

CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO (LATERITA) DA ILHA DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO: UMA DISCUSSÃO DO POTENCIAL PARA USO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

LATERITICAL FERRUGINOUS CONGLOMERATE (LATERITA) FROM THE ISLAND OF SÃO LUÍS DO MARANHÃO: A DISCUSSION OF THE POTENTIAL FOR USE IN CONCRETE OF PORTLAND CEMENT

JOSÉ EDWARD DE OLIVEIRA

Universidade Federal do Rio de Janeiro, edward.oliveira@gmail.com

OTTO CORRÊA ROTUNNO FILHO

Universidade Federal do Rio de Janeiro, otto@coc.ufrj.br

RESUMO

O estudo versa sobre as características de um determinado tipo de laterita, denominado conglomerado ferruginoso laterítico (agregado pétreo), do ponto de vista químico, físico, mecânico e geológico. Nesse estudo foram executados, ao final, ensaios em corpos de prova em concreto de cimento Portland aproveitando a laterita de melhor qualidade existente em São Luís no estado do Maranhão, com objetivo de se obter a resistência máxima atingida usando esse tipo de agregado. Justifica-se como sendo de melhor qualidade, o conglomerado ferruginoso laterítico pelo fato dessa rocha apresentar quando britada uma curva granulométrica mais perfeita, quando comparada a curva teórica de "Füller". Ao estudo foi dado ênfase em primeiro plano as características do material, com base na geologia de engenharia, que o fez destacar de outros estudos, pelo fato de ter sido utilizado a rocha laterítica (agregado), tal como saiu do britador com mandíbulas reguladas com aberturas de 50,8 mm, ou 2", 38,1 mm, ou 1½" e ainda 25,4 mm ou 1", fornecendo nesta britagem, tanto os agregados graúdos como os agregados finos, quando britado, conforme pode ser verificado nas curvas granulométricas apresentadas na figura 10. O conglomerado ferruginoso laterítico (agregado), depois de britado, revelou a forte influência do grau de alteração da rocha no comportamento da granulometria após britagem, o que permitiu corrigir a curva granulométrica com frações granulométricas da mesma rocha, para obtenção de resistência máxima à

ABSTRACT

The study deals with the characteristics of a particular type of laterite, called lateritic ferruginous conglomerate (stone aggregate), from a chemical, physical, mechanical and geological point of view. In this study, in the end, tests were carried out on test specimens in Portland cement concrete taking advantage of the best quality laterite in São Luís in the state of Maranhão, in order to obtain the maximum strength achieved using this aggregate. The lateritic ferruginous conglomerate is justified as being of better quality due to the fact that this rock presents a more perfect granulometric curve when crushed, when compared to the theoretical "Füller" curve. The study emphasized the characteristics of the material in the foreground, based on the engineering geology, which made it stand out from other studies, due to the fact that lateritic rock (aggregate) was used, as it left the crusher with regulated jaws with openings of 50.8 mm, or 2", 38.1 mm, or 1½" and still 25.4 mm or 1", providing in this crushing, both coarse and fine aggregates, when crushed, as can be verified the granulometric curves presented in figure 10. The lateritic ferruginous conglomerate (aggregate) after crushing revealed the strong influence of the degree of change of the rock on the behavior of the post-crushing granulometry, which allowed to correct the granulometric curve with granulometric fractions of the same rock, to obtain maximum resistance to simple axial compression tested on the concrete specimen due to a better geometric arrangement of particles and

compressão axial simples, testada no corpo de prova do concreto, devido a uma melhor arranjo geométrico das partículas e conseqüente menor índice de vazios no corpo de prova do concreto, atingindo valores de resistência a ruptura entre 31,1 a 34,2 MPa, com duas variáveis de traço 1:4 - 1:6 e a fator (a/c) água cimento 0,45 - 0,50 respectivamente. Essa rocha/agregado atingiu resistência individual a ruptura entre 29,1 a 42,3 MPa revelando a grande heterogeneidade da rocha. A composição química da rocha realizada através da via úmida e fluorescência são coerentes apresentando valores de SiO_2 variando de 8,0 a 8,8 e Fe_2O_3 variando de 75,6 a 75,6%, tabelas 1 e 2.

Palavras-chave: Rocha sedimentar cimentada por óxidos ferruginosos usada como agregado em concreto de cimento Portland; Laterita na construção civil; Concreto laterítico.

1 INTRODUÇÃO

O concreto laterítico já é bastante conhecido no Brasil e no exterior e aceito na construção civil mundial, como sendo aquele concreto que utiliza a rocha laterítica ou simplesmente laterita, como brita e deve ser abordado como um agregado não convencional para uso no concreto de cimento Portland, em substituição ao agregado convencional, CHAGAS FILHO (2005).

No presente estudo o agregado não convencional, no caso o conglomerado ferruginoso laterítico foi usado no concreto de cimento Portland e considerado aquela rocha conglomerática cuja gênese está fundamentada na rocha de origem sedimentar e que foi submetida ao processo sedimentar e posteriormente ao processo de laterização, que petrificou a rocha, devido a cimentação da rocha pelos óxidos ferruginosos.

O agregado convencional considerado neste estudo para fins de aferição da resistência máxima do concreto a base de conglomerado ferruginoso laterítico foi aquele oriundo da rocha magmática, da localidade denominada Rosário no estado do Maranhão, usado na região da ilha de São Luís, nesse mesmo estado da federação e distante cerca de 70 km desta ilha.

O trabalho/estudo ora apresentado destaca se de outros principalmente pelo fato de ter sido

consequent lower voids in the concrete specimen, reaching values of resistance to rupture between 31.1 to 34.2 MPa, with two trace variables 1:4, 1:6 and (a/c) water-cement factor 0.45 - 0.50 respectively. This rock / aggregate reached individual resistance to rupture between 29.1 to 42.3 MPa revealing the great heterogeneity of the rock. The chemical composition of the rock performed through the wet way e fluorescence are coherent, presenting % SiO_2 values ranging from 8,0 to 8,8 % and Fe_2O_3 ranging from 75,6% to 76,5%, tables 1 and 2.

Keywords: Sedimentary rock cemented by Ferruginous oxides used as an aggregate in Portland cement concrete; Laterite in civil construction; Lateritic concrete.

utilizado no concreto o conglomerado ferruginoso laterítico, tal como saiu do britador com mandíbulas reguladas com abertura de 50,8 mm, ou 2", 38,1 mm, ou 1 1/2" e ainda 25,4 mm ou 1", fornecendo tanto o agregado graúdo como o agregado miúdo, quando britado, conforme pode ser verificado nas curvas granulométricas obtidas na Figura 10, adiante. Destaque especial é dado ao fato de outros trabalhos/estudos usarem a laterita apenas com fração do agregado na composição do concreto e buscando areia lavada em outras jazidas, quer em rios, quer em ocorrências fora dos rios. Há mais, também se verifica que as caracterizações químicas, geológicas, físicas e mecânicas têm sido realizadas insuficientemente, tanto no Brasil como no exterior.

Foi adicionado ao conglomerado ferruginoso laterítico, apenas água e cimento nas proporções de interesse ao estudo. Dessa forma, evitou-se buscar agregado miúdo em depósitos aluvionares de rios. Assim sendo a substituição das areias aluvionares pelas areias obtidas no processo de britagem da laterita, diminui significativamente o passivo ambiental.

Ainda pode ser destacado que, na britagem do conglomerado ferruginoso laterítico, se efetuadas as pertinentes correções granulométricas do material britado, com o mesmo material da própria britagem, poderão ser atingidos resulta-

dos ainda mais satisfatórios, exatamente como foi conseguido neste trabalho/estudo. O estado de alteração da rocha conglomerática ferruginosa laterítica exerce papel fundamental na resistência desse concreto laterítico, pois o estado de alteração dessa rocha é o fator regulador no fornecimento dos agregados finos e graúdos durante a britagem, pois deles é que dependem o arranjo estrutural da massa de concreto.

2 OBJETIVOS DOS ESTUDOS

Investigar um tipo de rocha sedimentar laterizada, definido como conglomerado ferruginoso laterítico localizado na jazida 19 do Maracujá, conforme Figura 2, na ilha de São Luís no estado do Maranhão, como agregado pétreo para uso em concreto de cimento Portland e objetivando obter a resistência máxima, uma vez que os agregados fundamentalmente desempenham um importante significado na mistura com argamassas, quer do ponto de vista econômico como do ponto de vista técnico, pois ocupam, no mínimo, cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto, influenciando consideravelmente nas propriedades, quer do concreto fresco como do concreto endurecido, conforme PETRUCCI (1987). Foram programados os seguintes estudos: (1) Identificação dos pontos/jazidas/lavras, conforme legenda num mapa geológico das formações superficiais da ilha de São Luís -MA na escala 1:250.000, conforme figura 2. (2) Analisar a área dos estudos com base no processamento de imagens digitais do sensor LANDSAT 5-TM, por meio dos aplicativos ENVI 5.0 e Arc Gis 9.3. (3) Detalhar ao microscópio de luz polarizada e luz refletida o tipo rochoso denominado conglomerado ferruginoso laterítico. (4) Produzir imagens investigativas ao (MEV) microscópio eletrônico de varredura. (5) Obter o comportamento granulométrico do conglomerado ferruginoso laterítico quando submetidos a britagem e rebritagem mecânica, regulada para dar diâmetros concordante com abertura de 50,8 mm, ou 2", 38,1mm, ou 1½" e ainda 25,4 mm ou 1", fornecendo nesta britagem, tanto os agregados graúdos como os agregados finos, comparando as frações graúdas e finas relacionadas à curva de Füller. (6) Obter e analisar geológica, química, física, mecânica o

conglomerado ferruginoso laterítico. (7) Obter e analisar a utilização do conglomerado ferruginoso laterítico (agregados pétreos) em concreto de cimento Portland tal como saíram do britador, isto é, com todas as frações granulométricas, agregados finos e graúdos, sem retirar ou acrescentar outros materiais, contudo nesse estudo não se faz considerações sobre propriedades do concreto fabricado, ficando essas considerações para futuras pesquisas atreladas às iniciativas estimuladas com respeito ao estudo mais específico desse tipo de concreto. O estudo limitou-se a obtenção da resistência máxima dos corpos de prova quando submetidos aos ensaios de compressão axial simples com resultados expressos em MPa, conforme tabela 7. (8) Obter e analisar a resistência à compressão axial simples final dos corpos de prova do concreto quando moldados somente com o conglomerado ferruginoso laterítico com traços e fator água-cimento diferentes.

3 CONHECIMENTO DO PROBLEMA

Num contexto geral podemos afirmar que novos paradigmas sociais mundiais têm feito com que os governos busquem em suas políticas de infraestrutura dar prioridade à questão dos materiais pétreos para uso de sua população e, conseqüentemente, fazendo um chamamento à necessidade de se conhecer novos materiais com respaldo em conhecimentos técnicos e científicos e que possam participar da cadeia produtiva. Nesse aspecto, o presente estudo disponibiliza suporte técnico e científico para fundamentar uma contribuição científica aplicada ao caso. Mundialmente se tem conhecimento de que os governos busquem também em suas políticas habitacionais dar prioridade à questão da construção de habitação para sua população. Somados aos fatos políticos sociais e a cadeia produtiva existe a necessidade de encarar a realidade de campo da área de trabalho/estudo. Assim sendo o conhecimento dos parâmetros técnicos e características do conglomerado ferruginoso laterítico (agregado pétreo) da ilha de São Luís do Maranhão foi deflagrado, uma vez que as rochas existentes (laterita) neste local vem sendo aproveitadas de forma empírica e inadequada, o que justifica o presente estudo,

com base numa análise geológica, física, química e mecânica OLIVEIRA (2019)

A laterita foi descrita por inúmeros geólogos, sempre sob aspectos petrográficos, tanto na Índia como na África, Austrália e América do Sul. Vários conceitos distintos foram desenvolvidos por pesquisadores, em todo o mundo sobre esse material, focando-o sob o ponto de vista geológico, geotécnico, hidrogeológico, mineralógico, geoquímico, pedológico e econômico. Não resta dúvida de que a complexidade dos problemas encontrados no estudo das lateritas tem desafiado a argúcia daqueles que militam nesses campos da ciência.

Em São Luís, no estado do Maranhão, onde foi desenvolvido o trabalho/estudo, ocorrem cinco tipos de laterita, segundo OLIVEIRA (2008). Sobre um desses tipos de laterita, o conglomerado ferruginoso laterítico é que se discorre o presente trabalho/estudo.

4 METODOLOGIA

É apresentado abaixo um fluxograma/orgnograma metodológico geral dos estudos de campo e laboratório conforme Fig.1.

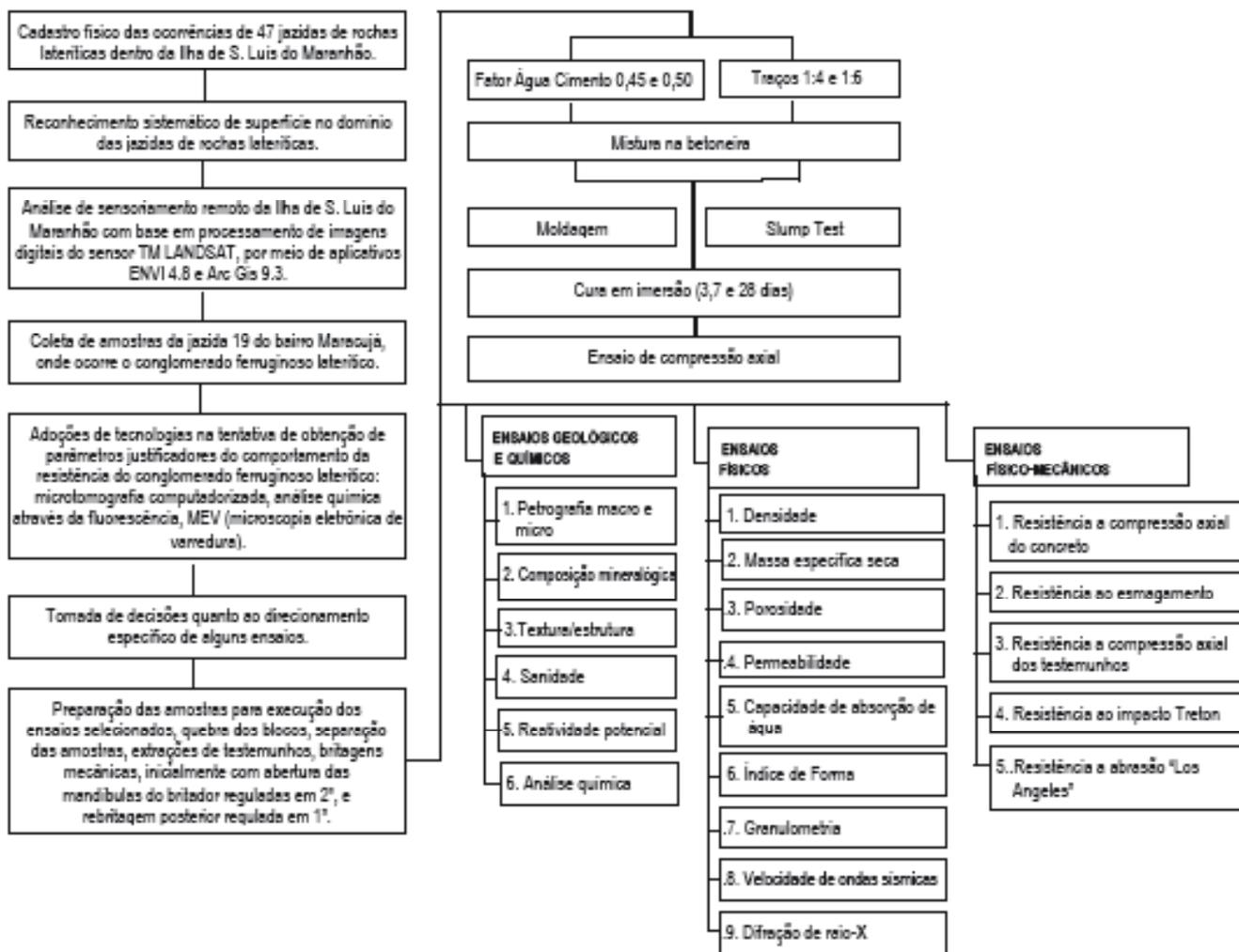


Figura 1. Fluxograma dos estudos de campo e de laboratório.

5 MATERIAIS

Foram utilizados no presente estudo/trabalho quatro tipos de materiais e pela ordem de importância citamos primeiro, o conglomerado ferruginoso laterítico que forneceu o agregado pétreo fino e grosso e que foram obtidos durante o processo de britagem e rebitagem da rocha. Em segunda ordem de importância foi considerado o cimento Portland, CP-II-E-32 MPa, fabricado pela Nassau, no município de Codó, estado do Maranhão, fabricado segundo a norma NBR 11578 de 1991. O cimento foi adquirido no comércio de construção local, onde estava armazenado dentro das especificações vigentes à época. Em terceira ordem de importância foi considerada a água tratada da região metropolitana de São Luís - MA. O quarto tipo de material utilizado foi o granito do município de Rosário no estado do Maranhão, usado para fins de comparação entre o comportamento da resistência do concreto à base exclusivamente do conglomerado ferruginoso laterítico e o concreto a base do granito (agregado/brita), procedimento esse usual para fins de comparação da resistência entre corpos de prova de um concreto convencional e um concreto não convencional, dando destaque ao fato da utilização dos agregados finos que foram obtidos do conglomerado ferruginoso laterítico na composição desse concreto de referência.

A chave principal desse estudo/trabalho foi o uso do conglomerado ferruginoso laterítico como material pétreo, tal como saiu do britador, contendo a areia fina, a areia média, a areia grossa e o agregado ao mesmo tempo. O diâmetro dos componentes pétreos foi ditado pela regulagem de abertura do britador. Nesse estudo o britador foi regulado inicialmente com abertura de 2" (bri-

tagem primária) e posteriormente com abertura 1" (britagem secundária). Dessa forma o dito conglomerado laterítico teve sua passagem por uma britagem primária e em seguida teve sua passagem por uma britagem secundária (rebitagem). Trata-se de um dos tipos de rocha sedimentar laterítica, dentre outros tipos de laterita da ilha de São Luís no estado do Maranhão, fornecendo agregados para uso no concreto com cimento Portland, segundo OLIVEIRA (2008).

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 Aspectos da geologia

O trabalho/estudo foi desenvolvido na ilha de São Luís no estado do Maranhão. A referida ilha apresenta uma compartimentação estratigráfica geológica estabelecida na Figura 2, contendo nesse mapa geológico as jazidas de laterita, dando destaque a jazida 19, onde ocorre os afloramentos do conglomerado ferruginoso laterítico. A jazida 19 está localizada no bairro Maracujá em São Luís do Maranhão, onde foram concentrados os trabalhos/estudos. Neste local ocorre em larga escala o conglomerado ferruginoso laterítico posicionado estratigraficamente no Grupo Barreiras, na Formação São Luís, unidade de fácies conglomerática, afetadas pelo processo de laterização. Em face à ausência de materiais pétreos convencionais na referida ilha para uso na construção civil, são utilizadas alternativamente lateritas ferruginosas, pois apresentam características geológicas, químicas, físicas e mecânicas adequadas, sendo ainda de fácil extração e de ocorrência generalizada na dita ilha, segundo OLIVEIRA (2008).

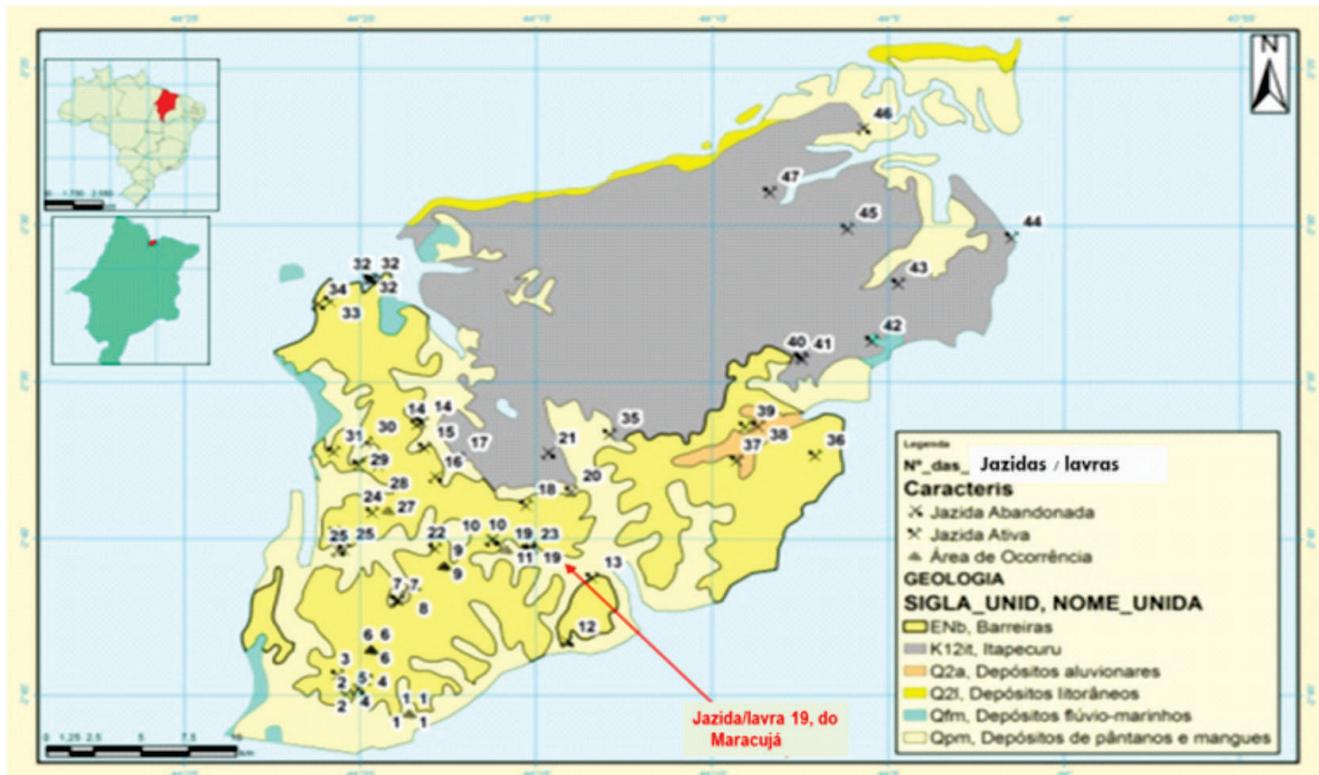


Figura 2. Mapa geológico das formações superficiais da ilha de São Luís -MA e mapa de localização das áreas dos pontos/jazidas/lavras na escala 1:250.000.

Fonte: CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (2012).

6.2 Aspectos do sensoriamento remoto

Na análise e processamento de imagens foi adotado o sensoriamento remoto através de imagens Landsat, com vistas à exploração mineral que vem sendo empregado com sucesso por diversos pesquisadores, OLIVEIRA (2019). Nesse sentido, o intuito deste trabalho foi determinar as áreas com maior potencial de ocorrência de lateritas ferruginosas, a partir do processamento digital de imagens de LANDSAT 5 -TM, por meio de aplicativos ENVI 5.0 e ArcGIS 9.3. Para tanto, utilizou-se técnica baseada em uma variante de transformação por componentes principais CRÓSTA & MOORE (1989).

A área de estudo é recoberta principalmente pela cena com órbita e ponto 220/62 respectivamente e secundariamente pela cena 221/62, que foram ambas obtidas, respectivamente, para as datas de 11-06-2004 e 24-06-2006. A escolha dessas

cenas baseou-se na baixa porcentagem de nuvens. Foi adotado neste trabalho/estudo, o sistema de coordenadas cartesianas e o datum horizontal denominado SIRGAS 2000. Com base no citado processamento a Figura 3 traduz uma composição colorida R7G4B3 comumente utilizada em geologia, que tem o intuito de subsidiar a interpretação das componentes principais. Nela é possível observar as seguintes feições: a) vegetação em verde, principalmente próximos aos cursos de água; b) corpos de água em azul ou preto; c) solo exposto e áreas urbanas em magenta ou em tons avermelhados; d) áreas agrícolas ou pastagens em tons amarelados. Com base no método usado nesse estudo, as áreas mais propícias à identificação de lateritas seriam aquelas onde a cobertura vegetal é ausente ou incipiente. Essas áreas ocorrem preferencialmente nas proximidades de São Luís no estado do Maranhão e de forma generalizada como pequenas áreas descontínuas.

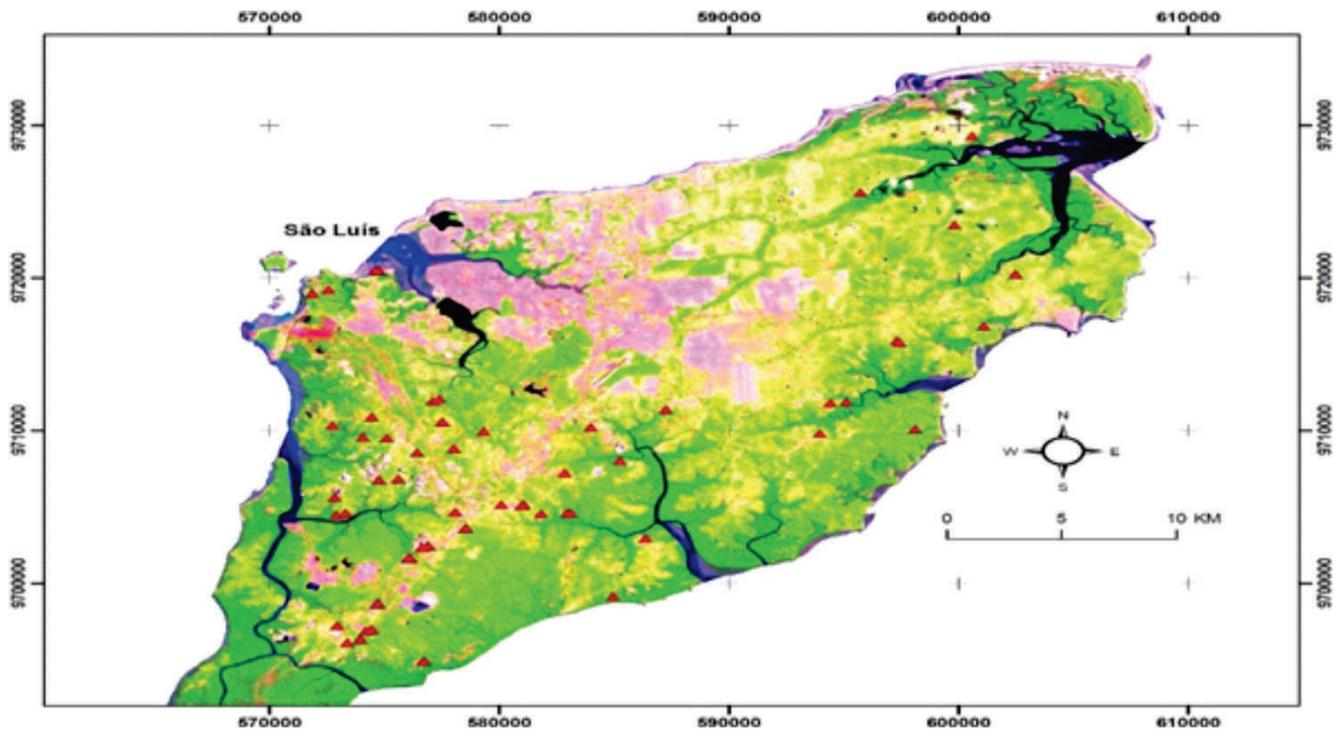


Figura 3. Composição colorida 7R4G3B realçada, com indicação dos pontos/jazidas/lavras onde ocorrem as lateritas ferruginosas (triângulos vermelhos).

6.3 Aspectos das análises geológicas

Incluí a petrografia macroscópica e a microscópica com luz polarizada, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microscopia com luz refletida, conforme se depreende das figuras 4 a 9.

Essas análises permitem verificar o detalhe do arranjo dos componentes quartzosos e suas interações com o cimento da rocha. A textura desse tipo de material petrográfico é constituída de grãos e grânulos como valor modal e extremos variando de muito grossa a seixos pequenos contendo muito cascalho e a areia totalizando menos de 5%. Possui na matriz quartzo policristalino com

presença de extinção reta e ondulante, sendo rara a presença de feldspato potássico. O arredondamento é subangular e subarredondado e de alta esfericidade. O cimento tem composição hematítica e limonítica e coloração variável, notadamente preto acinzentado, marrom escuro até marrom claro em função da hidratação e oxidação do horizonte laterizado. A determinação ou identificação da hematita e gohetita (limonita) foi feita por identificação na microscopia com luz refletida, conforme se pode verificar na figura 8. A análise de lâminas petrográficas a luz polarizada foram efetuadas segundo a ABNT-NBR-7389.



Figura 4. Detalhe da estrutura do conglomerado ferruginoso laterítico da jazida 19 do Maracujá, tendo uma régua branca como escala e assim dando ideia da proporcionalidade entre a matriz quartzosa, o arcabouço e o cimento ferruginoso. Rocha sedimentar do tipo conglomerado ferruginoso laterítico, cujo arcabouço é constituído por uma fração clástica principal de grãos de quartzo cristalino e leitoso, sendo angulosos, com diâmetros variáveis de 0,6mm a 0,07mm, em cuja foto se verifica o arranjo da distribuição espacial dos grãos com contatos pontuais. A matriz da rocha é perfeitamente visível nas figuras posteriores e que se traduz por um material constituído de finas partículas de quartzo aglutinadas por um cimento ferruginoso, que em conjunto sustentam o arcabouço estrutural da rocha. O cimento da rocha é constituído de óxidos minerais (hematita, gohetita) sendo responsável pela resistência físico mecânica da rocha, o que a torna aproveitável na produção de agregado para utilização no concreto de cimento Portland. A rocha conglomerática, assim como o cimento estão submetidos a uma degradação de resistência em face ao intemperismo diferencial.

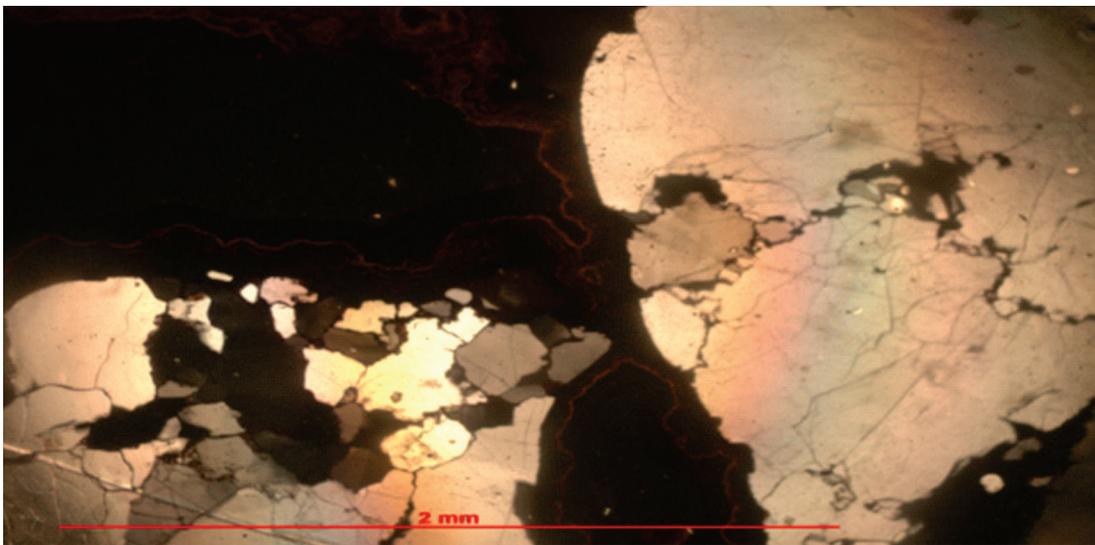


Figura 5. Fotomicrografia ao microscópio de luz polarizada com polarizadores cruzados em que realça a estrutura dos grãos de quartzo do conglomerado ferruginoso laterítico, constituído de grãos de quartzo policristalino e quartzo com extinção ondulante com frações de grânulos como valor modal, extremos muito grossos e seixos pequenos e contendo muito cascalho, enquanto a areia representa menos que 5%. A matriz rochosa é subangular e subarredondada, alta esfericidade com cimento marrom claro a marrom escuro tipo hematita e limonita, sendo rara a presença de feldspato potássico e fragmentos de granito. O cimento ocorre em alguns pontos, como goethita botrioidal evoluindo em alguns pontos para cristalização da hematita. Observar, também, que os grãos de quartzo maiores estão microfaturados, o que revela a susceptibilidade do grão a ser reduzido a uma granulometria inferior, quando submetidas às forças da mandíbula do britador e revelando, conseqüentemente, a facilidade na redução da granulometria.

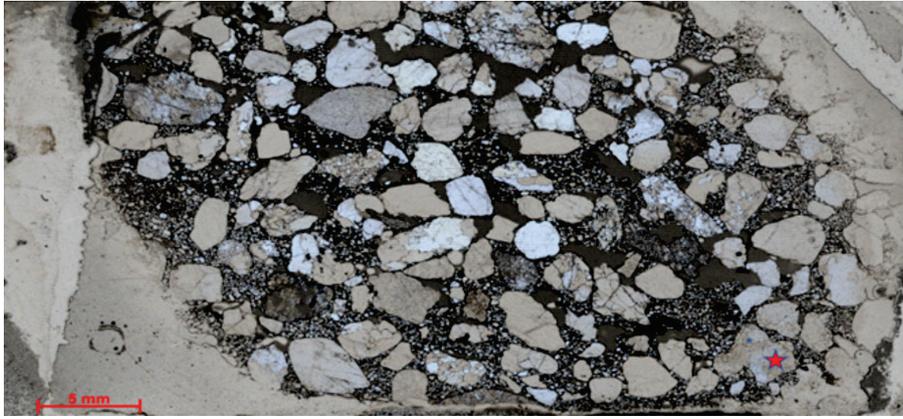


Figura 6. Fotomicrografia referente ao conglomerado ferruginoso laterítico com aspectos microscópicos obtidos em luz com polarizadores paralelos evidenciando a interação entre os óxidos ferruginosos cimentícios com a matriz quartzosa. Observar que o cimento ferruginoso engloba partículas muito finas de frações quartzosas. Detalhe da estrela vermelha na Figura 7.

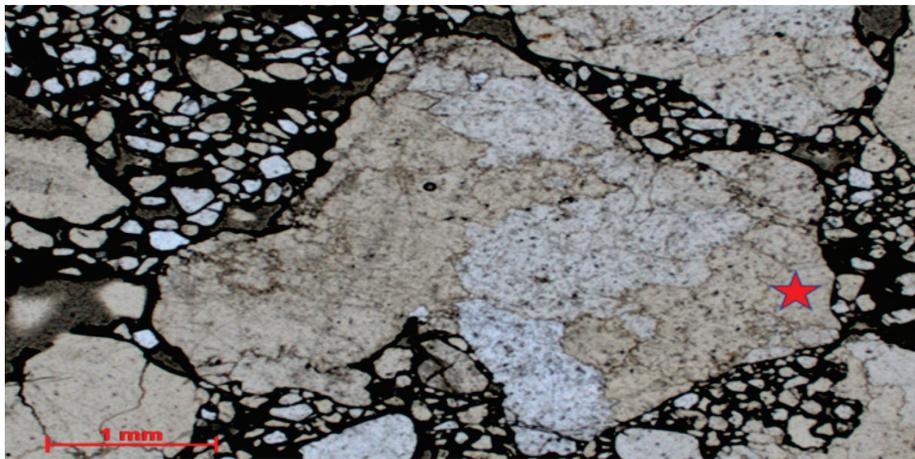


Figura 7. Fotomicrografia com luz polarizada mostrando detalhe do conglomerado ferruginoso laterítico anteriormente apresentado. Aqui fica evidente que o cimento engloba partículas muito finas de frações quartzosas e assim estabelecendo uma maior área de contato entre diferentes materiais, no caso, cimento e grãos da matriz.

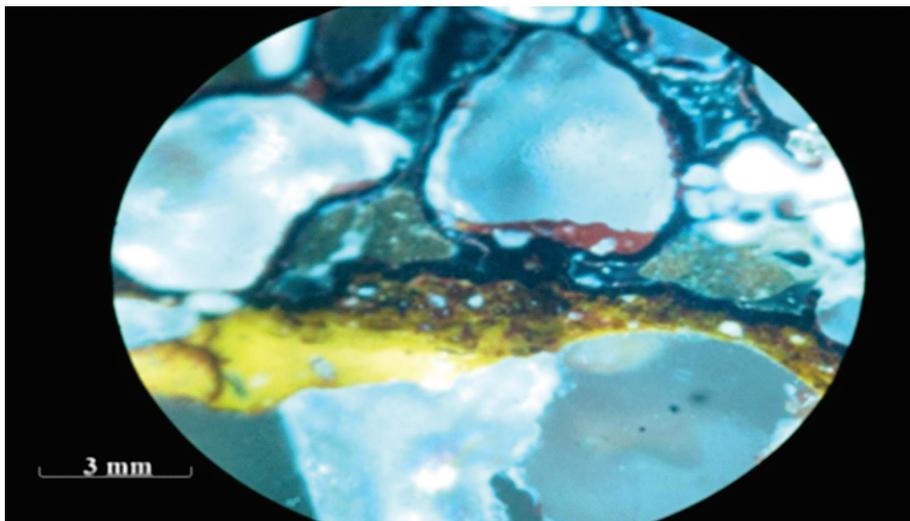


Figura 8. Fotomicrografia com luz refletida do conglomerado ferruginoso laterítico denotando gohetita representada pela cor amarela, a hematita representada pela cor marrom e o quartzo representado pela cor branca.

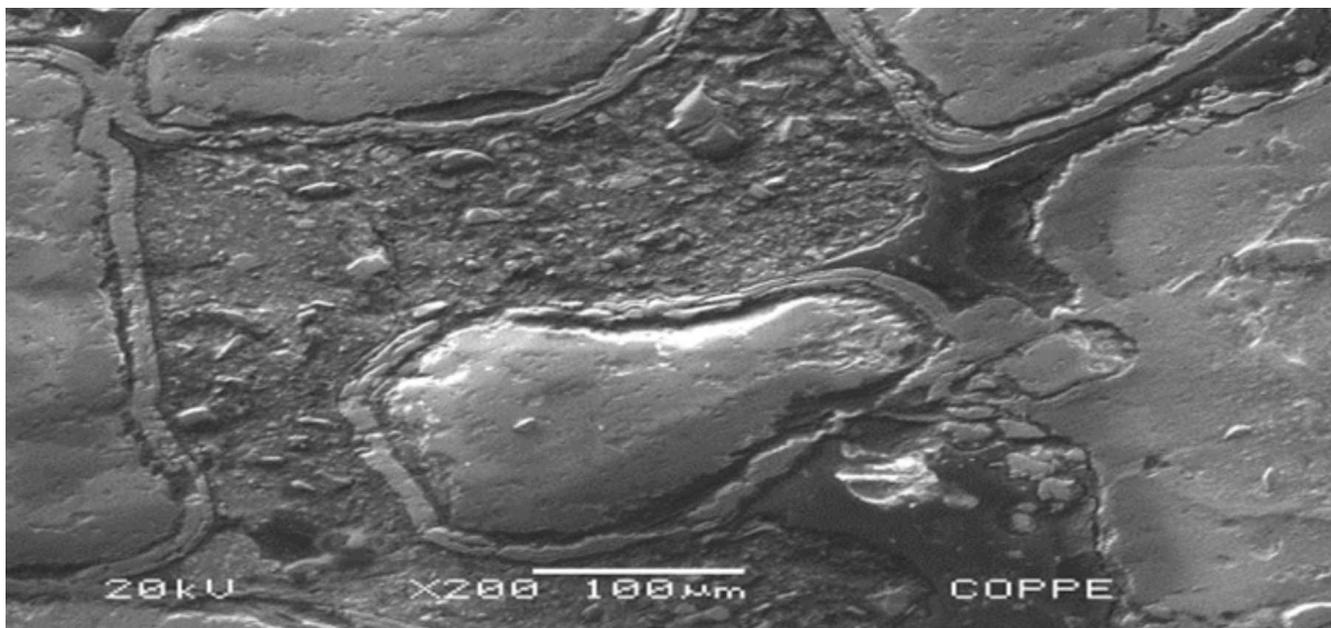


Figura 9. Eletromicrografia MEV (microscopia eletrônica de varredura) evidenciando em plano mais marcante os grãos de quartzo maiores envolvidos por uma fração/película de óxido ferruginoso. Entre um grão e outro, pode ser observado o cimento ferruginoso, no qual ocorrem disseminados finíssimos grãos de quartzo. Foram identificados os constituintes da rocha com base na energia de dispersão através de um detector de raio X (EDS).

6.4 Análises químicas

Nas análises foram consideradas: a) análise química através da fluorescência; b) análise química através da via úmida, Tabelas 1 e 2 respectivamente; c) determinação da relação sílica sesquióxido; d) análise difratométrica; e) reatividade potencial; f) sanidade. As pequenas diferenças de teores, ou mesmo minerais diferentes se justificam pelos diferentes métodos de análises químicas, um método quantitativo e outro semi-quantitativo.

a) Análise química através da fluorescência

A amostra foi preparada por fusão à 1050 °C na Máquina VULCAN, na diluição 1:10 - (0,6g de amostra seca à 100°C e 6g de fundente), utilizando como fundente uma mistura $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - 66% e LiBO_2 - 34%. Os resultados estão expressos em %, calculados como óxidos e normalizados a 100%. O conglomerado ferruginoso laterítico foi fundido com tretaborato de lítio.

Tabela 1. Determinação semi-quantitativa dos elementos químicos através de fluorescência ao raio-X.

Conglomerado Ferruginoso Laterítico Elementos	%
% Al_2O_3	2,4
% SiO_2	8,0
% P_2O_5	1,6
% Fe_2O_3	76,5
% CaO_s	0,10
%PPC	11,1

b) Resultados da análise química através da via úmida do conglomerado ferruginoso laterítico

A composição química do Conglomerado do Conglomerado Ferruginoso Laterítico, expressa em percentuais de óxidos, foi elaborada segundo a norma DNER - ME -30-74.

Tabela 2. Resultados da análise química quantitativa por via úmida do Conglomerado Ferruginoso Laterítico.

Parâmetros determinados	%, em massa
%Al ₂ O ₃	2,6
%MnO ₂	<0.05
%Fe ₂ O ₃	75,6
%FeO	0.08
%SiO ₂	8.8
%CaO	<0.05
%MgO	<0.05
%PPC	6,2

c) *Determinação da relação sílica/sesquióxido*

A diferença entre solo laterítico e laterita em termos quantitativos de Kr (índice de identificação) foi proposta por MEDINA (1974), conforme preconiza o método de ensaio DNER-ME-030-94. Determinação da relação sílica alumina e sílica sesquióxidos em solo.

Sendo:

$$Kr = \frac{\%SiO_2/60}{\%Al_2O_3/102 + \%Fe_2O_3/160}$$

Kr > 2 - solo não laterítico → Kr < 2 - solo laterítico → Kr < 1,33 - laterita

Conforme a Tabela 3 o Kr é baseado na relação sílica - sesquióxido e válido para frações coloidais e assim sendo o conglomerado ferruginoso laterítico é considerado laterita, conforme norma DNER-ME-30-74.

Tabela 3. Resultado da análise de determinação da relação sílica sesquióxido.

Tipo litológico Elementos	Conglomerado ferruginoso laterítico
%Al ₂ O ₃	2,0
%Fe ₂ O ₃	46,0
%SiO ₂	2,5
Ki	2,15
Kr	0,13

d) *Difratometria do conglomerado ferruginoso laterítico*

A interpretação do resultado do diagrama de difração (X) do conglomerado ferruginoso laterítico permite uma avaliação qualitativa e quantitativa em que os ensaios foram executados com uma radiação FeK - 1996, num difratômetro PHILLIPS. A identificação das fases cristalizadas presentes foi feita por comparação com amostras registradas no fichário ASTM (comparação entre os valores dos espaçamentos interplanares dhkl e das respectivas intensidades). Uma avaliação quantitativa e qualitativa é apresentada na Tabela 4. O método utilizado foi o ASTM-C-295.

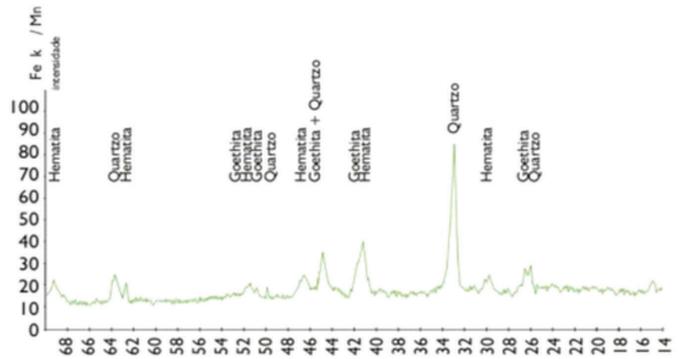


Figura 10. Gráfico representando a difração aos raios-X, usando-se radiações FeK - 1996.

Tabela 4. Avaliação dos resultados da análise da microanálise difratométrica de raio-X.

Tipo Litológico	Quantidade e Qualidade dos Elementos			
	Quartzo	Hematita	Goethita	Kaolinita
Conglomerado ferruginoso laterítico	Muito	Pouco	Muito pouco	-

Na análise mineralógica apenas da fração fina, cuja separação foi feita por sedimentação em meio aquoso, após duas horas de repouso da suspensão, não tendo sido identificados minerais do grupo da kaolinita no conglomerado ferruginoso laterítico.

e) *Reatividade potencial – álcali do cimento e sílica dos agregados graúdos e finos*

Aspecto que merece destaque são os constituintes mineralógicos principais. No caso, o quartzo apresenta-se em forma de grãos originados de quartzo cristalino totalizando um teor de 8,8%. O cimento ferruginoso, um óxido de ferro, totaliza, por sua vez, um teor de 75,6%. Ambos conjuntos mineralógicos não se apresentam como reativos aos álcalis do cimento, sendo portanto, inócuos, permitindo o uso desse agregado sem qualquer restrição, conforme Tabela 5, onde é apresentado o resultado do ensaio químico.

Outro destaque, pelo menos no que diz respeito à amostra analisada é o fato desse agregado não apresentar qualquer variedade criptocristalina de quartzo, opala, calcedônia, cristobalita, tridimita e quartzo microcristalino, o que seria uma inconveniência, face à reatividade potencial que esses minerais apresentam aos álcalis do cimento. Ensaio realizado segundo a norma ABNT-NBR-15577.

Tabela 5. Representação da reatividade química aos álcalis do cimento.

Conglomerado ferruginoso laterítico	
Redução da Alcalinidade (milimoles de Na OH/ℓ)	205
Sílica Dissolvida (milimoles de SiO ₂ /ℓ)	14
Natureza Tecnológica	Inócuo

f) *Ciclagem/sanidade*

Os resultados abaixo apresentados na Tabela 6 demonstra que o conglomerado ferruginoso oferece uma suscetibilidade à penetração da solução química (sulfatos), nas frações, onde impera a porosidade. Portanto, ao facilitar a penetração do sulfato de sódio devido a uma força de expansão, conseqüentemente a amostra sofre uma partição e desta forma reduzindo a granulometria, com base na norma DNER-DPT-M-89-64. Em estudos anteriores foi registrado 34,35 a 36,86% de perda média em outro tipo de laterita, denominada concreção ferruginosa laterítica e popularmente conhecida como pedra jacaré OLIVEIRA (2008).

Tabela 6. Ensaio de Ciclagem/Sanidade (DNER-DPT-M-89-64).

Tipo litológico		Conglomerado ferruginoso laterítico Pedra caroço (nome popular do conglomerado)		
Peneira Retida	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Perda	Perda Média
1"	1.000	968,5	3,15%	2,53%
3/4"	500	490,5	1,90%	
1/2"	670	631,0	5,82%	7,46%
3/8"	330	300,0	9,09%	

6.5 Análises físicas

Inclui a granulometria, Figura 10, que representa a chave do estudo, em que as frações granulométricas podem ser observadas nas suas reais porcentagens de ocorrência quanto às frações graúdas, médias e finas. Assim sendo, as frações granulométricas que faltam e que sobram em relação a curva granulométrica teórica de "Füller", possibilitaram equacionar o volume da fração granulométrica a ser retirada e ou adicionada per-

mitindo corrigir a curva granulométrica do material/agregado britado e rebritado, conforme preconizado no estudo, ou seja, primeiro se executa a britagem primária com britador regulado para 2" e depois se executa a britagem secundária com britador regulado para 1" e assim permitindo um arranjo granulométrico nos corpos de prova do concreto com um menor índice de vazios e conseqüente maior resistência no ensaio de compressão axial do concreto.

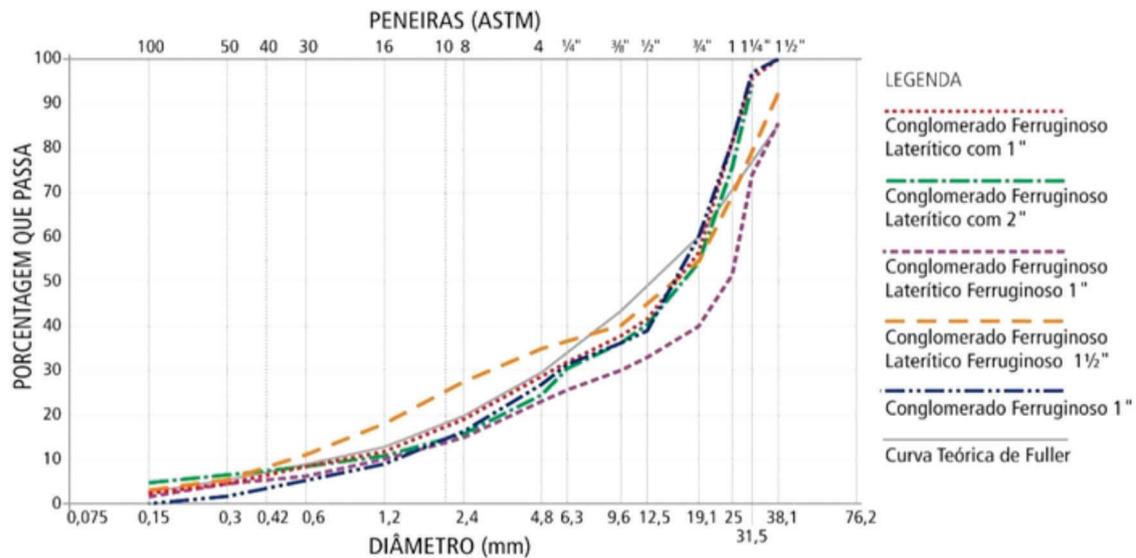


Figura 11. Curvas granulométricas dos tipos petrográficos britados com abertura da mandíbula regulada com 1" - 1½" - 2".

6.6 Análises físicas e mecânicas

Os resultados das análises de caracterizações físicas e mecânica foram resumidos e estão configuradas no Quadro 1, salientando que o comportamento físico e mecânico está condicionado a alteração da rocha com distribuição espacial anômala, devido ao intemperismo diferencial e também condicionado a espessura do cimento ferruginoso da rocha. A hidratação e conseqüente alteração do cimento ferruginoso exerce fundamental importância na resistência físico e mecânica do conglomerado ferruginoso laterítico, em cuja Figura 8 pode ser visualizada, numa zona restrita e amarelada, um mineral de ferro hidratado, denominado goethita. O resultado do ensaio de abrasão "los Angeles" revela uma perda de 80%, bastante acima das normas preconizadas, contudo a produção de agregados finos, médios e graúdos durante a britagem compensa essa perda, porque são os arranjos desses grãos nos corpos de prova que irão comandar a resistência do concreto constituído pelo conglomerado ferruginoso laterítico. Os ensaios de abrasão "los Angeles", tenacidade e esmagamento revelam perda excessiva, em face ao grau de alteração diferencial da rocha conglomerática, contudo não se descarta a utilização desse conglomerado ferruginoso, uma vez que é a composição granulométrica irá comandar a resistência do concreto.

Quadro 1. Resumo dos ensaios tecnológicos do agregado (conglomerado ferruginoso laterítico).

Tipo litológico Tipo de ensaios	Conglomerado ferruginoso	Método
	Valores médios	
Massa específica seca aparente g/cm ³	2,57	IPT-M-47
Massa específica saturada aparente g/cm ³	2,67	IPT-M-47
Porosidade aparente %	9,4	IPT-M-47
Absorção d'água em %	3,6	IPT-M-47
Tenacidade (impacto Treton) %	64	IPT-M-52
Ensaio de esmagamento %	49	IPT-M-53
Abrasão Los Angeles %	80	ABNT-MB-170
Compressão axial simples-tensão de ruptura Mpa kgf/cm ²	29,1 a 42,3	IPT-M-50
Forma dos fragmentos	Cúbico	IPT-M-49
Sanidade: peneiras (1", 3/4" e 1/2", 3,8")	2,53 e 7,46	DNER-DPT-M- 89-64

Os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova do concreto estão configurados na Tabela 7, onde foi dado destaque a resistência final alcançada aos 28 dias de idade de cura do concreto moldados em corpos prova de 10x30 cm e 5x10 cm, tendo sido efetuado correções no volume do agregado obtido após a britagem, momento esse em foi adicionando 50% em peso relativo

ao material passante na peneira 4,8mm, quando se conseguiu uma adequação granulométrica do material obtido na britagem/rebritagem relacionado a curva teórica de “Füller”, atingindo resistência máxima de 31,7 MPa. O estudo teve uma série de tentativas experimentais pertinentes ao acréscimo de frações granulométricas corretivas que pudessem oferecer uma curva granulométrica geometricamente semelhante a curva teórica de “Füller”.

As correções granulométricas englobaram retirada de material/agregado, assim como acréscimo de material/agregado em função da curva granulométrica resultante. O cimento Portland e a água foram adicionados nas proporções com o traço 1:4 e com a/c (fator água/cimento) 0,45 atingindo o objetivo final do estudo, qual seja grande ganho de resistência no valor de 31,7 Mpa. Os valores maiores alcançados foram devido ao fato dos agregados/material pétreo possuírem uma quase perfeita sanidade.

Tabela 7. Valores de resistência à compressão simples em MPa, idade de cura em dias, abatimentos (slump test) em cm e consumo de cimento kg/m³ - ABNT-MB-3-37.

Tipo litológico	Traço	Fator a/c	Resistência compressão Simples MPa Idade (Dias)			Slump test (cm)	Consumo de cimento kg/m ³
			3	7	28		
Conglomerado Ferruginoso Laterítico britado com 2" sem adição de material passante na peneira 4,8 mm	1:6	0,59	10,5	16,6	18,3	4,5	365,1
Conglomerado Ferruginoso Laterítico							
Conglomerado Ferruginoso Laterítico britado com 1 ^{1/2} " tal como saiu do britador britado com 2" e rebitado com 1" e adicionando 50% de material passante na peneira 4,8mm	1:4	0,45	14,1	19,2	31,7	3,5	427,3
	1:4	0,45	20,3	22,6	33,9	5,0	478,4
		0,50	18,6	23,6	31,1	5,5	467,2
	1:6	0,45	18,2	29,6	34,2	1,0	362,3
		0,50	14,1	19,2	21,8	3,5	355,8

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados tem um aspecto especial, porque se fez desse trabalho/estudo um desafio no sentido de aproveitar um material incluído na categoria de material não convencional, no caso o conglomerado ferruginoso laterítico, denominado popularmente de “pedra caroço”. O fato de britar o material primeiramente num britador primário e rebritar num britador secundário foi uma maneira de eliminar ao máximo as frações alteradas, onde o cimento ferruginoso alterado permitiu o desgarramento dos grãos de quartzo do cimento vindo a fornecer tanto o agre-

gado graúdo como o agregado miúdo ao mesmo tempo. Nesse trabalho/estudo o conglomerado ferruginoso laterítico foi definido e classificado segundo a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas e que possui a seguinte variação de resistência à compressão axial: EB – extremamente brando – menor que 0,5 MPa até 1 MPa. MUB – muito brando – maior que 1 até 5 MPa. B – brando – maior que 5 MPa até 25 MPa. MDR – moderadamente resistente – maior que 25 MPa até 50 MPa. R – resistente – maior que 50 MPa até 100 MPa. 61 MUR – maior que 100 MPa até 250 MPa. ER – maior que 250 MPa até 700 MPa.

Neste contexto, os valores de resistência à compressão simples obtidos pelo conglomerado ferruginoso no ensaio de compressão axial atingiram valor máximo de 42,3 e valor mínimo de 29,1. Assim sendo, o conglomerado ferruginoso laterítico foi considerado uma rocha moderadamente resistente a resistente.

O desafio foi descobrir como fazer desta rocha um material adequado e suficiente para uso em concreto de cimento Portland e que somente após a realização de muitos ensaios de granulometria fazendo-se a comparação das curvas granulométricas após britagem com a curva granulométrica teórica de "Füller" e constatando quais frações granulométricas poderiam ser acrescentadas ao conjunto do conglomerado ferruginoso laterítico obtido quando britado. O grau de alteração diferencial da rocha foi o aspecto que praticamente ditou a liberação dos grãos de quartzo cimentados que se desgarram após serem acionados pelo britador. A adição de outras frações granulométricas complementares ao conglomerado ferruginoso britado faz diminuir significativamente o índice de vazios do conjunto britado, tornando a massa geral do conglomerado mais resistente e com menor consumo de cimento.

O contraste de resistência entre uma rocha sedimentar branda e uma rocha ígnea cristalina é grande, uma vez que no caso da rocha cristalina de Rosário, utilizada na região possui resistência à compressão axial simples de 116,5 MPa, enquanto o conglomerado ferruginoso laterítico possui uma resistência variando de 29,1 a 42,3 MPa. Mesmo existindo grande diferença entre os agregados, um cristalino e o outro sedimentar, as resistências de seus respectivos concretos com cimento Portland são semelhantes, ou seja, as areias finas, as médias, as grossas e os pedregulhos ficaram convenientemente arranjados nos corpos de prova e assim controlaram a resistência do concreto. Quanto aos teores de SiO_2 apresentou variação de teores entre 8,0 a 8,8%, enquanto o Fe_2O_3 apresentou variação de teores entre 75,6 % a 76,5 %.

8 CONCLUSÕES

O conglomerado ferruginoso laterítico (laterita/agregado laterítico) de São Luís no estado

do Maranhão, usado neste estudo, como agregado pétreo em concreto de cimento Portland é basicamente uma rocha sedimentar composta de grãos de quartzo (de areias finas, médias, grossas e pedregulhos), com todo o seu conjunto granulométrico praticamente cimentado por óxidos ferruginosos. O conglomerado ferruginoso laterítico foi submetido ao intemperismo físico-químico diferencial, com distribuição errática, concentrando em sua estrutura sedimentar cimentada, núcleos com diferentes graus de alteração, cuja variação é de difícil controle, em face à anisotropia da dita rocha. Esse conglomerado sedimentar é considerado moderadamente resistente, segundo a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, com valores maiores que 25 MPa até 50 MPa. No presente estudo esse conglomerado/rocha atingiu valores entre 29,1 a 42,3 MPa. O conglomerado apresentou características tecnológicas satisfatórias com base nos resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos de laboratório, principalmente quando se tem em mente que o uso da laterita tem sido uma alternativa de aplicação em regiões destituídas de material pétreo cristalino, como é caso da região norte e nordeste do Brasil.

Assim sendo quando se verifica que ao comparar os ensaios de granulometrias realizados nos conglomerados ferruginosos lateríticos da jazida 19 do Maracujá, observa-se que essa rocha sedimentar, quando submetido inicialmente a uma britagem primária com mandíbula regulada em 2" e posteriormente submetido ao britador secundário com abertura da mandíbula regulada em 1" oferece um agregado de melhor qualidade, em contraste com esse mesmo conglomerado, quando apenas submetido ao britador primário, com mandíbulas reguladas apenas em 2", porque a re-britagem elimina frações alteradas remanescentes contidas no agregado britado com diâmetros maiores.

O conglomerado ferruginoso laterítico, tanto o alterado quanto o menos alterado, se esfacela pelas forças de compressão das mandíbulas de britagem fazendo destruir a sua matriz. Nesse sentido, os componentes da massa rochosa desgarram-se ou desagregam-se e transformam-se em areias finas, médias, grossas, pedregulhos e finos (silte), vindo a apresentar uma curva granulométrica resultante do processo de britagem/rebritagem, o

que oferece margem a comparar essa granulometria resultante com a curva granulométrica teórica de "Füller" e sinalizando para necessidade de correção da curva granulométrica para se atingir melhores arranjos dentro da massa de concreto e conseqüente maior resistência dos corpos de prova do concreto de cimento Portland.

Dessa forma, a comparação granulométrica obtida permite visualizar todo e qualquer possível ajuste da curva granulométrica gerada pela britagem do conglomerado ferruginoso laterítico à curva granulométrica teórica de "Füller", com adição ou retirada de materiais finos e graúdos, até o limite técnico necessário, assim oferecendo um agregado perfeitamente ajustado e ideal referente à curva granulométrica teórica de "Füller", para uso em concreto de cimento Portland.

O material/agregado laterítico resultante da britagem se ajustado à curva granulométrica teórica de "Füller" produz um arranjo interno bastante compacto e com índice de vazios diminutos e quando moldado em um corpo de prova de concreto, oferecerá maior resistência aos esforços advindos das solicitações físico - mecânicas a que for submetido o concreto de cimento Portland, uma vez que esse arranjo proverá um menor índice de vazios.

Os corpos de prova de concreto nesse estudo utilizando o conglomerado ferruginoso laterítico atingiu uma resistência máxima de 31,7 MPa, porque essa rocha foi primeiramente britada em um britador primário com mandíbulas reguladas com abertura de 2" e depois rebritado num britador secundário com 1" de abertura das mandíbulas. Os corpos de prova de concreto de cimento Portland foram moldados com um traço de 1:4 e numa proporção de água cimento (a/c) de 0,45. Neste caso se efetuou correção granulométrica adicionando 50% de material passante na peneira 4,8mm, sobre a massa total do conglomerado laterítico ferruginoso pertencente ao volume do material usado na confecção dos corpos de prova de concreto. Em estudos anteriores a resistência máxima atingida foi de uma britagem primária e posteriormente a uma britagem secundária, com vistas a destruir as frações alteradas do agregado laterítico minimiza o impacto causado pela presença desse agregado no concreto que contenha no seu interior frações alteradas, que poderão definir uma fuga de resis-

tência no concreto e assim facilitando o rompimento do corpo de prova preferencialmente pela agregado alterado, o que está contra a boa prática de Engenharia.

A tarefa mais difícil no que concerne ao uso da laterita da ilha de São Luís no estado do Maranhão para concreto é a distinção entre o grau de alteração dos tipos rochosos lateríticos em uma mesma jazida, cuja característica real de alteração é somente conhecida após britagem e após respectivo conhecimento da curva granulométrica obtida após realização do ensaio de granulometria. Na prática é a primeira britagem que sinaliza a existência de alteração da rocha, sendo confirmada quando se efetua a rebritagem, ou segunda britagem.

A exploração da laterita na ilha de São Luís no estado do Maranhão, adota na prática um critério desordenado e predatório na exploração deste material. Primeiro porque o uso do material não contempla uma separação por qualidade hierarquizada e concordante com sua potencialidade, conforme os ditames tecnológicos e científicos. Em segundo lugar, porque permite a geração de grandes áreas totalmente desmatadas e erodidas e em fase de erosão, com conseqüências catastróficas ao meio ambiente.

Com base no presente estudo incluindo o cadastro de todas as jazidas/lavras/pontos de laterita, em número de 47 jazidas foi comprovado existir uma intensa degradação ambiental, em função das cicatrizes deixadas pela lavra da laterita, como se pode observar nos caminhamentos de superfície e nas imagens de satélite. A substituição das areias aluvionares pelas areias obtidas no processo de britagem da laterita, diminuirão mutuamente e significativamente o passivo ambiental.

Por fim, salienta-se a necessidade de estudos complementares de durabilidade do concreto produzido com o Conglomerado Ferruginoso Laterítico, tal como foi processado para ser aplicado neste trabalho, focando questões como ataque por sulfatos, carbonatação, ataque por cloretos e reação álcali-agregado. Estes estudos visam aprofundar o entendimento do comportamento de concretos, em idades avançadas, quando especialmente dosados para emprego em obras específicas.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, A.B. 1983. A laterita Acreana utilizada como agregado graúdo no concreto. Seminário sobre o controle de resistência do concreto, IBC, Instituto Brasileiro do Concreto, 1983.
- Bennett, S.A., Atkinson, W.W., Kruse, F.A. 199). Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, Mexico. *International Geology Review*, 35, 1009- 1029.
- Carvalho, J.B.Q. 1984. Lateritic aggregate use to fabricate concrete. *Bulletin of International Associate of Engineering Geology*, Paris, V. 30, 18 p.
- Chagas Filho, M.B. 2005. Estudos de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais. Tese de Doutorado apresentada na UFCG, 343 p.
- Crósta, A. & Moore, J.M. 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the Seventh thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology*. Proceedings, ERIM, Calgary, p. 1173-1187.
- Dobereiner, L. 1987. Geotecnia de arenitos bran- dos. Síntese de tese 08 da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 32 p.
- Ferro, J.G. 1976. A influência da Cal nas propriedades de engenharia de Solos Lateríticos. Dissertação de Mestrado, UFP, Campina Grande, 128 p.
- Frazão, E.B. 2002. Tecnologia de Rochas na Construção Civil, Editora Palmas, São Paulo, 132 p.
- Gomes de Sousa, A.C. 1982. Algumas considerações sobre as possibilidades de utilização de late- rita do Maranhão como agregado na composição do concreto. USP. 58.p.
- Medina, J. 1974. Estabilização de solos lateríticos: In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. São Paulo, ABMS, V. 2, p. 1-16.
- Mehta, P.K & Monteiro, P.J.M. 1994. Concreto: estrutura, propriedade e materiais - Editora Pini Ltda.
- Neville, A.M 2016. Propriedades do Concreto, Bookman Editora Ltda, Porto Alegre, Brasil , 887 p. 5a Edição
- Oliveira, J.E 2008. Comportamento geotecnológico de lateritas de S. Luís (MA) e suas resistências no concreto de cimento Portland. Dissertação de Mestrado apresentada na UFRJ, 129 p.
- Oliveira, J.E., Rotundo, O.C.F., Mello, E.F. 2019. Comparative study on resistance using various types of laterite from São Luís Island in the state of Maranhão - Brazil. *Bulletin of International Associate of Engineering Geology and Environment*. No prelo.
- Oliveira, J.E 2019. Potencialidade do CONGLOMERADO FERRUGINOSO LATERÍTICO da Ilha de São Luís do Maranhão utilizado no concreto de cimento Portland. Tese de Doutorado apresentada na Coppe - UFRJ, 314p.
- Petrucci, E.G. 1987. Concreto de cimento Portland, Editora Globo, Porto Alegre, 307 p
- Porto, C.G. 2004. Intemperismo e regiões tropicais. *Geomorfologia e Meio Ambiente*, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 372 p.