

TRATADO SOBRE LATERITOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL BRASILEIRA

TREATY ABOUT LATERITES ON THE BRASILIAN WESTERN AMAZON

NORTON ROBERTO CAETANO

Universidade Federal de Rondônia - ANIR. Laboratório de Modelagem de Dados Ambientais. Av. Pres. Dutra, 2965 - Olaria, Porto Velho - RO, 76801-058. E-mail: norton@unir.br

Resumo - No presente apresenta-se uma análise do comportamento geotécnico dos lateritos da região de Porto Velho/RO. A região, localizada na Amazônia ocidental brasileira, tem buscado cada vez mais esse tipo de material para fins diversos, especialmente para uso em base de pavimentos. O comportamento geotécnico refere-se ao comportamento físico e mecânico, mas aqui também se consideram aspectos químicos, mineralógicos, intempéricos, micro e macroestruturais a partir da observação dos fenômenos em campo, que é o primeiro contato direto que o profissional tem com os materiais a que se dedica estudar. Estabelecer relações entre as observações em campo e os ensaios de laboratório se mostra muito útil e economicamente favorável no entendimento dos processos atuantes e das propriedades, características e comportamento dos materiais. Assim, mais do que uma simples caracterização do material, se apresenta uma análise de seu comportamento em campo apoiada em dados de geofísica, geoquímica, comportamento espectral, imagens MEV, fluorescência e difração de raios-X, além de geotecnia.

Palavras-chave: lateritos; caracterização físico-química; comportamento geotécnico

Abstract - This paper presents an analysis of the geotechnical behavior of laterites from Porto Velho/RO region. Located in western amazon of Brazil, Porto Velho region seek laterites more and more to many uses, especially pavements. Geotechnical behavior linked to physical and mechanical behaviors, but also consider chemical, mineralogical, weathering, and structural aspects from the field observations, that is the first contact that the professional have with the materials that they want to study. Stablish relationships between field observation and laboratorial tests is useful and economically viable to understand characteristics, proprieties and behavior of the materials. Thus, more than a simple material characterization present an analysis of its field behavior based on the geophysics, geochemical, reflectance, scanning electron microscope images, X-ray microanalysis and geotechnical data.

Keywords: laterites; physical and chemical characterization; geotechnical behavior

Citação: CAETANO, N.R. Tratado sobre lateritos na Amazônia Ocidental brasileira. Boletim Paranaense de Geociências, v. 80, n.1, p. 56-69. 2022.

1. INTRODUÇÃO

Profissionais das geociências aplicadas e engenheiros geotécnicos têm lançado mão do uso cada vez maior de tecnologias para análise de materiais, modelagem de seu comportamento, verificação de suas características etc. Ao longo do tempo, estudos prévios por fotointerpretação e observação em campo tem sido descartados e substituídos por ensaios de laboratório! Disso decorre cada vez mais conhecimento específico ou pontual e menor entendimento do ambiente, dos processos envolvidos, da dinâmica do meio físico e da interação entre os vários fatores atuantes.

Partindo de fotointerpretação e observação em campo é possível a dedução de hipóteses acerca dos processos atuantes e das características dos materiais envolvidos. Quando retornam as análises de laboratório é possível o teste das assertivas pré-determinadas. Portanto sem a prévia dedução, não há hipótese a ser testada e as conclusões ficam condicionadas somente aos dados pontuais das amostras enviadas aos laboratórios cujos resultados, daí em diante, se constituem de toda a verdade científica disponível. Sem dados de observação em campo impera a indução do comportamento do meio físico a partir de amostras pontuais. Nessa ótica, o presente trabalho, no intuito de explicar observações de campo, apresenta uma caracterização completa dos lateritos da região de Porto Velho, que ocorrem em toda a Amazônia

Ocidental brasileira, trazendo informações de ensaios geotécnicos, geofísicos, geoquímicos, estruturais, morfológicos, fluorescência e difração de raios-X e comportamento espectral.

Segundo CPRM (2012) ocorrem dois tipos de lateritos na região, ambos imaturos:

(1) NQcl – Laterito Crosta, que se apresenta aflorante em domos até a cota 130m, se constitui de blocos colunares centimétricos a métricos com agregações metálicas a um núcleo de sílica envoltos em rara matriz argilosa. Em aspecto pode-se confundi-lo com um conglomerado.

(2) NQclm – Laterito Mosqueado, que constitui grande parte da superfície de aplainamento regional, atualmente próximo da cota 90m, encontra-se mais intemperizado e apresenta-se normalmente em fase argilosa mosqueada ou variegada. Também pode ser notado como um horizonte plíntico.

2. ÁREA DE ESTUDO

Localizada na Amazônia Ocidental, a região de Porto Velho compreende além da própria sede do município, uma macrorregião socioeconômica que abrange a norte Lábrea/AM, a leste Humaitá/AM, a oeste Rio Branco/AC e a sul Ariquemes/RO. Também nessa região ocorre em abundância um tipo de material denominado de Laterito por Costa (1991), que para Aleva (1994) seria o quarto tipo de rochas.

Os lateritos se tratam de um produto de intemperismo tropical, um tipo de rocha sedimentar química formada no plio-pleistoceno em ambiente oxidativo com grande flutuação de níveis freáticos ácidos sazonais. Na Amazônia ocidental em geral ocorrem grandes afloramentos de lateritos imaturos (Costa, 2008), sem enriquecimento mineral relevante.

Devido ao rebaixamento de toda a região por aplainamento (Vitte, 2005 e CPRM, 2005a), as ocorrências de lateritos crosta se mostram como pequenos morros, resistatos, domos ou hillocks, que se destacam do relevo ao redor com cerca de até 40m de amplitude altimétrica. Comumente faz contato lateral com lateritos mosqueados e com o arenito Içá na base (CPRM, 2004 e CPRM, 2005b).

A primeira grande obra usando lateritos que se tem registro na região é o Forte Príncipe da Beira, nos idos de 1770, que obtinha grandes “tijolos” após a queima da parte clástica misturada com argila. Mas mesmo antes disso, há várias evidências arqueológicas de usos diversos desse material. Atualmente tem sido extensivamente usado como base de rodovias, lastro, aterro, no corpo de barragens e até como agregado para concreto (Oliveira et al, 2011). Dada a demanda

crescente, Herrera et al (2017) elaborou um método para busca de jazidas na região. Para efeito dos estudos ora apresentados, definiu-se uma área piloto localizada nas imediações da cidade de Porto Velho/RO onde foram realizados todos os testes e ensaios de campo e coletadas amostras para ensaios de laboratório. A Fig. 1 apresenta um

esquema da área de estudo, coordenadas de referência UTM/WGS-84: 417214m, 9043125m.



Figura 1. Esquema da área de estudo.

3. MÉTODOS

O presente trabalho é fruto da reunião de diversos ensaios de campo e laboratório realizados ao longo de 8 anos de experiência dos autores na região de Porto Velho e aplicados à área de estudo, apresentados a seguir:

(1) Trabalhos de campo: se deram conforme as recomendações de Jimenez-Rueda (2003), efetuando-se observações e ensaios táteis-visuais de física de solos e mecânica de rochas, utilizando martelo, lupa, enxada, GPS, câmera fotográfica, HCl a 10%, tabela granulométrica e de Munsell, bússola etc.

(2) Geofísica: executaram-se quatro linhas de eletrorresistividade (tomografia elétrica multipolar 2D polo-dipolo, utilizando Resistivímetro ABM AL48-c) com passo de 10m entre eletrodos, o que permite profundidades de até 80m, totalizando 2110m de comprimento linear.

(3) Geoquímica: de elementos maiores, menores, traços e terras raras (TR) para 10 amostras de diferentes aspectos em que o material se apresenta em campo.

(4) Comportamento espectral: na região do ultravioleta até o infravermelho médio de 4 amostras, realizado pela equipe da BESB/ESALq/USP.

(5) MEV: 15 imagens obtidas por um Microcópio Eletrônico de Varredura, modelo Philips XL30 que se encontra no LCME/UFSC, com ampliação de até 10.000 vezes e análises químicas parciais por microsonda para 1631 amostras.

(6) RAMAM: Espectroscopia de espalhamento a laser em 2 amostras no LCME/UFSC.

(7) Análises de Raios-X: por difração (DR-X), dispersão (EDS) e fluorescência (FR-X) em 6 amostras ao todo, realizados no LCME/UFSC, CM/UFMG e LDCM/SENAI/SC.

(8) Ensaios geotécnicos: de simples caracterização como granulometria, limites de Atterberg (LL, LP e IP), umidade ótima (wot), densidade máxima (dmax), expansão, índice de suporte Califórnia (CBR) e classificação geotécnica HRB em 18 amostras da unidade NQcl e 24 da unidade Nqclm.

4. RESULTADOS

4.1. Análise de Perfis Tipo

A Fig. 2 apresenta um perfil estratigráfico representativo da formação NQcl – Lateritos Crosta (CPRM, 2012) que ocorre em toda Amazônia ocidental brasileira, na qual se verificam as camadas, em ordem descendente, descritas abaixo.

De maneira geral esse material pedregoso e pouco permeável se estrutura de maneira prismática centimétrica, com núcleos de sílica/limonita, presença de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e outros metais, concentrando mais alumínio que os lateritos mosqueados (NQclm). Na fase argilosa predominam argilas 1:1, com presença de argilas 2:1 (vide comportamento espectral na Figura 4, curva Neossolo Regolítico C).

(1) Solo orgânico, com espessura de até 1m, se trata de um material com forte contribuição de matéria orgânica, destoando dos solos orgânicos do entorno por ser muito escuro (cor 5YR 2/1), vide comportamento espectral na Figura 4, curva Neossolo Regolítico A. Material solto e fofo, com alta atividade biológica, onde os primeiros 10cm são serapilheira e abaixo se encontram restos vegetais carbonizados, raízes etc. É muito fértil, conhecido na região como terra preta e configura-se como uma grande fonte de material orgânico para adubo vegetal. Chama a atenção o fato desse solo orgânico só ser encontrado cobrindo as formações de lateritos crosta, portanto configurando-se como um material muito procurado e já em escassez na região. Em contato abrupto com a camada clástica superior.

(2) Clástica superior, com até 2m de espessura onde predominam blocos colunares amarelo-avermelhados, com núcleo

de limonita, envoltos em argila amarelada que representa cerca de 25% em peso da massa. Apresenta-se sofrendo ação direta do intemperismo atual, com presença de raízes e matéria orgânica, que provoca desagregação de seus blocos colunares milimétricos a centimétricos, resultando em uma matriz argilosa amarelada. É possível escarificação ou desmonte com picareta ou pá carregadeira. Pouco permeável, empolamento cerca de 30%, alta capacidade de suporte e resistência a erosão e compressão. Segundo EMBRAPA (1999) pode ser classificado como um Neossolo Regolítico Distrófico Frágipânico Léptico (RRdfl). Faz contato gradual com a camada colunar coesa.

(3) Colunar coesa, com até 3m de espessura, apresenta blocos decimétricos e por vezes métricos, de aspecto colunar, vermelho-amarelados e com núcleo de limonita/sílica. É a camada mais endurecida do perfil, por vezes exibindo alta resistência ao impacto e ao corte, com menos de 10% de argila na massa. Pouco permeável, empolamento cerca de 40%, alta capacidade de suporte e resistência a erosão e compressão, comportamento análogo ao de rocha. Escarificação ou desmonte difícil por picareta ou escavadeira hidráulica. Faz contato gradual com a camada clástica inferior.

(4) Clástica inferior, com até 2m de espessura onde predominam blocos e prismas colunares milimétricos a centimétricos avermelhados, com núcleo de limonita, envoltos em argila vermelho-amarelada. Assemelha-se em aspecto à camada clástica superior, mas de coloração e, portanto, evolução diferente, já que a ação intempérica está limitada pelas camadas superiores. A escarificação ou desmonte é possível com picareta ou pá carregadeira. Faz contato gradual com a camada argilosa vermelha.

(5) Argilosa vermelha, com clastos milimétricos de concreções lateríticas nas cores vermelho, amarelo, ocre, roxo e preto. Macia, friável, muito plástica, muito pegajosa, baixa resistência a erosão, impermeável,

empolamento da ordem de 40% a 50%. Com espessura de vários metros até contato abrupto com a Formação Içá.

A Fig. 3 apresenta um perfil estratigráfico representativo da formação NQclm – Lateritos Mosqueados (CPRM, 2012) que ocorre em toda Amazônia ocidental brasileira, na qual se verificam as camadas, em ordem descendente, descritas a seguir:

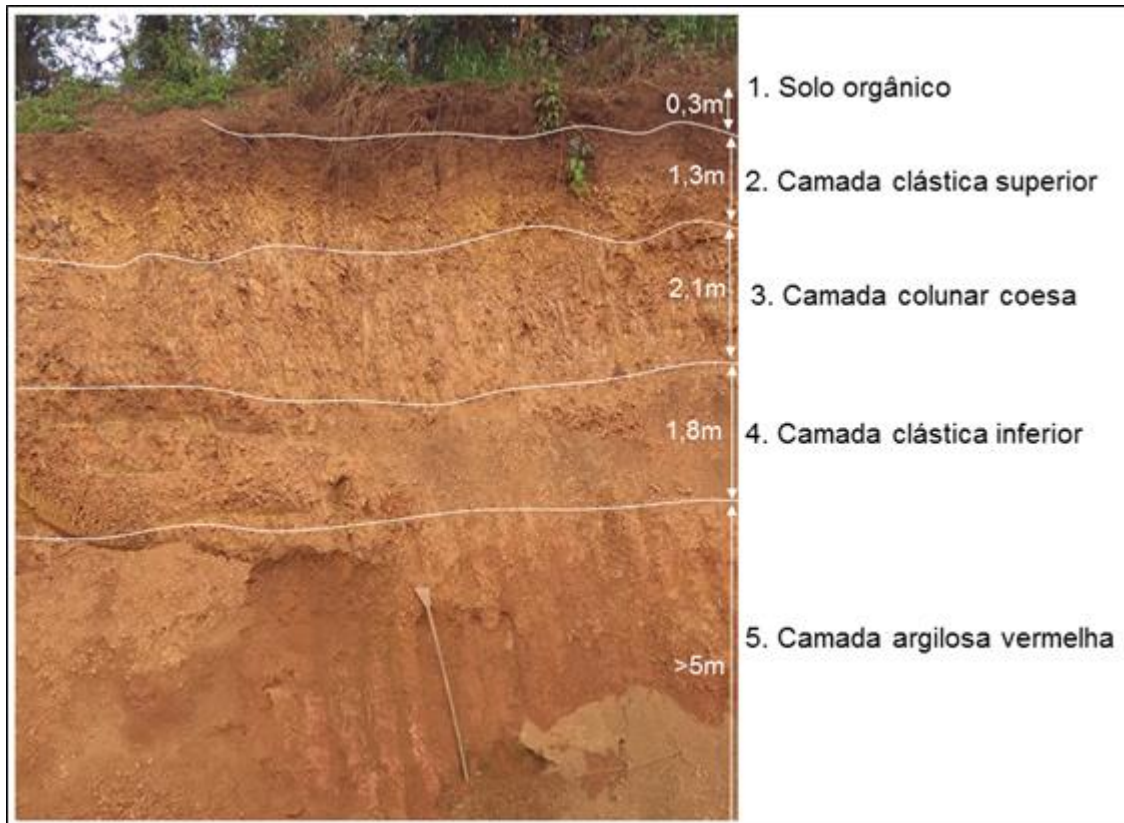
(1) Horizonte A orgânico, com espessura de até 0,3m, se trata de um material com contribuição de matéria orgânica, solto, com alta atividade biológica e restos vegetais, raízes etc. Na Figura 4, curva Latossolo A, observa-se que apresenta comportamento espectral mais próximo a um solo mineral do que orgânico, com forte presença de argilas 2:1, caulinita e óxidos e hidróxidos de ferro. Faz contato gradual com o horizonte B.

(2) Horizonte B amarelado, com até 2,0m de espessura, homogêneo, pouca presença de raízes e matéria orgânica. Quando seco apresenta estrutura fraca, pulverizando-se sob qualquer esforço, baixa resistência ao corte por trado e boa permeabilidade (da ordem de 10^{-4} m/s). Úmido apresenta alta plasticidade e pegajosidade. Em campo se observa dificuldade em obter compactação e alta erodibilidade. Segundo EMBRAPA (1999) pode ser classificado como um Latossolo amarelo distrófico (LAd). Faz contato abrupto plano-paralelo com os Lateritos Mosqueados, onde escoia um lençol freático suspenso na época das chuvas.

(3) Laterito Mosqueado, com até 20m de espessura, muito argiloso de coloração variegada (vermelho, amarelo, branco, preto, cinza, esverdeado), apresenta permeabilidade muito baixa (da ordem de 10^{-7} m/s) e alta resistência ao corte por trado. Quando seco apresenta-se muito duro e coeso, com alta capacidade de suporte e baixa erodibilidade,

sob umidade é plástico e muito pegajoso. É composto por sílica, caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e outros metais com predomínio de argilas 1:1, mas também com presença de argilas 2:1 (vide comportamento espectral na Figura 4, curva Latossolo B). Segundo EMBRAPA (1999) pode ser classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico petroplíntico (LVAdpp). No meio da camada exposta na Figura 3 aparece uma descontinuidade na forma de laje endurecida com espessura menor que 1cm, chama a atenção para a coloração mais avermelhada acima dele (passagem de água, oxidativo) e esbranquiçada abaixo (retenção de água, redutivo). A retenção de água apresenta-se invertida na descontinuidade pois a variação de nível da água subterrânea somado ao movimento ascendente por capilaridade na região, encontra um anteparo para ascensão, enquanto as águas de infiltração continuam o movimento lateralmente, carregando ions, oxidando metais e solubilizando sais perfil afora. Faz contato abrupto com as areias da Formação Içá e funciona como um selo hídrico (aquifugo) entre as águas de subsuperfície e as águas do Aquífero Içá.

(4) Areias Formação Içá, não aparentes na Fig. 3, apresentam-se com dezenas de metros de espessura na região, estão descritas por Bizzi et al (2003) e são camadas de areias quartzosas arredondadas finas a médias depositadas em ambientes flúvio-lacustres, com lentes dispersas contaminadas por ferro ou enxofre. É a borda sudoeste do Aquífero Amazônia e a grande fonte de água subterrânea da região.



Figura

2.

Estratigrafia típica da unidade NQcl – Lateritos Crosta. (1) Solo orgânico; (2) Clástico superior; (3) Colunar coeso; (4) Clástico inferior; (5) Argiloso vermelho.

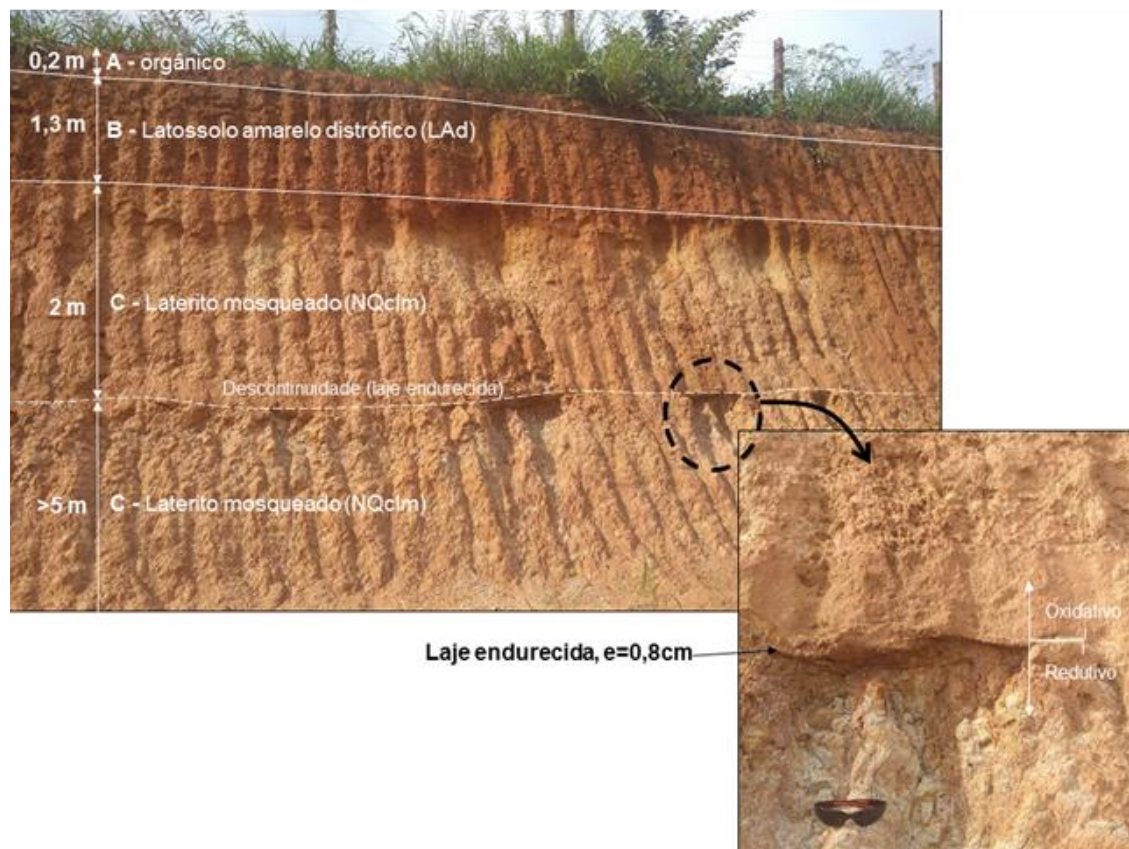


Figura 3. Estratigrafia típica da unidade NQclm – Lateritos Mosqueados. (1) Horizonte A orgânico; (2) Horizonte B amarelado; (3) Lateritos Mosqueados.

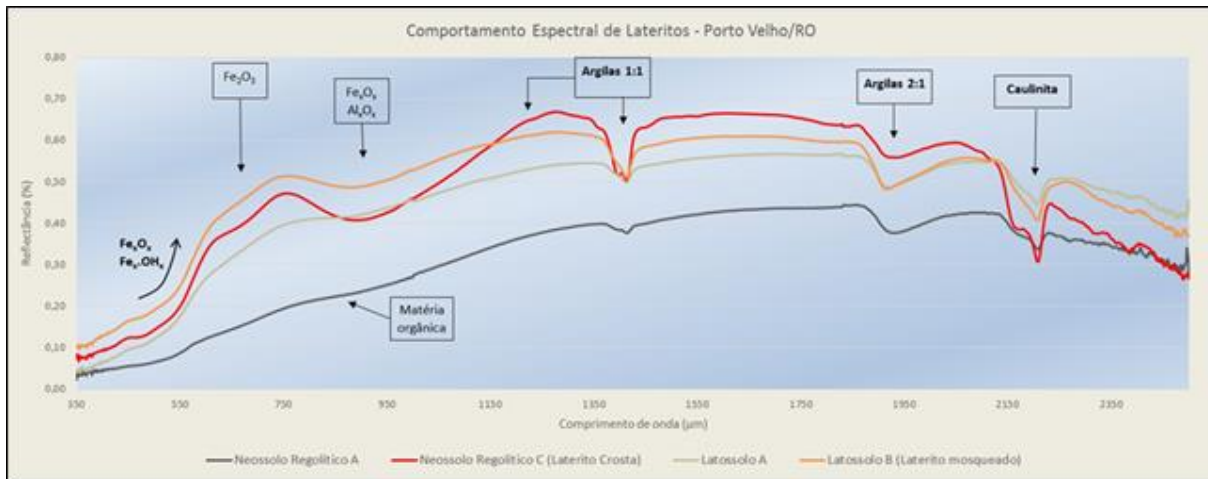


Figura 4. Comportamento espectral para os Lateritos Crosta e Mosqueado, junto com seus respectivos horizontes A.

4.2. Comportamento de campo

4.1.1. Mucururu

As formações lateríticas são fonte de metais em vários lugares do mundo, concentrando especialmente ferro, alumínio, titânio e ouro. A mais conhecida no Brasil é a mineração de ferro Carajás em Parauapebas/PA. Na região de Porto Velho os lateritos são classificados como imaturos por Costa (1991), pois não concentram nenhum mineral em teor de exploração.

De maneira localizada, algumas formações lateríticas concentram ouro em pequena quantidade na base da camada clástica inferior, que é muito procurada por pequenos garimpeiros, especialmente nas proximidades do rio Madeira na época de vazante. Quando concentram ouro, os lateritos são chamados pelos garimpeiros de “mucururu”.

Dos resultados dos ensaios geoquímicos (Fig. 5a) nota-se que o material apresenta predominância de Fe, Si e Al em diferentes concentrações e, segundo Costa (2008) seria classificado como Laterito Ferrítico (Fig. 5b). Entre os elementos menores (Fig. 5c) se destaca V, Zn e Cr. A soma das Terras Raras (TR) não ultrapassa 150ppm, sua distribuição

obedece o padrão do efeito Oddo-Harkins (Fig. 5d) e em relação à um condrito (McDonough & Frey, 1989) as amostras concentram as TR leves (Fig. 5e).

4.1.2. Cascalheira

Chamado de itacurubi (amontoado de pedras pequenas) pelos tupis, os afloramentos de lateritos crosta na região de Porto Velho/RO são comumente conhecidos como “cascalheiras” e são muito disputados para extração cascalho laterítico, que é aproveitado em obras de aterro, pavimentação etc. Dada a procura cada vez maior por esse material, CPRM (2012) resolveu identificar e delimitar essa unidade geológica no Estado de Rondônia.

Os ensaios geotécnicos (Tabela 1, Fig. 6) mostram que as camadas clásticas superior e inferior (Fig. 2) fornecem material apropriado para ser utilizado em bases e sub-bases de rodovias, obtendo classificação HRB A-2-6: excelente para base e sub-base de vias (Bell, 1993), além disso, suas características possuem baixa variabilidade (baixo desvio padrão, a não ser para o CBR) que garante confiabilidade de desempenho.

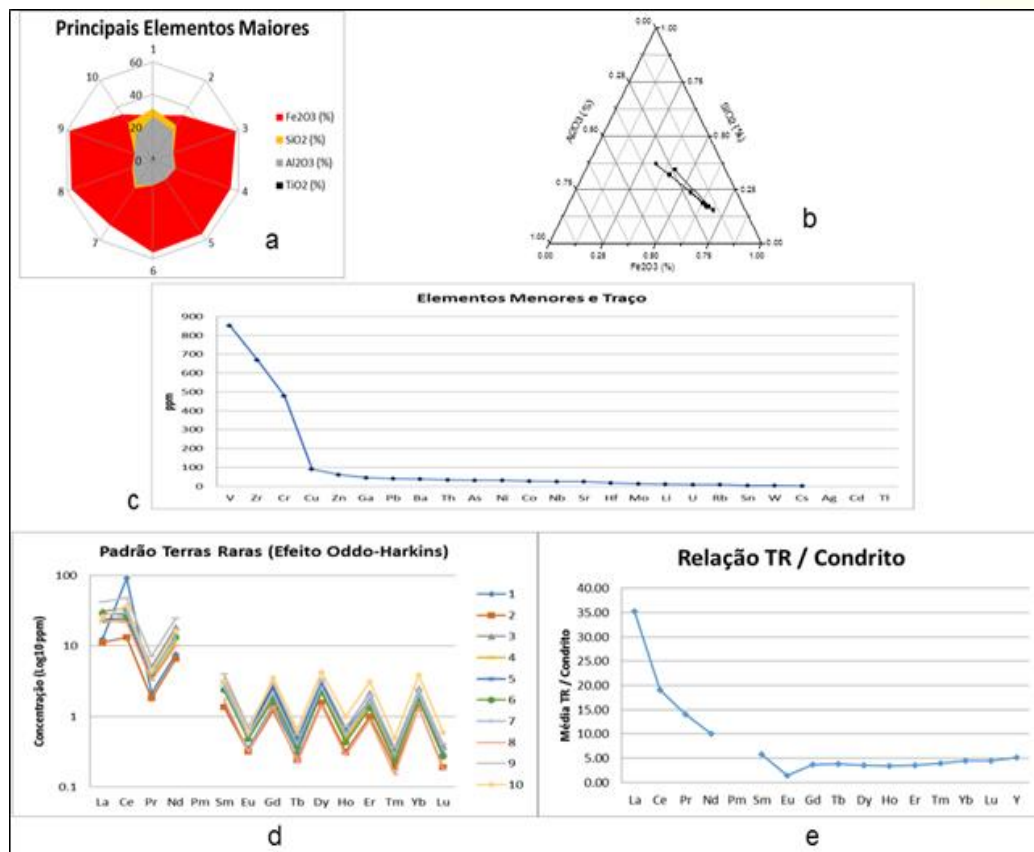


Figura 5. Geoquímica. (a) Elementos maiores; (b) Triângulo de Costa (2008); (c) Elementos menores e traço; (d) Efeito Oddo-Harkins nas terras raras; (e) Relação terras raras/condrito.

Tabela 1. Caracterização geotécnica e classificação HRB.

	Média	Desvio padrão
Limite de Liquidez (LL) [%]	33,36	2,17
Limite de Plasticidade (LP) [%]	19,51	1,71
Índice de Plasticidade (IP)	13,85	2,28
Umidade Ótima (w_{ot}) [%]	13,69	1,62
Densidade Máxima (d_{max}) [g/cm ³]	2,03	0,57
Expansão [%]	0,24	0,27
CBR [%]	92,41	25,3
Classificação HRB	A-2-6 cascalhos argilosos	

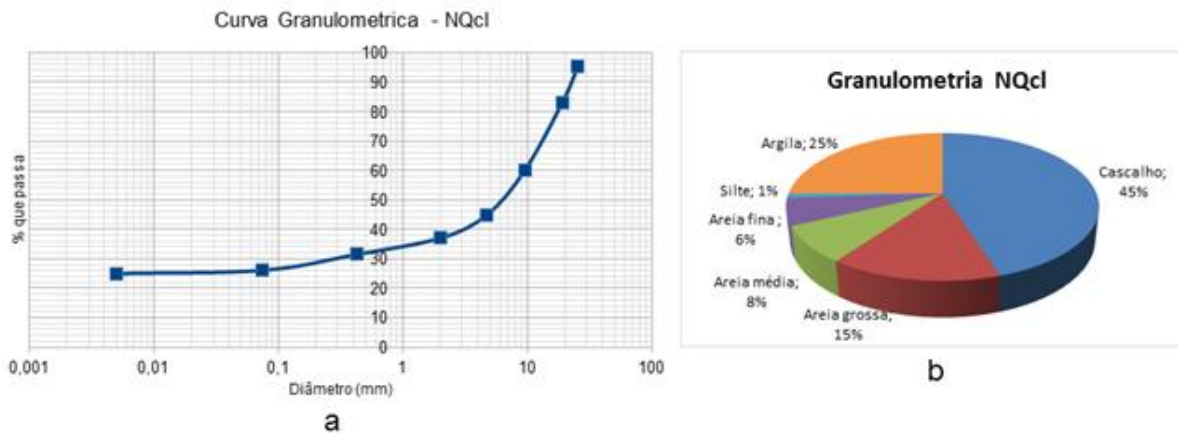


Figura 6. Granulometria Lateritos Crosta (NQcl). (a) Curva granulométrica; (b) Composição granulométrica.

4.1.3. Borrachudo

Observa-se que o material proveniente das cascalheiras depois de compactado nos aterros, exibe forte influência da umidade a que é submetido. Se a umidade aumenta, o aterro rapidamente passa do estado plástico para o líquido, dada a proximidade entre LP e wot e o baixo LL. Com o uso da via, sob tensões, passa a exibir grandes deformações. É o que se chama de borrachudo e que pode ser explicado pela grande quantidade de microagregados de óxidos e hidróxidos metálicos. A água molecular quando cobre a estrutura microagregada de Si envolta por óxidos e hidróxidos de Fe e Al começa a desprender material argiloso na massa < 4µm), mas ainda sob forças iônicas, aumentando a superfície específica e, portanto, a plasticidade e a pegajosidade observadas em campo.

Na Fig. 7a se observam microagregados de sílica e oxi-hidróxidos metálicos com diâmetro entre 1 e 60µm (argila a areia fina), sendo que os agregados maiores podem ser rompidos na presença de água e vibração, agregando-se novamente em novas configurações estruturais após secagem da massa. A Fig. 7b apresenta uma imagem MEV que mostra uma estrutura amorfa em nuvem com presença de goetita e sílica, na qual predominam ligações iônicas. Sob umidade há distensão dessa estrutura até o limite das forças iônicas, quando o material começa a exibir comportamento plástico/viscoso. As Fig. 7c e 7d apresentam as formas de microagregação colunar e lenticular, respectivamente, com a

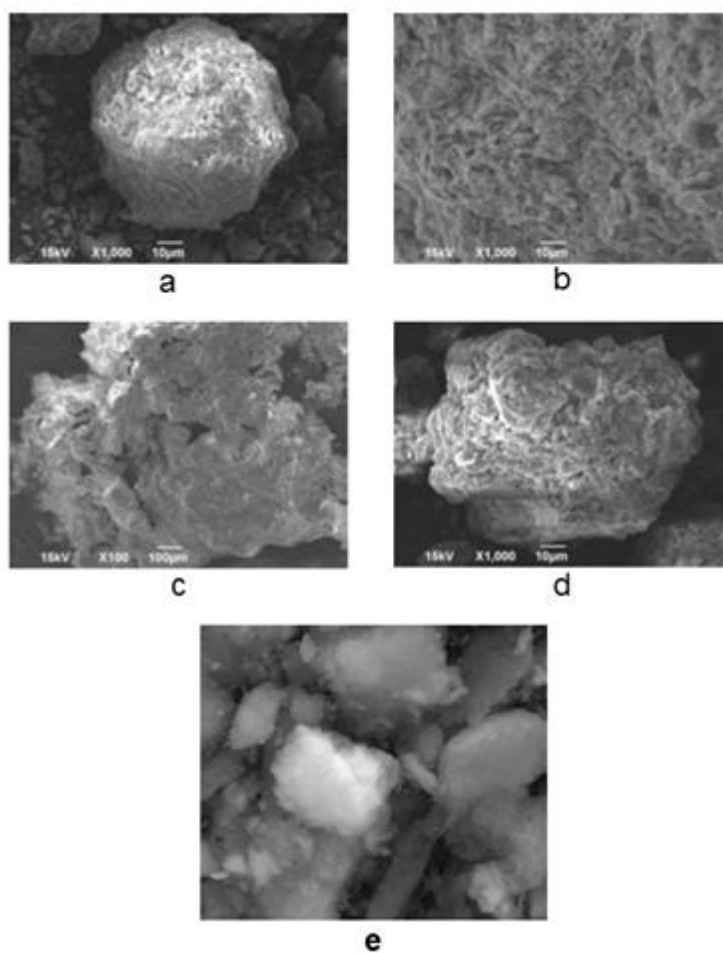
presença de oxi-hidróxidos, carbonatos e cloretos metálicos. E, na Fig. 7e pela boa definição de estruturas prismáticas de hematita, goetita, quartzo e outros, se vislumbra a ocorrência de ligações covalentes e metálicas.

Já a Tabela 2 apresenta um resumo da geoquímica obtida pela microsonda EDS ligada ao MEV, com a porcentagem média de cada elemento e a frequência encontrada em 1631 amostras. E, por fim, a Fig. 8 apresenta um modelo de distribuição de elementos em uma amostra submetida ao EDS, na qual se observa forte correlação espacial entre óxidos de sílica e alumínio (Fig. 8d, 8e, 8f), que se encontram microagregados e envoltos em matriz de hematita, goetita, limonita, além de carbonatos e cloretos de ferro, com contribuição de calcita e traços de titânio, cromo e ouro. Os “vazios” observados nas Fig. 8d, 8e, 8f representariam o “esqueleto” final do processo de lixiviação por intemperismo, mas que nas amostras no momento não ocorre.

Por outro lado, ao submeter as amostras à difração de raios X (DR-X) ou à fluorescência de raios X (FR-X) o núcleo de sílica é mascarado, predominando caulinita, seguida de goetita e hematita, com traços de haloisita, brucita, dickita, antigorita, magnetita, wustita, moissanita e ainda outros silicatos e hidróxidos de Al, Fe, Mg, K e Na, como observado na Fig. 9, onde também o espectro RAMAN é obliterado pela forte presença de metais.

Tabela 2. Média das medições de geoquímica por EDS/MEV.

Elemento	O	Fe	C	Al	Si	Ca	K	Ti	Au	Ga	P
Média (%)	37.9	31.4	11.3	9.2	8.8	6.1	2.3	1.0	0.4	0.3	0.2
Porcentagem de ocorrência nas amostras	100	100	61	100	100	18	46	82	67	3	6

**Figura 7.** Imagens MEV. (a) Microagregados 1 a 60µm (argila a areia fina); (b) Estrutura amorfa de goetita e sílica; (c) Microagregação em estrutura colunar. (d) Microagregação lenticular; (e) Ligações covalentes e metálicas.

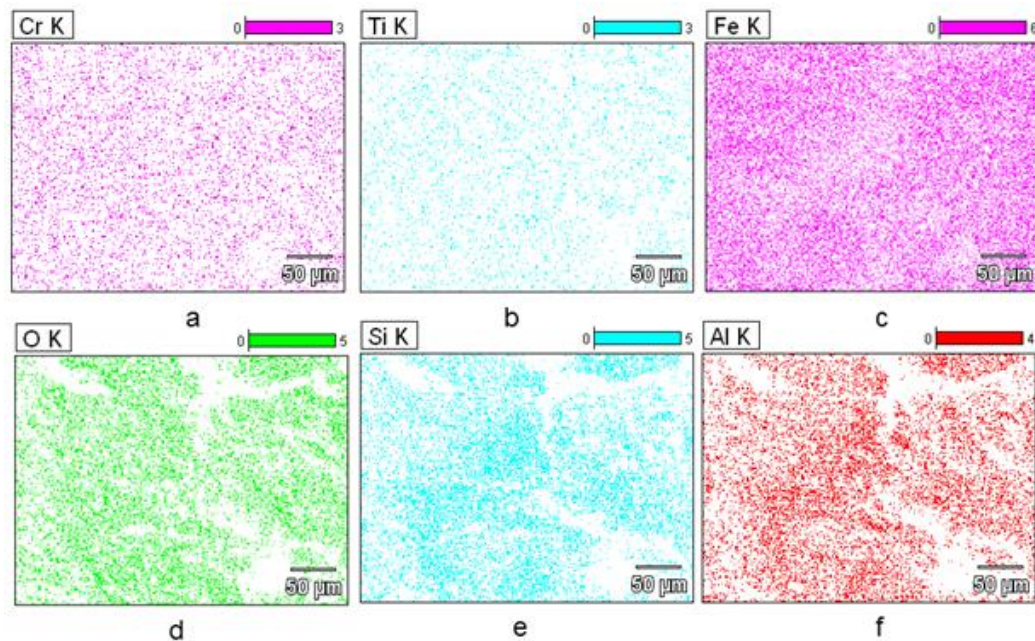


Figura 8. Modelo de distribuição espacial de elementos químicos Cr, Ti, Fe, O, Si e Al.

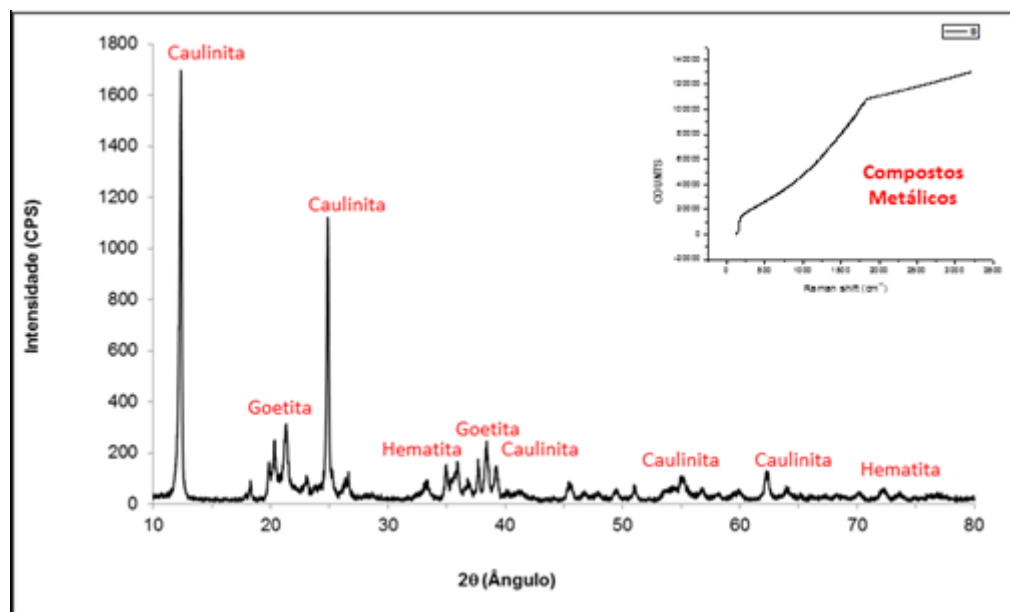


Figura 9. Difração de Raios-X e espalhamento RAMAN.

4.1.4. Piçarras e Tabatingas

De maneira geral, os lateritos mosqueados (unidade NQclm), apresentam elevada capacidade de suporte, alta dureza, forte coesão, alta resistência à erosão, resistência ao corte e baixíssima permeabilidade. Esses fatos podem ser explicados pela retomada de processos de laterização in situ, mesmo em aterros e obras. Águas ácidas da região, com pH abaixo de 5,0 (Caetano et al., 2015), utilizadas no umedecimento da massa e a

própria energia de compactação, acabam favorecendo a mobilização de íons metálicos, especialmente os ferrosos, como os encontrados no DR-X, FR-X e EDS (Tabela 2), que geram nova configuração microestrutural (vide imagens MEV da Fig. 7), produzindo uma cimentação in situ no aterro, proporcionada por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Mas não só nos aterros, as camadas naturais, dentro do perfil estratigráfico, também sofrem a atuação dos mesmos processos de dinâmica do meio

físico, que acabam produzindo um horizonte extremamente endurecido pela mobilização e reagrupamento desses íons metálicos. De características mosqueada e plíntica, esse horizonte é denominado pela sigla NQclm por CPRM (2012) e se tratam dos Lateritos Mosqueados, tradicionalmente conhecidos como Piçarras (quando predomina a cor branca) ou Tabatingas (quando predomina a cor vermelha).

4.1.5. Pedra-jacaré e cabeça-dura

O material disponível na camada colunar coesa é também conhecido como pedra sapo pelos povos do Alto Solimões ou como pedra jacaré pelos povos do Alto Madeira. Esses povos lascavam as partes com grande concentração de ferro da jazida para usa-las como ponta de flechas, utensílios cortantes, moldes ou amoladores.

No campo se encontram porções do afloramento extremamente litificadas, que produzem som de sino ao impacto do martelo. Essas porções são conhecidas como cabeça dura e não podem ser escarificadas ou desmontadas por equipamentos convencionais. Tal comportamento foi também identificado pela geofísica de

eletrorresistividade, como se pode observar no modelo de resistividade real do terreno disponível na Figura 10 (com detalhe para foto do local em campo), que aponta regiões do maciço onde os valores ultrapassam 7.000 Ohm.m, compatível com rochas ígneas ou metamórficas de alto grau (Milsom, 2003).

Além disso, tal resistência mecânica e densidade decorrem de ligações covalentes e metálicas, identificadas nas imagens MEV da Fig. 7e. A composição química é diferenciada do restante do maciço, determinada na análise de 18 amostras por EDS/MEV, é apresentada na Tabela 3. Diferentemente do restante do maciço, nessa porção endurecida ocorre grande concentração de hematita, goetita, limonita e magnetita.

Tradicionalmente os blocos decimétricos da camada colunar coesa são utilizados para grandes aterros, fundações e barragens de enrocamento. Os blocos métricos da cabeça dura raramente são aproveitados, dado sua densidade, dimensões e dificuldade de fracionamento.

Tabela 3. Composição química média por EDS/MEV para 18 amostras da “cabeça dura”.

%Fe	%O	%Si	%Al	%Ti	%K
72.46	12.75	4.81	4.07	3.80	2.11

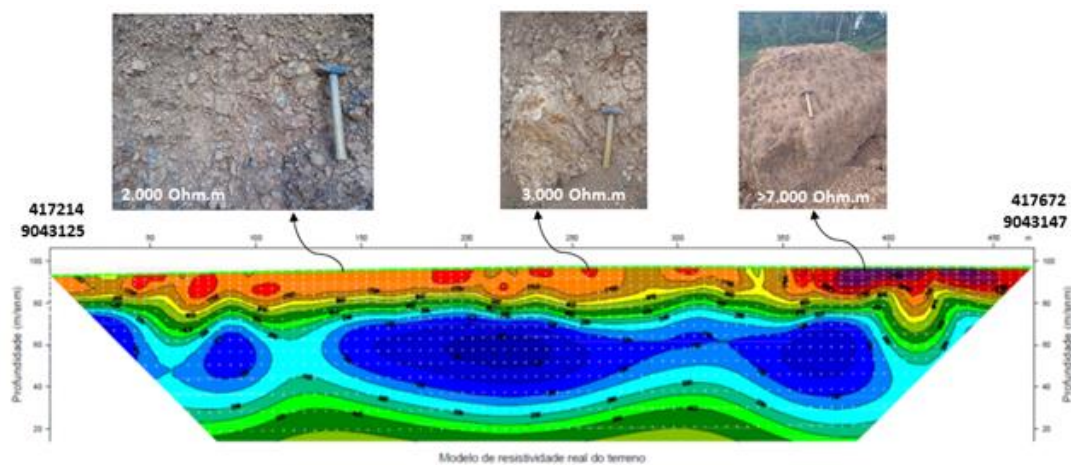


Figura 10. Modelo de resistividade real do terreno, com detalhe para fotos em campo.

5. CONCLUSÕES

A união de técnicas de geoprocessamento com métodos de fisiografia, física de solos, pedologia, geotecnia e geologia de engenharia permite a obtenção de informações prévias em escritório, que no presente permitiram delimitar a área de estudos, depois em campo proceder análises no intuito de compreender a dinâmica do meio físico atuante, para coletar amostras a serem enviadas ao laboratório a fim de julgar hipóteses levantadas em campo e complementar a análise. No presente, para fins de pesquisa, reuniu-se um grande leque de ensaios de campo e laboratório, mas na prática de uma obra ou ação humana os técnicos envolvidos podem decidir sobre quais procedimentos e ensaios resultam em melhores resultados, considerando também seus custos.

O método permite integrar e analisar informações relevantes do meio físico sem se prender a uma área específica do conhecimento, então se serve de informações de processo advindas das geociências e determinísticas advindas da tecnologia, buscando compreender a dinâmica do meio físico e o comportamento do material.

As jazidas de lateritos NQcl e NQclm da região não possuem viabilidade para exploração mineral, seja de ferro, titânio, terras raras ou qualquer outro elemento químico. Como aterro, base e sub-base de rodovias são

amplamente utilizadas e os resultados apresentados explicam a prática do mercado. Em imagens de geofísica aerotransportada (campo magnético e Gama-espectrometria de Th, U e K), não se identificou qualquer padrão de comportamento para os Lateritos Crosta (NQcl), mas os dados de geofísica por eletrorresistividade (Fig. 10) mostram, de maneira geral, um padrão semelhante ao de brechas ou conglomerados.

O comportamento observado diretamente em campo, associado aos diversos ensaios de laboratório, permitem a completa caracterização do material e o entendimento dos principais processos do meio físico vigentes no ambiente dos lateritos na Amazônia ocidental brasileira.

A associação entre observações em campo, ao melhor estilo renascentista, e ensaios de laboratório, ao melhor estilo da ciência moderna, permitem a dedução de hipóteses e a indução do comportamento geológico-geotécnico em unidades de relevo, onde há comportamento homólogo.

Com a análise das características físico-químicas se conseguiu a compreensão de como o material se mostra adequado para aterros e bases de vias. A mesma análise permite antever seu uso como agregado, na fabricação de tijolos e outros usos na construção civil. Também permitiu compreender como o material se organiza no perfil estratigráfico, a dinâmica da água no

meio, os processos físico-químicos envolvidos e a melhor utilidade para cada material de cada uma das camadas.

Além do uso como material de construção, uma questão relevante acerca dos lateritos crosta NQcl é que eles formam hillocks ou morros isolados na paisagem. São um desafio para ocupação de qualquer natureza, pois são pobres em água e difíceis para cortes de acessos. Por outro lado, possuem boa resistência mecânica, suportando taludes altos e baixa deformação quando solicitados. Os resultados estão de acordo, complementam e se somam aos já obtidos por Herrera et al (2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEVA G.J.J. (organizador) Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry. Wageningen/NL: ISRIC. 153p. 1994.
- BELL, F.G. Engineering Geology. Oxford: Blackwele Science Ltd. 359p. 1993.
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 692 p. 2003.
- CAETANO, N.R.; BRINGHENTI, I.; LIMA, L.F.M. Qualidade e disponibilidade da água nas formações lateríticas de Porto Velho/RO. Anais III Simpósio de Recursos Hídricos. Rolim de Moura: UNIR. p. 34. 2015.
- COSTA, M.L. A importância da lateritização para a formação de depósitos minerais e suas perspectivas para os terrenos brasileiros. Anais III Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral. Ouro Preto, Minas Gerais, 18 a 21 de maio/2008.
- COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, v.21 (2), p.146-160. 1991.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Carta geológica. Folha Porto Velho. SC.20 V-B-V. Programa Geologia do Brasil. Escala 1:100.000. 2012.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil. Escala 1:2.500.000. 2004.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Mapa geomorfológico da área de influência direta. Escala 1:100.000. AHE Santo Antônio - Estudos de Viabilidade. 2005a.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Mapa hidrogeológico da área de influência direta. Escala 1:100.000. AHE Santo Antônio - Estudos de Viabilidade. 2005b.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisas Agronômicas. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília. 412p. 1999.
- HERRERA, I.L.I.E.; SILVA FILHO, E.P.da; IZA, E.R.H.deF. Mapeamento do Regolito Laterítico e Aspectos Morfopedogenéticos da Porção Norte do Estado de Rondônia. Revista Brasileira Geomorfologia. São Paulo, v.21, n.3, (Jul-Set) p.615-637, 2020.
- HERRERA, I.L.I.E.; SILVA FILHO, E.P.da; IZA, E.R.H.deF.; HORBE, A.M.C.; SANTOS, S.L.M.dos; CABRAL, L.N. Técnica Booleana Aplicada à Identificação de Crostas Lateríticas no Sudoeste da Amazônia Brasileira. Revista Brasileira Geomorfologia. São Paulo, v.18, n.2, (Abr-Jun) p.411-425, 2017.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Origem e Evolução de Solos. Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente. IGCE/UNESP. Rio Claro, 2003.
- MCDONOUGH, W. F.; FREY, F.A. Rare earth elements in upper mantle rocks. In: LINPIN, B.R.; MCKAY, G.A. (Ed.) Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements, Vol. 21, pp. 99-145. Mineral. Soc. Amer. 1989.
- MILSON J. Field Geophysics - The Geological Field Guide Series. 3 ed. London: Wiley, 249 pp. 2003.
- OLIVEIRA, D.R.C.de; NETO, B.B.P.; FUJIYAMA, R.T.; FERREIRA, M.deP. Propriedade mecânicas de concreto laterítico com metacaulim. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.17, p.25-31, Maio, 2011.
- VITTE, A.C. Etchplanação dinâmica e episódica nos trópicos quentes e úmidos. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo : USP. v. 16, p. 105-118. 2005.

Submetido em 23/05/2021

Aceito em 22/12/2021