de Santarém, a tecnologia da argila calcinada foi apresentada aos ceramistas (Figura 4), e a sua aceitação inicial foi praticamente unânime, uma vez que estava sendo mostrada não somente uma solução para um problema da engenharia local, mas também uma nova alternativa de mercado, com qualidade técnica comprovada através de seguidas pesquisas, e com um custo que seria absolutamente inferior ao consumidor final, em comparação à aquisição de agregados britados de rochas, provenientes de longas distâncias.

Acreditando que esta produção seria viabilizada a médio prazo, até com o intuito de não prejudicar o funcionamento normal das indústrias cerâmicas, em menos de 3 semanas houve um retorno positivo, sendo transmitida a informação de que já haviam sido fabricados aproximadamente 400 kg de agregados, já britados, prontos para serem enviados e avaliados

em laboratório. Registrava-se dessa forma, em julho de 2004, a primeira produção industrial (Figura 5) do agregado de argila calcinada, sob controle tecnológico, em uma unidade de produção de peças cerâmicas convencionais.



**Figura 4:** Amostra de agregado de argila calcinada produzido em laboratório do IME



**Figura 5:** Agregado de argila calcinada produzido em olaria de Santarém (PA)

Em seguida, foi efetuada uma simulação com a execução de todas as etapas seguindo o fluxograma da Figura 3, que proporcionou a aplicação da metodologia com os materiais (solos e agregados) oriundos de Santarém. Para melhor entendimento dos resultados obtidos, está listada a seqüência operacional desenvolvida, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Etapas de desenvolvimento da aplicação da metodologia

Item	Ação desenvolvida
1º	Ensaios preliminares com as amostras de solos.
2º	Ensaios complementares com as amostras de solos, constituindo-se da análise química, análise mineralógica, análise térmica diferencial e análise termogravimétrica.
3º	Confecção de agregados de argila calcinada em laboratório e posterior realização de diversos ensaios de verificação da resistência mecânica.
4º	Realização dos mesmos ensaios de resistência mecânica com amostras de brita do Rio de Janeiro.
5º	Proposição, planejamento e realização da produção experimental de 400 kg de agregados de argila calcinada em olaria de Santarém (PA), com solos similares aos que foram enviados para a confecção dos agregados em laboratório.
6º	Realização dos mesmos ensaios de resistência mecânica com as amostras de agregados de argila calcinada industrial e comparação.
7º	Estudo adicional da absorção e da porosidade dos agregados de argila calcinada.
8º	Análise dos custos envolvidos na produção experimental.
9º	Dosagem de mistura asfáltica com 100% de agregados de argila e avaliação do desempenho em laboratório.
10º	Estudo adicional da densidade da mistura asfáltica por diferentes métodos.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Apresenta-se então, uma síntese dos resultados obtidos na fase experimental. Cabe ressaltar, que as faixas de especificação sugeridas pela metodologia (que a matéria-prima ou os agregados devem atender), foram estabelecidas a partir da reunião de informações provenientes das normas consagradas pelo uso, além das recomendações procedentes de profissionais e literatura especializada referentes às áreas interdisciplinares, tais como a engenharia química e de materiais, principalmente no tocante às propriedades intrínsecas da matéria-prima argilosa.

### 5.1. Ensaios preliminares

Além das duas amostras de argilas, houve uma terceira amostra, que na verdade é a mistura das duas, com 50% em peso de cada argila. Tal representação visa elaborar uma mistura argilosa simulando o que é praticado nas olarias, e conseqüentemente, confeccionar o agregado de argila calcinada, com a mesma matéria-prima empregada nas indústrias cerâmicas de Santarém. Ela é dita sem adição, pois foram realizadas adições de materiais alternativos na sequência dos ensaios, para verificar a diminuição da absorção.

**Tabela 2:** Resultados da caracterização das amostras de solos de Santarém (PA)

	Pedregulho (%) (ABNT)	Areia grossa (%) (ABNT)	Areia Média (%) (ABNT)	Areia Fina (%) (ABNT)	Silte (%) (ABNT)	Argila (%) (ABNT)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Amostra escura	0	0	0,35	13,77	12,82	73,06	59,8	30,6	29,2
Amostra clara	0,07	0,02	1,55	31,58	4,86	61,92	45,6	25,2	20,4
Mistura sem adição	0	0,04	1,39	27,45	8,30	62,82	44,7	22,7	22,0

### 5.2. Ensaios complementares

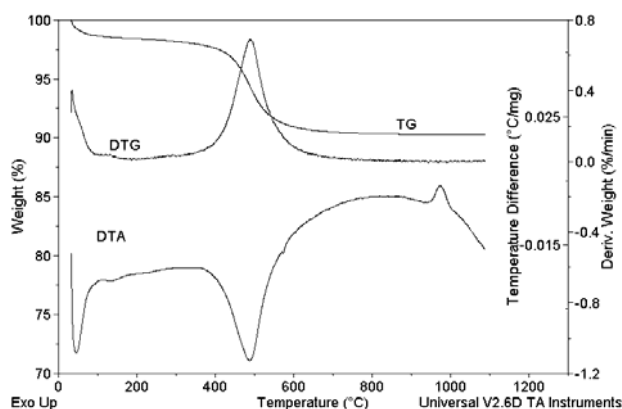
**Tabela 3:** Composição química pelos métodos EDS e Fluorescência

	P.F. (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Limite inferior da metodologia	0,10	15,00	11,90	0,08	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01
Mistura (EDS)	-	65,02	26,18	8,79	-	-	-	-	-
Mistura (Fluorescência)	9,92	57,26	25,96	3,60	0,19	1,08	-	-	0,92
Limite superior da metodologia	27,00	77,80	56,00	9,62	20,10	3,50	16,30	11,80	16,9

**Tabela 4:** Argilominerais presentes nas amostras provenientes de Santarém

Amostra	Argilominerais presentes	Argilomineral predominante
Amostra clara	Caulinita, Ilita ou Quartzo	Caulinita
Amostra escura	Caulinita e Ilita	Ilita
Mistura sem adição	Caulinita e Ilita	Caulinita

Além de estar de acordo com as proposições da metodologia, conforme o que fora encontrado na bibliografia sobre o assunto, a mistura dos dois tipos de argila apresenta os argilominerais mais propensos à formação de um agregado cerâmico em que a atuação dos elementos fundentes possa diminuir a porosidade e absorção do agregado de argila calcinada (Tabela 4).



**Figura 6:** Curvas da análise térmica diferencial e termogravimétrica

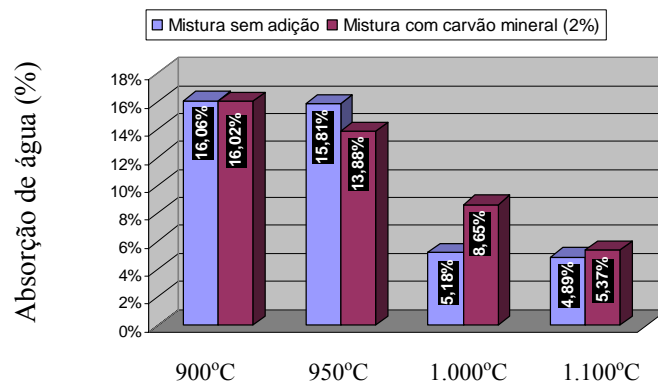
A Figura 6 representa as curvas termogravimétrica (TG), derivada termogravimétrica (DTG) e de análise térmica diferencial (DTA) da mistura contendo 50% de cada tipo de argila. Deve-se salientar o que ocorre com as curvas termogravimétrica (TG) e derivada termogravimétrica (DTG) após a temperatura de aproximadamente 500°C, ou seja, a perda de massa é praticamente irrelevante e este fato pode vir a acelerar o processo de queima na fase de produção após a passagem por esta temperatura, tendo em vista que não seriam ocasionadas trincas ou tensões internas ao agregado.

### 5.3. Verificação da resistência mecânica dos agregados

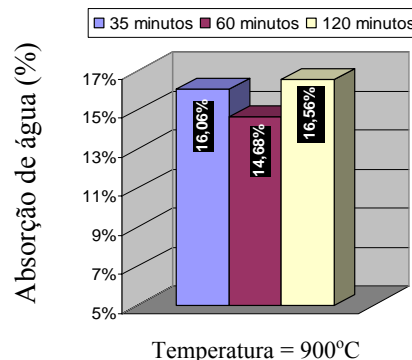
**Tabela 5:** Resultados dos ensaios de resistência mecânica com agregados de argila calcinada de laboratório, argila calcinada industrial e a brita comercial do Rio de Janeiro

Ensaio (Método de referência)	Argila calc. lab. (900°C – 35 min)	Argila calcinada industrial	Brita comercial (Rio de Janeiro)	Limites
DNER-ME 222/94: Agregado sintético de argila – desgaste por abrasão	30 %	28 %	47%	Menor que 50%
DNER-ME 225/94: Agregado sintético de argila – perda de massa após fervura	2,1%	1,2 %	-----	Menor que 6%
DNER-ME 197/97: Determinação da resistência ao esmagamento de agregados	23,5%	21,4%	27%	Menor que 40%
DNER-ME 081/98: Determinação da absorção e da densidade de agregados	16 %	11,3 %	0,90%	Absorção menor que
DNER-ME 096/98: Avaliação da resist. mec. pelo método dos 10% de finos	114 kN	106,1 kN	89 kN	Maior que 60 kN
DNER-ME 399/99: Agregados – perda ao choque no aparelho Treton	19 %	18,6 %	20 %	Menor que 60%
DNER-ME 400/99: Agregados – desgaste após fervura de agregado pétreo natural	-----	-----	2,4%	Menor que 6%

### 5.4. Estudo adicional da absorção e porosidade dos agregados

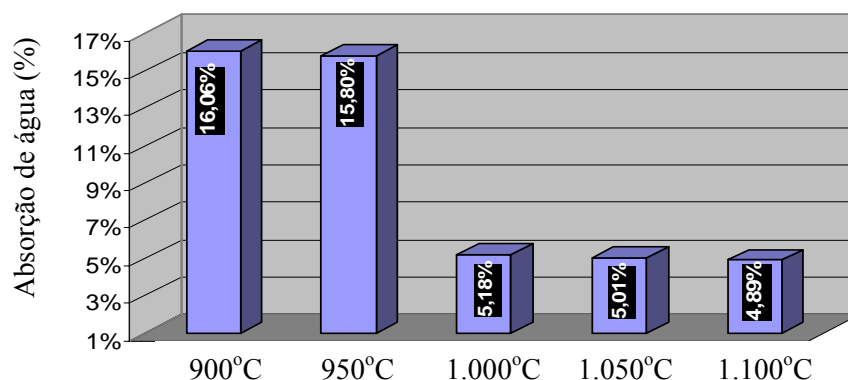


**Figura 7:** Variação da absorção do agregado de argila com carvão mineral moído



**Figura 8:** Variação da absorção de água com o tempo de queima

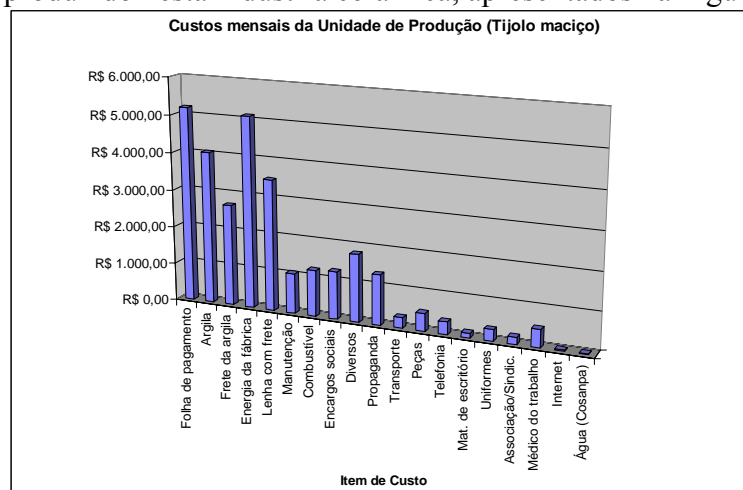




**Figura 9:** Variação da absorção de água com a temperatura de queima

### 5.5. Análise dos custos envolvidos na produção experimental

Para a previsão de um custo estimado da fabricação do agregado de argila calcinada, foram necessários alguns dados relativos do processo produtivo, bem como de uma planilha mensal composta dos custos da olaria, com informações de gastos diretos e indiretos relacionados a um tijolo maciço produzido nesta indústria cerâmica, apresentados na Figura 10.



**Figura 10:** Planilha de custos mensais da fabricação de tijolo maciço na olaria de Santarém

Sabendo que estas anotações são referentes (em peso) a uma produção de 486 toneladas de tijolos maciços no período de análise, e a partir de algumas considerações a respeito da transformação para volume de agregados britados, são efetuados os cálculos da Tabela 6:

**Tabela 6:** Custo estimado do agregado de argila calcinada produzido em olaria de Santarém

Custo/ton	=	R\$ 60,78
Massa específica aparente - $\mu_{ap}$ (ton/m <sup>3</sup> )	=	1,05
Fator de conversão (limite inferior)	=	0,25
Fator de conversão (limite superior)	=	0,60
Custo/m <sup>3</sup> (maciço)	=	R\$ 63,82
Custo/m <sup>3</sup> britado (limite inferior)	=	R\$ 51,06
Custo/m <sup>3</sup> britado (limite superior)	=	R\$ 39,89

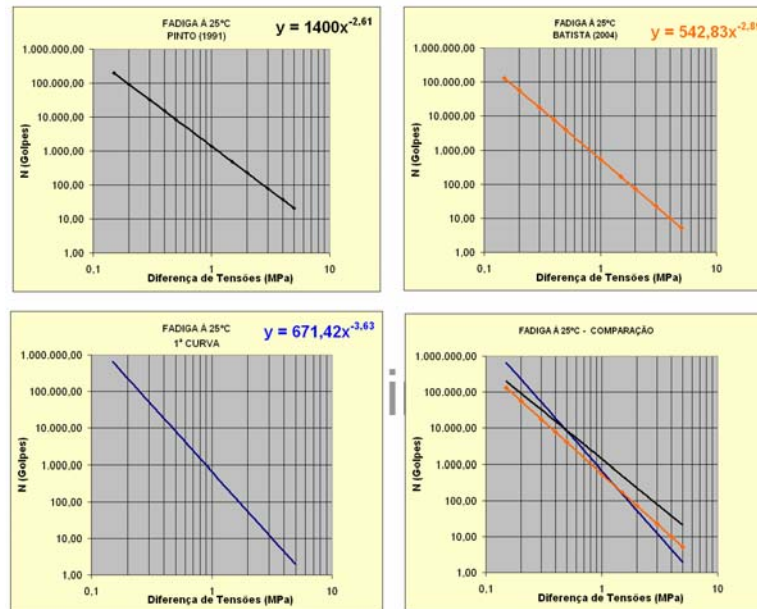
### 5.6. Dosagem, desempenho da mistura e análise da densidade (calculada e medida)

A dosagem da mistura, inicialmente obteve um teor ótimo de 8,7% de ligante e um volume de vazios de 4,4%, seguindo as especificações Marshall. O desempenho deste concreto asfáltico (com 100% de agregados de argila calcinada industrial), está na Tabela 7 e Figura 11.

Um outro objetivo do estudo das misturas asfálticas, era o de avaliar a confiabilidade do cálculo da densidade máxima teórica para as misturas (DMTC) com este tipo de agregado. A partir dessa intenção, ao analisar um CP com o teor de 8,7%, realmente havia a “desconfiança” de que o percentual de vazios não estivesse na faixa de 4% a 5%. Uma vez que o resultado da densidade aparente dos agregados foi confirmado por diversas tentativas (método DNER com média aritmética e ponderada; Louisiana - LDH 312/69), o provável erro só poderia estar no cálculo da densidade teórica da mistura. Sendo assim, foi elaborado um comparativo para a densidade da mistura (Figura 12), com a realização do método de Rice, que traz a medida das densidades através de ensaio (DMTM).

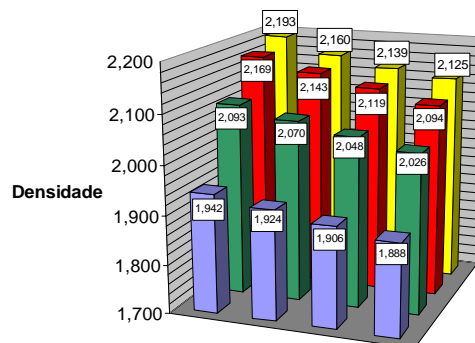
**Tabela 7:** Comparativo de desempenho de concretos asfálticos para a  $R_T$  e  $M_R$

Parâmetro	PINTO (1991) Concreto asfáltico com brita	BATISTA (2004) Concreto asf. c/ argila calcina de laboratório	Concreto asf. c/ 100% de agregados de argila calcina industrial
$R_T$ - 25°C (MPa)	0,81	0,65	0,76
$R_T$ - 30°C (MPa)	0,63	0,33	0,47
$R_T$ - 35°C (MPa)	0,42	0,22	0,33
$M_R$ -25°C (MPa)	3.520	2.086	3.225



**Figura 11:** Curvas de fadiga (literatura) x Mistura com 100% de agregados de argila calcinada

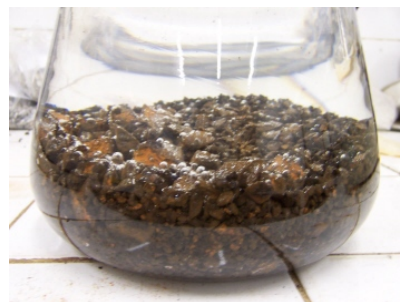
1a Alternativa (DMTC)LDH-312-69    2a Alternativa (DMTC)Média - Pond.  
3a Alternativa (DMTC)Média - Aritm.    4a Alternativa (DMTM)



**Figura 12:** Gráfico comparativo entre as alternativas de cálculo da densidade da mistura - Densidade máxima teórica calculada (DMTC) x Densidade máxima teórica medida (DMTM)



**Figura 13:** CP dosado apenas com CAP-20 e 100% de agregados de argila calcinada



**Figura 14:** Execução do ensaio de Rice (ASTM D 2041/00)

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- Os conhecimentos obtidos junto aos ceramistas, ratificaram a necessidade de se avaliar de forma conjunta: a composição química, a mineralogia e a análise térmica da matéria-prima.
- A matéria-prima que apresenta um significativo teor de elementos fundentes, ou ainda de óxidos alcalinos, assim como a presença de argilominerais do grupo das ilitas, caulinitas e montmorilonitas, pode propiciar um agregado com resistência similar ao agregado natural.
- A análise térmica (diferencial e termogravimétrica) constitui-se em uma ferramenta extremamente útil, para informar como deverá ser tratado termicamente o agregado.
- A respeito do estudo específico sobre a absorção, os materiais que foram incorporados, não proporcionaram significativa redução da absorção de água. Apenas com o aumento da temperatura, foi possível observar uma brusca redução.
- A hipótese de produção da argila calcinada em uma indústria cerâmica, consolidada durante as visitas, provou ser viável tecnicamente e extremamente vantajosa financeiramente.
- O agregado produzido na olaria apresentou resultados de resistência mecânica similares e até superiores aos observados em amostra de agregados britados de rochas do Rio de Janeiro. A partir da estimativa contábil desta produção experimental realizada em Santarém (PA), ficou demonstrado que a aquisição do m<sup>3</sup> de brita na região (acima de R\$110), ultrapassa 100% do custo por m<sup>3</sup> anotado na produção do “agregado de argila calcinada industrial”.
- A densidade (DMTC) obtida através da média aritmética das densidades reais e aparentes dos agregados, foi a que mais se aproximou da DMTM, considerada esta a mais “verdadeira”.
- As taxas de ligante obtidas com o agregado de argila calcinada (8% a 9%), aparentemente podem parecer elevadas quando comparadas às observadas nos concretos asfálticos empregados com o agregado natural (4% a 7%). O que deve ser lembrado e ratificado é a relação de massa e volume que diferem estas duas misturas em particular, e aí entende-se a espessura a ser observada na camada de revestimento do pavimento, que a princípio deve ser a mesma. Tomando como exemplo um corpo-de-prova Marshall convencional, em que para as misturas com a brita, observa-se em geral uma massa de 1.200g (espessura aprox. = 6cm), já para o concreto asfáltico preparado com a argila calcinada, a massa que corresponde ao mesmo volume, é de aproximadamente 900g, incluindo o ligante asfáltico. Ou seja, uma taxa de 8% de ligante em um concreto asfáltico de argila calcinada, corresponde em peso à uma taxa de 6,7% de ligante em um corpo-de-prova com 1.200g, e com a mesma espessura.
- Seguindo este raciocínio, e supondo que esta taxa de 6,7% elevaria em 1% uma taxa média de concreto asfáltico com brita (5,7%), deve-se lembrar agora da relação de custos entre a aquisição da brita na região do estudo, e o custo atingido com a produção experimental, relação esta acima de 100%. Considerando ainda que os agregados correspondem, em peso, a mais de 90% de ambas misturas asfálticas em questão, é trivial concluir a vantagem financeira

na adoção do concreto asfáltico com argila calcinada, lembrando terem sido atingidos resultados de desempenho similares nas duas misturas asfálticas.

→ Apesar da vantagem financeira já explicada em relação à aquisição da brita, as considerações feitas no cálculo estimativo proporcionaram uma majoração, e chegou-se a um custo médio de R\$ 45,00/m<sup>3</sup> para a argila calcinada. Segundo dados do proprietário da indústria responsável pela produção experimental, vários são os fatores que são capazes de prover uma acentuada queda deste valor. Entre elas, cita-se a mudança do sistema de queima para a serragem que tornaria ínfimo o custo de aquisição de combustível para a queima.

→ Assim como foi uma proposta desafiadora a tentativa acadêmica de realizar uma produção industrial do agregado de argila calcinada, a meta de se atingir em curto ou médio prazo algum trecho experimental com este material alternativo de pavimentação deve ser encarada com afinco e com caráter prioritário, para que seja possível propor esta solução à infraestrutura de transportes dos diversos municípios da região norte do país e desta forma capacitar a execução de empreendimentos viários que por outrora eram economicamente inviáveis, devido a conhecida escassez de jazidas de materiais pétreos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, J. (2000) *Análise de matéria-prima e composição de massa utilizada em cerâmica vermelha* (tese de doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.
- ASTM (2000) *ASTM D 2041-00 - Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures*. American Society for Testing and Materials.
- Batista, F. G. da S. (2004) *Caracterização física e mecânica de agregados de argila calcinada produzidos com solos finos da BR-163* (dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- Cabral, G. da L. L. (2005) *Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação* (dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1981) *Pesquisa de Viabilidade de Implantação da Fábrica de Argila Expandida na Região Amazônica – Relatório Final*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Divisão de Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ.
- FUNTAC (2001) *Projeto pedra de barro – Análise de viabilidade técnica e econômica*. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, Governo do Estado do Acre, Rio Branco, AC.
- Kandhal, P. S. e M. A. Khatri (1991) *Evaluation of asphalt absorption by mineral aggregates*. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report no. 91-4, Auburn University, EUA.
- Lee, D.Y.; J. A. Guin; P. S. Kandhal e R. L. Dunning (1990) *Absorption of asphalt into porous aggregates*. Strategic Highway Research Program. Washington, D.C., EUA.
- LDH (1969) *LDH TR-312-69 - Determination of specific gravity of coarse lightweight aggregate*. Louisiana Department of Highways.
- Melchhiades, F. G. e S. Pracidelli (1997) Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 12, p. 31-35.
- Motta, J. F. M.; A. Zanardo; M. C. Junior (2001) As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 2, p. 28-39
- Pinto, S. (1991) *Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentose* (tese de doutorado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ
- Santos, P. de S. (1992) *Ciência e tecnologia das argilas – volumes I e II* (2ª ed). Edgard Blücher, São Paulo.
- Vieira, C. M. F.; T. M. Soares e S. N. Monteiro (2003) Massa cerâmica para telhas: características e comportamento de queima. *Cerâmica Industrial*, v. 49, n. 312, p. 245-250.

---

Gustavo da Luz Lima Cabral (gustavo.llc@terra.com.br)

Comissão Regional de Obras da 1ª Região Militar – CRO/1

Palácio Duque de Caxias, 25 – Ala M. Dias – 5º andar – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Álvaro Vieira (alvaro@ime.eb.br)

Luiz Antônio Silveira Lopes (laslopes@ime.eb.br)

Instituto Militar de Engenharia – IME

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha – Rio de Janeiro, RJ, Brasil