

## CAPÍTULO 22

---

### APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DOS CALCÁRIOS DO CARIRI CEARENSE

*Francisco Wilson Hollanda Vidal<sup>1</sup>, Maria Angélica Batista Lima,  
Núria Fernandez Castro; Tácito Walber Gomes Fernandes*

#### RESUMO

O presente estudo é uma das atividades definidas no projeto “Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do Calcário do Cariri – CE”, com aporte financeiro do CT-Mineral, no âmbito do Convênio de Cooperação Técnico-Científico entre o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT e a Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Estado do Ceará – SECITECE, cujo objetivo principal é promover o desenvolvimento econômico-social da região do Cariri cearense. A extração dos calcários sedimentar e metamórfico constitui-se na principal atividade econômica dos municípios de Santana do Cariri, Nova Olinda, Altaneira e Farias Brito no Ceará, sendo a agropecuária uma atividade de subsistência. Esses calcários são explorados de forma rudimentar sem nenhum critério operacional quanto ao desmonte de rocha, resultando na produção de rejeitos, principalmente, da Pedra Cariri (calcário sedimentar). Apresentam-se aqui os resultados até então obtidos, no sentido de dar um aproveitamento econômico a esses materiais com incremento da renda dos produtores e a geração de mais emprego na região. A caracterização tecnológica revelou tratar-se de um material passível de ampla utilização se comparado aos padrões qualitativos exigidos para utilização industrial de minérios carbonáticos calcíticos. O estudo contemplou a aplicação dos rejeitos e minérios como: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), agregado para revestimento asfáltico, borracha, e argamassa. Em todos os testes realizados foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao seu emprego para os fins inicialmente propostos. A viabilidade econômica da aplicação dos rejeitos resultantes da lavra destes materiais é factível considerando sua aplicação em indústrias existentes na região, ou naquelas a serem implantadas a partir destes estudos.

Além destas, outras aplicações estão sendo pesquisadas, junto a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, piso tipo marmorite, produção de blocos para utilização em pavimentação e madeira prensada para indústria de móveis.

Palavras-Chave: Rejeitos, Calcário, Aplicações Industriais.

---

<sup>1</sup> Engenheiro de Minas, Ph.D. Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: fhollanda@cetem.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A extração do calcário sedimentar laminado, "Pedra Cariri", constitui-se na principal atividade econômica dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, no Ceará. Esse calcário, pertencente à Formação Santana e de idade cretácea, vem sendo explorado, por moradores, há cerca de 30 anos para aplicação como piso e revestimento de fachadas, na forma de lajotas. O fato da grande maioria dos produtores não dispor de nenhum tipo de mecanização, aliado a fatores como a estratificação em camadas de espessura variável e separadas por planos de descontinuidade, contribuiu para a geração de um grande passivo ambiental ao longo de todo este tempo, na região. O volume de perda chega a representar 70% da produção, e está contabilizado atualmente em 2,4 milhões de toneladas de rejeitos, depositados como entulho nas frentes de lavras, margens de estradas, próximos a drenos e córregos (Figura 1).

Atualmente, os rejeitos gerados na produção desta rocha têm seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo sua utilização mais nobre na composição de cimento da ITAPUÍ-Barbalhense Indústria de Cimento S/A, pertencente ao Grupo João Santos, onde são consumidas 10.000 toneladas/mês de rejeitos.

Situação semelhante ocorre com o calcário metamórfico de Altaneira e Farias Brito, municípios situados na mesma região. Trata-se de calcário cristalino, predominantemente cinza esbranquiçado com textura sacaroidal, granulação média a fina, aflorante de forma descontínua por uma extensão aproximada de 50km e com espessura variada, ora estreitando, ora atingindo até 500m. A extração deste minério é realizada a céu aberto e de forma rudimentar, sem nenhum critério operacional quanto ao desmonte da rocha (Figura 2). O minério lavrado é calcinado em caeiras artesanais, instaladas desordenadamente sem nenhuma preocupação ambiental, sendo os fornos bastante deficientes o que resulta num produto da cal de baixa qualidade (Figura 3).



**Figura 1:** Pilha de rejeitos da Pedra Cariri



**Figuras 2 e 3:** Extração e calcinação do calcário metamórfico

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos em estudos, até agora, realizados no sentido de dar um aproveitamento econômico a esses materiais, e em decorrência incrementar a renda dos produtores e gerar mais emprego na região. Da combinação de levantamentos bibliográficos, estudos de mercado e ensaios de caracterização para diversas aplicações, obti-

veram-se resultados muito satisfatórios para a utilização dos minérios e resíduos que, em conjunto com empresas da região, começam a ser industrialmente aproveitados.

## 2. ALTERNATIVAS DE APLICAÇÕES

Conquanto seja amplo o número de aplicações industriais e usos a que se prestam os calcários, direcionou-se esta pesquisa a partir dos resultados de caracterização tecnológica obtidos nos calcários sedimentar e metamórfico ponderando acerca da vocação local e da ampliação do leque de indústrias na região.

A caracterização tecnológica revelou tratar-se de um material passível de ampla utilização quando comparado aos padrões qualitativos exigidos para utilização industrial de minérios carbonáticos calcíticos. A Tabela I apresenta os resultados das análises químicas das amostras "head sample" dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito. A Tabela II mostra os resultados das análises químicas das amostras de rejeitos finos dos efluentes das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri. O estudo contemplou inicialmente a aplicação dos rejeitos e minérios como: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), como agregado em revestimento asfáltico e na formulação de argamassa.

**Tabela I:** Resultados das análises químicas das amostras "head sample" dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	Teor(%)										
		CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	SrO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Nova Olinda	42,5	53,9	0,78	1,16	0,270	0,81	0,027	0,041	0,046	0,069	0,19	0,045
Santana do Cariri	43,3	54,0	0,88	0,44	0,089	0,49	0,019	0,024	0,146	0,071	0,18	0,058
Altaneira	42,0	44,3	6,84	4,36	0,281	0,30	-	0,112	-	0,312	0,010	
Farias Brito	42,0	46,2	5,87	2,26	0,287	0,31	-	0,085	-	0,272	0,010	

(\*) Perda por calcinação – Fonte: Cetem, 2006

**Tabela II:** Resultados das análises químicas das amostras de rejeitos finos das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	R.I (**)	Teor(%)							
			CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
SC-01	41,4	0,37	53,8	1,0	1,6	0,32	0,66	0,46	0,02	<0,01
SC-02	41,6	0,35	54,5	1,1	0,75	0,16	0,44	0,69	<0,01	<0,01
SC-03	41,9	0,37	54,0	1,1	0,97	0,20	0,59	0,50	0,01	<0,01
SC-04	41,4	0,39	53,3	1,5	1,5	0,26	0,59	0,79	<0,01	<0,01
SC-05	41,9	0,31	52,7	1,7	1,6	0,14	0,62	0,59	0,01	<0,01
NO-01	42,3	0,34	53,4	1,4	0,68	0,16	0,60	0,86	<0,01	<0,01
NO-02	42,2	0,30	53,6	1,1	0,86	0,30	0,66	0,73	<0,01	<0,01

(\*) Perda por calcinação (\*\*)Resíduos insolúveis. Fonte: Cetem, 2006

Nas tabelas acima, pode-se observar que os calcários laminados de Santana do Cariri e Nova Olinda têm um alto conteúdo em carbonato de cálcio (em torno de 96%, considerando a relação estequiométrica  $\text{CaO}/\text{CaCO}_3$  que é 56/100) e baixos teores de contaminantes. Os calcários cristalinos, de Altaneira e Farias Brito, com maior conteúdo em MgO têm uma pureza menor com relação ao teor de carbonato de cálcio, apresentando porém, também, boas características para diversas aplicações.

Quanto à alvura, parâmetro importante para o uso de calcário em diversas aplicações, em testes realizados no CETEM, o cristalino deu bons resultados, porém, para o laminado obteve-se uma alvura muito baixa que não se conseguiu melhorar com tratamento com ditonito de sódio. Acredita-se que isto se deva à presença de argila, com ferro, dentro da estrutura cristalina do calcário, que não se elimina na queima do mesmo.

### 2.1 Revestimento Asfáltico

O mais recente estudo da CNT - Confederação Nacional do Transporte revelou que 80% das estradas em piores condições de tráfego encontram-se no Nordeste brasileiro. Para reversão deste quadro faz-se necessário o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que proporcionem o barateamento da construção e manutenção das estradas. Este processo passa pelo reaproveitamento de materiais que possam ser usados em revestimentos e que hoje se encontra desperdiçado na forma de rejeito, gerando passivo ambiental. Neste sentido foram realizados no CETEM (Ribeiro, 2006), apenas com os calcários de Farias Brito e Altaneira, os ensaios descritos a seguir, porque os calcários laminados, como o próprio nome indica são muito friáveis e pulverulentos para esse tipo de aplicação.

**Análise granulométrica:** As curvas granulométricas obtidas apresentaram comportamentos semelhantes nas frações mais finas do material, onde se verificou uma razoável aproximação da granulometria obtida com aquela recomendada pela faixa C do DNER. Nas demais frações observaram-se um maior distanciamento entre a curva obtida e a faixa especificada, principalmente nas frações entre as peneiras 3/8 e N°200, onde o material se mostrou excessivamente graúdo. Para que se possa utilizar o material em estudo como agregado para pavimentação é necessário misturá-lo a outros materiais pétreos de menor granulometria, como areia de campo e pó de pedra, de modo a enquadrá-lo na curva especificada.

**Índice de forma (ABNT, 1983):** Os valores obtidos dos índices de forma dos agregados de Farias Brito  $f=0,76$  e Altaneira  $f=0,75$  são considerados bons, uma vez que o limite mínimo do fator de cubicidade é  $f \geq 0,50$ .

**Massa específica do agregado graúdo:** A massa específica seca do agregado graúdo proveniente de Farias Brito e de Altaneira tiveram um valor médio de  $2,66\text{g}/\text{cm}^3$  e  $2,69\text{g}/\text{cm}^3$ , respectivamente, enquanto que para a massa específica saturada seca os valores encontrados foram de  $2,68\text{g}/\text{cm}^3$  e  $2,76\text{g}/\text{cm}^3$ . Esses valores estão dentro dos limites preconizados pela NBR 9937/87. O valor médio de absorção foi de 0,78%, para a amostra proveniente de Farias Brito e de 0,39% para a amostra de Altaneira.

**Adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso:** os resultados dos ensaios foram satisfatórios, atingindo um perfil para utilização dos agregados na pavimentação. A classificação de adesividade no ensaio pelo método RRL, foram consideradas satisfatórias usando

CAP50/60 e 0,75% de DOPE (PETRODOPE), ou seja, não se observou qualquer deslocamento da película betuminosa que cobre o agregado.

**Resistência ao choque e ao desgaste por abrasão Los Angeles (DNER, 1998):** os agregados apresentaram boa resistência, possuindo dureza suficiente para resistir à degradação provocada pelos equipamentos de compactação, durante a construção do pavimento, e pela ação do tráfego e clima da região, durante sua vida útil. Verifica-se que os valores encontrados de 26,76%, para Farias Brito, e de 36,52%, para Altaneira, ficaram abaixo do valor máximo recomendado pelas especificações do DNIT que é de 40%. Este resultado credencia, com relação ao desgaste, a utilização como agregado para misturas asfálticas.

**Avaliação da durabilidade:** o ensaio de durabilidade por ataque com sulfato de sódio apresentou resultados satisfatórios. Os valores de perda de 0,5%, no material de Altaneira, e de 0,6%, no de Farias Brito, encontram-se bem abaixo do valor limite estabelecido de 12%.

Os dois materiais estudados podem ser utilizados como agregados graúdos em revestimento asfáltico, visto que os ensaios mostraram um bom comportamento mecânico das duas amostras, tendo os materiais sido aprovados em todas as especificações do DNIT para agregados graúdos para pavimentação (Ribeiro, 2006 e NUTEC, 2005). Contudo há de se fazer correção granulométrica de modo a atender aos limites da faixa recomendada pelo DNIT. As misturas realizadas com esses agregados também se mostraram satisfatórias uma vez que atenderam as especificações de volume de vazios, relação betume-vazios, fluência e estabilidade.

## 2.2 Calcário Agrícola

O calcário tem importante papel na agricultura, seja corrigindo a acidez do solo, seja como fonte de cálcio e magnésio para o solo.

A grande maioria dos solos brasileiros é ácida, com grandes concentrações de íons hidrogênio e/ou alumínio. A acidez dos solos promove também o aparecimento de elementos tóxicos para as plantas (Al, Mn e Fe) além de causar a diminuição da presença de nutrientes para as mesmas. Faz-se necessária, então, uma correção até a neutralidade, de modo que o solo possa fixar mais o fósforo, permitindo assim que as plantas adquiram uma maior produtividade. A correção diminui a perda de nutrientes por lixiviação e evaporação, que segundo estudos da EMBRAPA, chega a 20% dos nutrientes consumidos como fertilizantes, quando aplicados a solos ácidos (EMBRAPA).

A correção do pH do solo é realizada mediante a adição de calcário junto com gesso agrícola, em uma operação denominada de calagem. No entanto, para que essa seja eficiente é necessário que ela seja feita pelo menos três meses antes do plantio e/ou adubação.

A qualidade do calcário corretivo depende, basicamente, do seu Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). O PRNT é baseado no teor de carbonatos presentes na rocha calcária (Poder de Neutralização) e no tamanho das partículas (granulometria). O PRNT determina a eficiência do calcário: quanto menor o PRNT, maior será a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez de um determinado solo.

Os calcários de Farias Brito, Altaneira e Rejeitos da Pedra Cariri pelas suas composições calcíticas poderiam comprometer sua aplicação como corretivo de solo, em função de seu baixo teor de magnésio, no entanto a adição de outro mineral (produto) com maior teor de óxido de magnésio permite a formação de um MIX que atenda as especificações. Neste trabalho sugere-

se a formulação de um MIX composto por calcário, magnesita e gipsita (gesso agrícola), este último em razão da sua abundância na região e de seu elevado teor de MgO, notadamente em Santana do Cariri.

A magnesita é um importante mineral industrial utilizado na produção de óxido de magnésio, cujas aplicações são quase que exclusivamente sob a forma de magnésia obtida a partir da sua calcinação. A magnesita calcinada cáustica é empregada como fertilizante de solos ou na alimentação animal (ração balanceada). Como fertilizante, o óxido de magnésio tem a função de suprir a necessidade das plantas em magnésio, que é um metal presente no complexo alimentar do ciclo da clorofila.

O gesso, por sua vez, dissolve mais rápido em solos do que em soluções puras, porque na interface sólido-líquida do solo ocorrem diversas reações que tem importância no comportamento deste material. Quando usado como melhorador de solos, os tratamentos com gesso agrícola tem resultado notáveis, aumentado a produção numa grande variedade de culturas. Em solos com deficiência de cálcio associado ou não à toxidez do alumínio, o gesso agrícola corrige a acidez no solo e a deficiência de cálcio permitindo o crescimento das plantas. A atuação do gesso, também, ativa a vida microbiana do solo e aumenta a resistência das plantas a pragas, doenças e períodos de estiagem.

De acordo com NUTEC (2005), as amostras de calcário, magnesita *in natura*, magnesita calcinada, e gesso agrícola foram preparadas em diferentes proporções e analisadas pela EMBRAPA, com a finalidade de verificar o teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio (Tabela III).

**Tabela III:** Resultados das análises químicas das diferentes composições do MIX.

	% CaO	%MgO
<b>CALCÁRIO FARIAS BRITO</b>	<b>42,72</b>	<b>8,89</b>
Magnesita <i>in Natura</i>	1,83	44,77
Magnesita Calcinada	1,82	54,91
70% Farias Brito + 30% Magnesita <i>in Natura</i>	30,45	19,65
75% Farias Brito + 25% Magnesita Calcinada	32,49	20,40
<b>CALCÁRIO ALTANEIRA</b>	<b>52,70</b>	<b>1,49</b>
60 % Altaneira + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	32,35	18,80
<b>REJEITO DA PEDRA CARIRI</b>	<b>51,47</b>	<b>1,11</b>
60% Rejeito + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	31,61	18,58
70% Rejeito + 30% Magnesita Calcinada	36,57	17,25
<b>GESSO AGRÍCOLA</b>	<b>28,76</b>	<b>1,75</b>
50% Farias Brito + 30% Magnesita + 20% Gesso Agrícola	27,66	18,23
50% Farias Brito + 30% Magnesita Calcinada + 20% Gesso Agrícola	27,66	21,27
50% Altaneira + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	31,29	16,68
50% Altaneira + 35% Magnesita Calcinada +15% Gesso Agrícola	31,30	20,23
50% Rejeito + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	30,69	16,49
50% Rejeito + 35% Magnesita Calcinada + 15% Gesso Agrícola	30,69	20,04

Fonte: NUTEC, 2005

Para o Ministério da Agricultura o calcário agrícola deve atender a duas características básicas, a saber (NUTEC, 2005):

- A soma dos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) deve ser superior a 38 %;
- O corretivo deve passar 100 % em peneiras com 2 mm (10 mesh) de abertura e pelo menos 50 % na peneira com 0,3 mm (50 mesh) de abertura.

Contudo o mercado agrícola é mais exigente em relação às características químicas do calcário, preferindo os corretivos de solo que apresentam:

- No mínimo 10 % MgO, sendo dada primazia àqueles que apresentam mais de 15 % MgO;
- Uma soma de % CaO e % MgO mínima de 48 % e um baixo teor de Ferro e Alumínio.

Todas as formulações propostas, nesta pesquisa, para elaboração do MIX atenderam satisfatoriamente as especificações estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, e somente duas delas não atenderam às exigências procedentes do mercado agrícola.

### 2.3 Ração Animal

O calcário calcítico, utilizado como ração animal, atua basicamente como fonte de cálcio, substituindo os silicatos inertes prejudiciais à digestão das aves. Os compostos de fósforo e cálcio somam em torno de 75% das substâncias componentes do organismo animal e 90% do seu esqueleto.

A velocidade de absorção de cálcio é função direta do tamanho das partículas, isto é quanto menor for o tamanho da partícula, mais rápida será a sua absorção pelo organismo dos animais. A Tabela IV apresenta as características físico-químicas requeridas para utilização de calcário como matéria-prima de rações.

**Tabela IV:** Características físico-químicas dos calcários utilizados como matéria-prima de rações

Substância / Propriedade	Valor
CaO (mínimo)	36 %
MgO (máximo)	1,5 %
K <sub>2</sub> O (máximo)	1 %
F (máximo)	3 %
As (máximo)	4 ppm
Pb (máximo)	20 ppm
Umidade (máxima)	3 %
Tamanho das partículas	100% < 74 µm (200 malhas)

Fonte: Mineropar

Os consumidores de calcário na aplicação de nutrientes animais por vezes desconhecem as características do mineral. É oportuno, portanto, fornecer informações básicas para melhor conhecimento dos tipos de produtos a serem aplicados. O objetivo principal da análise dos alimentos é o de se conhecer a composição química, além de verificar a identidade e pureza, sejam elas de natureza orgânica ou inorgânica.

Dispomos no presente trabalho de dados referentes à composição química dos calcários de Farias Brito, Altaneira e Rejeitos da Pedra Cariri (NUTEC, 2005), objetivando sua aplicação como matéria-prima para rações (Tabela V).

**Tabela V:** Composição química de amostras provenientes dos Rejeitos da Pedra Cariri (Nova Olinda e Santana do Cariri), e das jazidas de Farias Brito e Altaneira.

Determinações	Farias Brito	Altaneira	Rejeito da pedra Cariri
Oxido de Cálcio (% CaO)	42,74	50,68	51,51
Oxido de Magnésio (% MgO)	8,92	1,49	1,11
Sílica ( % SiO <sub>2</sub> )	1,25	0,75	3,80
Ferro ( % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,26	0,12	0,82
Perda por calcinação a 1000 °C (%)	41,50	39,18	42,69

Fonte: NUTEC, 2005

Os calcários analisados são calcíticos e, quando finamente britados e passados em peneira de 80 a 325 mesh, podem ser usados como complemento de sais minerais em várias rações para aves ou para pecuária. Sugere, então, a utilização direta dos rejeitos finos das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri, obtidos a partir da implantação dos tanques de decantação nestas áreas.

Para este fim são usados quase unicamente calcários calcíticos com os seguintes teores:

- CaO = 50% (Teor mínimo)
- MgO = 1,5% (Teor Máximo)
- SiO<sub>2</sub> = 1,5% (Teor Máximo)

O teor de sílica em algumas rações é limitado, embora isso não se constitua numa objeção maior, uma vez que não é regra geral. Assim sendo, o Rejeito da Pedra Cariri tem indicação para aplicação como matéria-prima na produção de ração animal.

Foram, ainda, realizadas análises químico-bromatológicas, no Laboratório de Nutrição Animal pertencente à UFC-Universidade Federal do Ceará, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela VI.

**Tabela VI:** Características químico-bromatológicas de amostras *in natura* dos Rejeitos da Pedra Cariri, de Farias Brito e Altaneira.

Determinações	Farias Brito	Altaneira	Rejeito da Pedra Cariri
Matéria Seca ( %)	100	100	100
Cinza ou Matéria Mineral ( %)	76,17	75,80	71,72

Fonte: NUTEC, 2005

A determinação da Matéria Seca é ponto de partida na análise dos alimentos, uma vez que a preservação dos mesmos pode depender do teor de umidade presente no material, sendo por esta razão um fator importante na comparação do valor nutritivo entre dois ou mais alimen-

tos. Além disto, é um fator utilizado na comparação do resultado de análises realizadas em diferentes épocas, locais ou regiões, ou seja, como partindo do pressuposto que o alimento continha 100% de matéria seca.

A Cinza ou Matéria Mineral é o produto que se obtém após o aquecimento de uma amostra, á temperatura de 600°C, durante quatro horas ou até a combustão total da matéria orgânica. Sua determinação fornece indicação da riqueza em cálcio e fósforo do alimento analisado.

As amostras analisadas, neste trabalho, mostraram-se ricas no macro-elemento cálcio que desempenha, no organismo animal, funções imprescindíveis ao desenvolvimento normal. São essenciais à formação de tecido ósseo, atuam no equilíbrio ácido-base do organismo e na formação dos dentes. O cálcio está envolvido no mecanismo da coagulação do sangue e na regulação do ritmo cardíaco.

#### 2.4 Cerâmica (Esmalte)

O calcário é usado como fundente na indústria de cerâmica e de vidro com a função básica de fase vítrea, ou de diminuir a temperatura de formação desta na participação com outros componentes de maior grau de refratariedade. Na indústria de cerâmica e de vidro os materiais fundentes empregam o calcário em grandes concentrações, o que resulta na redução dos custos destes materiais tornando-os relativamente baixos. Em consequência os fundentes são materiais intimamente ligados aos benefícios econômicos tanto como ganho energético como no aumento da produtividade nos processos industriais.

O calcário é bastante utilizado como fundente na composição do esmalte cerâmico, uma vez que a opacificação apresentada beneficia na diminuição da condutividade elétrica e, conseqüentemente, na eliminação de poros reduzindo a absorção.

Nesta pesquisa (NUTEC, 2005) vislumbrou-se o emprego dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito na formulação de esmaltes cerâmicos. Foram, então, realizados testes na CELENE-Companhia Eletrocerâmica do Nordeste, cujos resultados encontram-se apresentados nas Tabelas VII e VIII.

**Tabela VII:** Composição do esmalte para cada amostra calcária.

FELDSPATO	59%
QUARTZO	14%
CAULIM	10%
CALCÁRIO	16%
ÁGUA	660 ml

Fonte: NUTEC, 2005

**Tabela VIII:** Resultados dos testes com esmalte formulado para cada amostra calcária, para uso em temperatura de 1280°C.

AMOSTRA	DENSIDADE (° Bé)	COR APÓS QUEIMA
Calcário de Farias Brito	40	Branco transparente
Calcário de Altaneira	36	Branco transparente
Rejeitos da Pedra Cariri	40	Bege Brilhante Opaco

Fonte: NUTEC, 2005

A utilização do calcário da região do Cariri cearense na formulação de esmalte para indústria cerâmica mostrou-se viável diante dos resultados obtidos após a queima dos corpos-de-prova.

### 2.5 Formulação de argamassa

Os estudos para uso do rejeito do calcário do Cariri na formulação de argamassa, conduzidos pela Universidade Federal de Pernambuco, concluíram que é viável sua utilização em substituição de uma parte de areia ou cimento (Silva, 2008). No primeiro caso, substituindo diferentes traços de areia por rejeito de calcário laminado, os ensaios demonstraram uma ligeira perda de resistência à compressão a partir do sétimo dia independentemente da quantidade de calcário adicionado (Tabela IX). No segundo caso, onde diversas proporções de cimento foram substituídas pelo rejeito do calcário laminado, os ensaios mostraram que o uso do calcário no lugar do cimento produz uma perda na resistência à compressão, porém, essa resistência não diminui a partir do sétimo dia de cura, o que não compromete seu uso na fabricação de argamassa (Tabela X).

**Tabela IX:** Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adição	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,73 Mpa	18,99 Mpa	17,24 Mpa
2 / 5%	9,49 Mpa	14,24 Mpa	16,49 Mpa
3 / 10%	11,42 Mpa	19,24 Mpa	14,24 Mpa
4 / 15%	14,99 Mpa	18,49 Mpa	14,24 Mpa
5 / 20%	16,23 Mpa	13,74 Mpa	13,49 Mpa
6 / 25%	14,74 Mpa	13,99 Mpa	15,74 Mpa

Fonte: Silva, 2008

**Tabela V:** Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adiação	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,62 Mpa	15,44 Mpa	19,94 Mpa
2 / 5%	12,77 Mpa	13,64 Mpa	13,57 Mpa
3 / 10%	10,28 Mpa	13,74 Mpa	13,52 Mpa
4 / 15%	13,27 Mpa	13,19 Mpa	15,37 Mpa
5 / 20%	8,82 Mpa	10,49 Mpa	14,54 Mpa
6 / 25%	7,50 Mpa	10,49 Mpa	10,83 Mpa

Fonte: Silva, 2008

## 2.6. Composição de borracha e E.V.A.

Foram realizados também ensaios para o uso do rejeito do calcário laminado do Cariri cearense como carga industrial na produção de diversos tipos de borracha. A Universidade Federal de Pernambuco conduziu dois deles; um para uso na fabricação de sandálias tipo havaianas e um outro para a borracha para pneus. Os estudos, ainda não finalizados, mostraram um comportamento não satisfatório em ambos os casos, aparentemente pelo excesso de CO<sub>2</sub> produzido durante a queima do material (Rolim Filho, 2007). No mesmo relatório da UFPE aponta-se, porém seu possível uso em borrachas de tipo esponjosas, sempre em granulometria menor que 60 malhas.

Por outro lado, a indústria IBEVA Ltda. (Figura 2), na zona industrial da região, obteve sucesso na utilização do rejeito de calcário laminado do Cariri, na fabricação de diversos tipos de EVA e borracha para sandálias de tipo havaianas (30% da carga utilizada corresponde ao calcário). A única restrição que o rejeito apresenta, de acordo com a indústria, é sua inviabilidade para a fabricação de materiais na cor branca, o que corrobora os testes do CETEM, em que o calcário laminado apresenta baixa alvura, mantendo sua cor creme característica inclusive após a queima.

## 2.7 Aglomerado para madeira industrial

A UFPE testou também o uso do rejeito como carga no fabrico de madeira artificial, aglomerado de bagaço de cana ou lasca de madeira, associado a um aglomerante a úmido, co a finalidade de eliminar a inflamabilidade do bagaço de cana quando submetido a alta temperatura. De acordo com Rolim Filho (2007), os testes resultaram em um material (madeira industrial) que, em um curto espaço de tempo, apresentou manchas, possivelmente derivadas do ferro das argilas contidas no calcário, o que representa um problema para esse tipo de utilização.

### 3. CONCLUSÕES

Nos testes realizados, até o presente, com as amostras dos dois tipos de calcários da região do Cariri foram obtidos resultados satisfatórios em relação ao seu emprego para os fins inicialmente propostos: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), argamassa, agregado para revestimento asfáltico e outros.

No caso específico do rejeito do calcário laminado, que representa um problema devido à grande quantidade acumulada ao longo de mais de 30 anos de exploração das pedreiras, a viabilidade de seu uso em diversas aplicações demonstrada em laboratório, já deu resultados positivos com a instalação de uma fábrica de calcário industrial, a FORTECAL, que comercializa esse calcário moído para ração animal e testa seu uso em outras indústrias da região, como é o caso da IBEVA. A própria FORTECAL tem realizado outros ensaios para ampliar sua oferta de produtos e está ampliando suas instalações, atualmente restringidas a uma usina de moagem e ensacagem, para construir uma planta de micronização e uma de produção de argamassa (Figura 3). Esta indústria, inclusive, possui um direito minerário, no município de Farias Brito, para a exploração de calcário cristalino, tendo optado, por enquanto pelo uso do rejeito do laminado, como opção mais econômica. Outros contatos estão sendo feitos para a realização de testes, importantes para uma indústria que não conta com fornecedores locais de calcário, sendo obrigada a adquirí-lo em outros estados, encarecendo seu processo produtivo.



Figura 4: Interior da fábrica IBEVA Ltda.



Figura 5: Vista externa da FORTECAL Ltda.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9937/87: Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7809/83: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1963) - Agregados – Análise Granulométrica de Agregados. DNER-ME 83/63.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1964) Métodos de Ensaio – Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso (R.R.L.). DNER-ME 55/64.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1964) Métodos de Ensaio – Avaliação da durabilidade de agregados pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio. DNER-ME 89/64.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1998) Métodos de Ensaio - Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”. DNER-ME 35/98
- CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (Brasil). Ministério da Ciência e Tecnologia. RT2006-041-00 – Projeto arranjo produtivo local de base mineral: Calcários da região do Cariri cearense. Caracterização Geológica e Tecnológica dos Calcários da região do Cariri cearense. Relatório Técnico do Projeto APL de acordo com o convênio FINEP/FUNCAP n. 2678/2004. Rio de Janeiro, novembro de 2006.
- CNT - Confederação Nacional do Transporte - Pesquisa rodoviária 2006: relatório gerencial – Brasília:2006. 156p.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná - Caracterização tecnológica de rochas calcárias para corretivo de solos. [www.pr.gov.br/mineropar/html/rocha/carctcorretivo.html](http://www.pr.gov.br/mineropar/html/rocha/carctcorretivo.html), em 18/04/2007.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná - Caracterização tecnológica de rochas calcárias para utilização em ração animal. [www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/pano-ramaeanalise](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/pano-ramaeanalise), em 18/04/2007
- NUTEC – Núcleo de tecnologia industrial – Relatório de ensaios de caracterização tecnológica dos calcários do Cariri cearense, elaborado pela Eng. Química Maria Valcleir inhares Lessa, Relatório Interno elaborado para o CETEM/MCT – Fortaleza, 2005.
- Ribeiro, R.C.; Guedes Correia, J. C.; Seidl, P. R.; Soares, J. B.; Vidal, F. W. H.; e Araújo, L. P, - Utilização do Calcário do Cariri Cearense como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica – Série Tecnologia Mineral – CETEM, núm. 86. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2006.
- Rolim Filho, J. L.; Silva, A. D. A – Resultados preliminares de ensaios de aplicações industriais dos rejeitos do calcário laminado do Cariri – relatório interno elaborado para o CETEM/MCT,2007.
- Silva, A. D. A.; Rolim Filho, J. L.; Barros, M. L. S.; Lira, B. B.; Souza, J. C - aproveitamento de rejeito de calcário do cariri cearense na formulação de argamassa – Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal – RN, 15-18 novembro, 2007. CETEM/MCT; Rio de Janeiro, em fase de publicação (2008).