





Caracterização Física da Formação Rio Claro para Potencial Uso Industrial e na Construção Civil

Physical Characterization of Rio Claro Formation with Potential Use on Industry and Construction

João Carlos Cerqueira , Fábio Augusto Gomes Vieira Reis , Victor Hugo Hoffmann 
& Alan de Oliveira 

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil

E-mails: jocacerq@hotmail.com; fabioreis@rc.unesp.br; victor.h.h.273@gmail.com; alan.oliveira@unesp.br

Resumo

A areia é um produto mineral muito importante para a construção civil e indústria, como agregado e insumo de pisos cerâmicos, vidro e fundição. Os grandes centros urbanos são os principais consumidores de areia, o que tem ocasionado a exaustão de várias minas em suas proximidades, principalmente, na região sudeste do país, o que cria a necessidade de pesquisa de novas jazidas em localidades cada vez mais distantes. O presente trabalho apresenta o estudo desenvolvido sobre a Formação Rio Claro, que visou caracterizar tecnologicamente sua litologia e solo. A pesquisa envolveu etapas de preparação de bases cartográficas, delimitação da ocorrência da Formação Rio Claro em áreas passíveis de serem exploradas, coleta de amostras, análise das amostras pelos ensaios de peneiramento e sedimentação, índices físicos, análise em lupa e comparação com as normas existentes para uso industrial e construção civil. Foram coletadas 33 amostras em 15 diferentes pontos entre solo, arenito friável do arenito esbranquiçado e areias beneficiadas pela mineração existente na região que já explora essa formação. As análises de granulometria, índices físicos e impurezas nos grãos, demonstraram uma variação de atributos ao longo da formação, mais viável economicamente no arenito esbranquiçado situada em profundidades de 4 a 10 m, com 10 a 15 m de espessura. Em comparação aos outros materiais da formação, essa sequência apresenta cerca de 10% menos finos, grãos de areia sem crosta de ferro e ausência de magnetita, salientando sua maior espessura no relevo de colinas tabuliformes. Pelas normas, os materiais arenosos da formação, após beneficiamento, podem ter uso como agregado miúdo, na fabricação de vidro plano e vasos de cristal. Os resultados buscam ampliar a caracterização tecnológica da formação e seus usos, possibilitando uma correlação com outras unidades relacionadas a depósitos cenozoicos.

Palavras-chave: Formação Rio Claro; Construção Civil; Areia industrial

Abstract

Sand is an important mineral product for civil construction and industry, as aggregate and input for ceramic floors, glass and foundry. Large urban centers are the main consumers of sand, which has led to the exhaustion of several mines in its vicinity, mainly in the southeastern region of the country, which creates the need for research into new deposits in increasingly distant locations. This work presents the study developed on the Rio Claro Formation, which aimed to technologically characterize its lithology and soil. The research involved stages of preparing cartographic bases, delimiting the occurrence of the Rio Claro Formation in areas that could be explored, sample collection, analysis of the samples by sieving and sedimentation tests, physical indexes, magnifying glass analysis and comparison with the existing standards for use in industry and construction. 33 samples were collected at 15 different points between soil, friable sandstone of the whitish sandstone and sands benefited by the existing mining in the region that already exploits this formation. The analyzes of granulometry, physical indexes and impurities in the grains, showed a variation of attributes along the formation, more economically viable in the whitish sandstone located at depths of 4 to 10 m, with 10 to 15 m of thickness. In comparison to the other materials of the formation, this sequence presents about 10% less fine, grains of sand without iron crust and absence of magnetite, highlighting its greater thickness in the relief of tabuliform hills. According to the norms, the sandy materials of the formation, after processing, can be used as fine aggregate, in the manufacture of flat glass and crystal vases. The results seek to expand the technological characterization of the formation and its uses, enabling a correlation with other units related to cenozoic deposits.

Keywords: Rio Claro Formation; Civil Construction; Industrial Sand

1 Introdução

O conhecimento da Formação Rio Claro desde suas primeiras descrições vem avançado muito com o tempo, com a evolução da caracterização geológica, fossilífera, hidrogeológica e geotécnica (Melo & Ponçano, 1983; Zaine, 1994; Melo, 1995; Zaine, 2000; Oliva *et al.*, 2005; Oliva, 2006; Perinotto *et al.*, 2006; Oliva & Chang, 2007, 2009; Zaine *et al.*, 2010; Nogueira & Kiang, 2015; Soto *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2018; Gonçalves & Chang, 2018; Sisto *et al.*, 2018; Teramoto & Chang, 2018; Teramoto *et al.*, 2018, 2019). Essa constante atualização do conhecimento da formação está associada à sua importância científica e minerária. A formação está localizada em grande parte no município de Rio Claro (SP), cujo entorno apresenta um aglomerado de empresas de mineração de argila e areia o que indica sua alta produtividade (Mechi & Sanches, 2010), por suas características geológicas, litológicas e geotécnicas favoráveis, além da exploração do Aquífero Rio Claro (Oliva, 2006), presente nas camadas arenosas da formação, essencial para o abastecimento do município.

A Formação Rio Claro é uma unidade da Bacia do Paraná, na região sudeste do Brasil, no contexto da depressão periférica (Penteado, 1976), composto por relevos de colinas tabuliformes, ou amplas, entre o planalto atlântico e o planalto meridional, com ocorrência no município homônimo (Figura 1).

O estudo e caracterização das areias da Formação Rio Claro para uso na construção civil ou industrial é um ponto ainda pouco explorado nas pesquisas científicas e tecnológicas, apesar de já existirem algumas minerações que exploram essa formação, sendo essencial a compreensão da qualificação da composição, formato, tamanho, índices

físicos e distribuição granulométrica para fomentar potenciais jazidas e novos horizontes para a exploração e comercialização. Ademais essa formação é correlacionada em termos geológicos, genéticos e de composição a outras formações denominadas Coberturas Cenozoicas Paulista, conjunto de formações majoritariamente arenosas, com ampla distribuição na superfície, mas pouco espessas (Massoli, 1981), que inclui, dentre outras, as formações Santa Rita do Passa Quatro e Pirassununga.

O entendimento mais detalhado das características tecnológicas dessas formações pode possibilitar um maior interesse comercial e um incremento do potencial de prospecção de novos depósitos. Destaca-se, ainda, que as formações correlacionáveis a Formação Rio Claro ocorrem, em algumas minas, sobre depósitos de argilitos e siltitos da Formação Corumbataí e de arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu. Essa caracterização pode induzir um melhor aproveitamento das substâncias minerais existentes nessas minas, podendo conduzir em uma diminuição da quantidade de estéril, um melhor retorno socioeconômico e um aumento de sua vida útil.

O aumento das restrições ambientais e sociais sobre a extração de depósitos de areia, especialmente, em leitos de rios e ao longo de planícies aluvionares, nas proximidades de regiões metropolitanas, de grandes cidades ou em áreas mananciais ou de proteção ambiental, tem gerado uma busca por depósitos mais distantes dos centros consumidores e um incremento de extrações de areia em encostas em formações geológicas arenosas, como as Formações Pirambóia e Botucatu, no Estado de São Paulo. Nesse contexto, as unidades relacionadas aos depósitos cenozoicos têm também ganhado projeção no interesse do mercado.

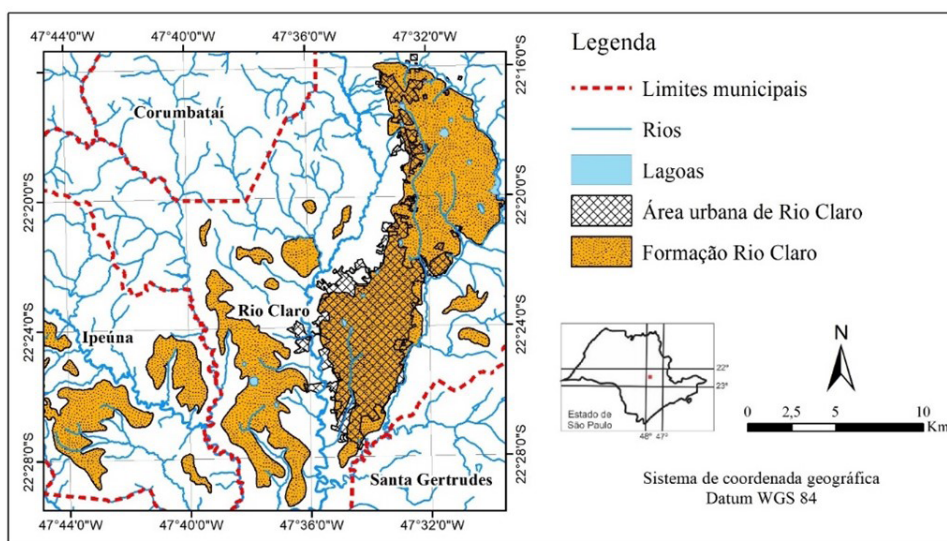


Figura 1 Formação Rio Claro e sua distribuição na região do município de Rio Claro (SP).

Fonte: modificado de IG (1986, 1987).

A mineralização da areia possui uma grande importância na construção civil, pois é o material que junto com a brita que compõe o agregado fino, material que se agrega ao cimento para concreto e betume para o piche, material muito utilizado no Brasil, pela extensa malha rodoviária, com um volume de material produzido no país equiparável ao da produção de minério de ferro, principal produto explorado pelo setor mineral brasileiro. Para a caracterização desse tipo de material é de extrema importância o conhecimento da mineralogia, petrografia e química, para não causar problemas de rompimento na estrutura do concreto ou rodovias, o que requer normas de qualidade. Nesse setor as areias quartzosas também possuem utilidade como material filtrante e na construção de drenos em estradas e barragens (Luz & Almeida, 2012).

Já na indústria, a areia tem utilização na fabricação de vidros, fundição, refratários e cerâmica pelas suas qualidades químicas e físicas de dureza e resistência a altas temperaturas, sendo mais valorizada que a areia para construção, com o preço de venda de três a cinco vezes mais elevado, permitindo seu transporte e comercialização a distâncias maiores (Luz & Lins, 2008).

Ferreira (1995) cita a areia extraída da Formação Rio Claro com importante aplicação para uso no setor industrial, sendo um material de elevado valor e com características especiais, com grande variação da granulometria, gerando várias possibilidades para seu uso. A autora indica a ocorrência na região do município de Rio Claro de uma camada de 20 metros de espessura com valor econômico, para uso industrial, e os primeiros 2 metros exclusivos para a construção civil. Luz & Lins (2008) em seu trabalho também indicam a importância das coberturas cenozoicas sendo a segunda maior fonte de areia industrial no estado de São Paulo.

De acordo com Suslick *et al.* (2008), o estado de São Paulo possuía a maior produção de bens minerais não-metálicos do país, sendo que a areia correspondia por 45,91% de toda produção mineral do estado, o que representa 66% da produção de areia industrial de todo o país. Já em 2017, conforme o Informe Mineral do Estado de São Paulo, o estado se manteve como quarto produtor de bens minerais do Brasil, medido pela arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM, sendo que 70% do valor da produção mineral do Estado se concentrando em quatro grupos com grande peso na cadeia produtiva da construção, brita, areia, calcário e argila. A extração de areia no estado apresenta ampla distribuição, sendo a areia explorada em 35% dos municípios (São Paulo, 2018).

Existe a realidade de jazidas próximas aos grandes centros no estado estarem se esaurindo (Kahn *et al.*, 2014) sendo Rio Claro próximo da região metropolitana de Campinas e pertencente a mesorregião de Piracicaba,

grandes consumidores de agregados finos, além de fazer fronteira com o polo cerâmico de Santa Gertrudes (SP).

Considerando a importância da produção de areia para vários setores, o aumento das restrições para novas minas nas proximidades de grandes centros e regiões metropolitanas e baixa quantidade de trabalhos científicos e tecnológicos sobre as características das areias da Formação Rio Claro para diferentes usos, o objetivo do presente trabalho é caracterizar tecnologicamente a areia da Formação Rio Claro para usos no setores industrial e de construção civil, considerando as principais fácies geológicas dessa formação.

2 Caracterização da Área de Estudo

Identificam-se as seguintes características geológicas para a formação, de acordo com Zaine (1994): fraca litificação, com profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso e domínio de litotipos arenosos, esbranquiçados, amarelados a avermelhados, variando de areia fina a grossa, com intercalação de lentes de sedimentos argilosos e camadas conglomeráticas, em contato irregular basal principalmente com os argilitos da Formação Corumbataí. A espessura da formação é considerada maior do que outros depósitos cenozoicos (Fernandes & Mello, 2004), atingindo até 40 metros com predominância de 25-30 metros e contato basal irregular. O solo sobre a formação é recente e se associa as classificações de cambissolos, nitossolos e neossolos, com a presença de quartzo e caulinita, e em menos proporções gibsita, clorita, óxidos e hidróxidos de ferro e feldspatos alterados (Ferreira, 2005).

Zaine (2000) realizou compartimentação geológico-geotécnica do município de Rio Claro, separando a Formação Rio Claro em duas unidades diferentes, a Unidade III representada por áreas de ocorrência da Formação Rio Claro na meia encosta e a Unidade IV distribuídas em áreas da Formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes, aqui chamadas apenas como unidade de meia encosta e a unidade de colinas tabuliformes, respectivamente.

A unidade de meia encosta apresenta maiores declividades, maior incidência de feições erosivas e se encontra entre as quebras positivas e o contato com as formações que estão abaixo, enquanto a unidade de colinas tabuliformes são áreas de declividade menor que 2%, no topo da Formação Rio Claro, delimitado em sua base pelas quebras positivas. Ambas apresentam perfis de alteração e litologias semelhantes, nos quais os arenitos são intercalados por argilitos de baixa consolidação (Figura 2). A unidade geológico-geotécnica de topo apresenta maiores espessuras e distribuição espacial.

Fácies da Formação Rio Claro apresentam uma distribuição heterogênea horizontalmente (Melo *et al.*,

1997), sendo proveniente de vários tipos depósitos gerados por canais e barras fluviais gerados por sistemas fluviais meandrantos (cascalhos e areias), rompimento de diques marginais (areias finas) e cheias do rio nas planícies de inundação (argilas e siltes). Sua distribuição na Folha de Rio Claro pode também se intercalar em subsuperfície. Os depósitos da formação estão elevados sobre as drenagens

locais cerca de 100 m, apresentando superfícies planas e baixa declividade (Soares & Landim, 1976).

A área de estudo mais específica desse artigo situa-se na região noroeste da Formação Rio Claro (Figura 3), escolhida por apresentar as regiões mais elevadas topograficamente, por consequência mais espessas, pela ocorrência de fácies mais arenosas, pela presença de uma área de extração da Mineração Mandu Industria e Ltda.

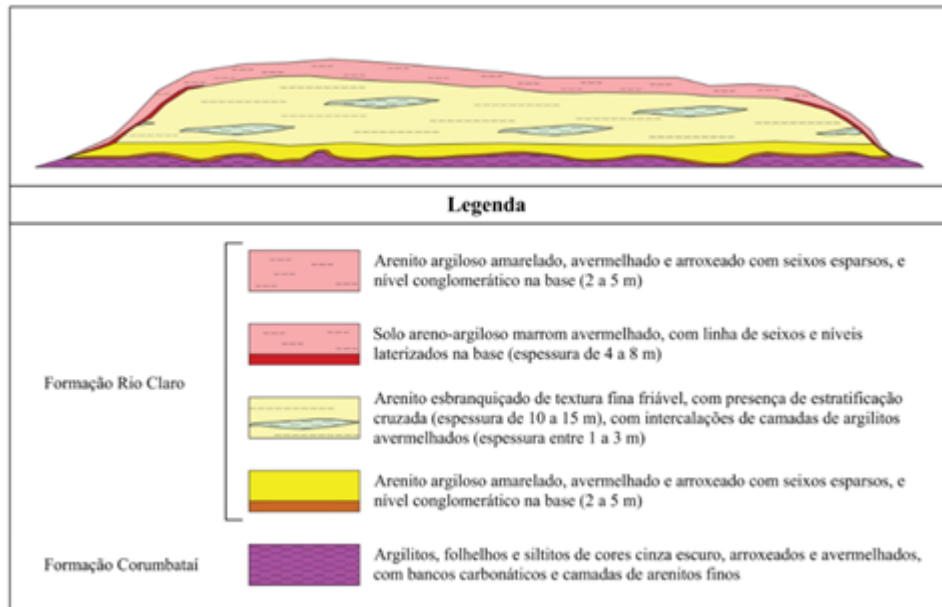


Figura 2 Ilustração das diferentes litologias da Formação Rio Claro e seu perfil de alteração.

Fonte: Modificado de Zaine (2000).

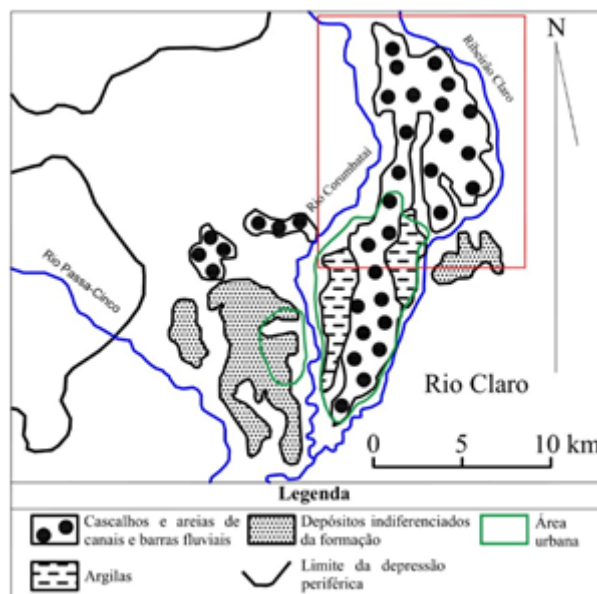


Figura 3 Distribuição horizontal das fácies da Formação Rio Claro, em vermelho área de estudo.

Fonte: Modificado de Melo *et al.* (1997).

3 Metodologia

Para a definição da área de estudo dos estudos considerando a distribuição espacial da Formação Rio Claro com o potencial para a exploração de areia para construção civil, deu-se enfoque para regiões com mais acessibilidade, infraestrutura e características litológicas favoráveis para possíveis empreendimentos minerários no município, em vista da qualidade dos materiais arenosos para setores industriais e de construção, levando em conta um melhor aproveitamento econômico e técnico dos locais, como facilidades no transporte e possibilidade da mineração.

Foi realizada a análise de imagens aéreas do *Google Earth* do município de Rio Claro com a finalidade de identificar características de infraestrutura e fisiográficas da área de estudo para um levantamento de campo e amostragem de solo e rocha envolvendo a Formação Rio Claro, sendo também consideradas áreas de mineração já existentes.

A quantidade de locais de amostragem de materiais da Formação Rio Claro foi determinada em 15 pontos, considerando que a área de estudo compreende aproximadamente 45.735 km² e os critérios definidos por Zuquette (1987) para mapeamentos regionais, nos quais estabelece 3 pontos para cada 10 km², para levantamentos na escala de 1:50.000, com distâncias entre os pontos de 1.825 m. A Figura 4 apresenta a localização dos pontos de amostragem.

Através da etapa inicial foi possível planejar caminhamentos para os trabalhos de campo e coleta de amostras tanto de solo como de areia para a análise. O método de coleta de solo arenoso para amostras deformadas e indeformadas seguiu os procedimentos descritos por Nogueira (2005). Após a descrição visual do perfil do solo/rocha e caracterização do ponto, foram coletadas as amostras indeformadas em 3 anéis metálicos diferentes de cada nível identificado e amostras de solo deformado nesse mesmo nível. Todas as amostras foram armazenadas em sacos plásticos próprios, protegidas contra perda da umidade natural, e devidamente identificadas. A amostragem dos materiais para agregado fino seguiu os padrões da Norma Brasileira de Norma Técnica (NBR NM) 26 (ABNT, 2001) para análises tecnológicas.

Os ensaios nas amostras coletadas foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente no Departamento de Geologia (DG/IGCE/UNESP), conforme os procedimentos de Nogueira (2005), sendo realizados ensaios para determinação de índices físicos, como massa específica do solo, massa específica dos sólidos, massa específica seca, porosidade, índice de vazios e grau de saturação; análise granulométrica conjunta; e análise em lupa para seleção, esfericidade (0,99-0,4) e arredondamento dos grãos (Stow, 2005), além da presença de crostas de ferro, magnetita e películas de argila no Microscópio Leica zoom 2001.

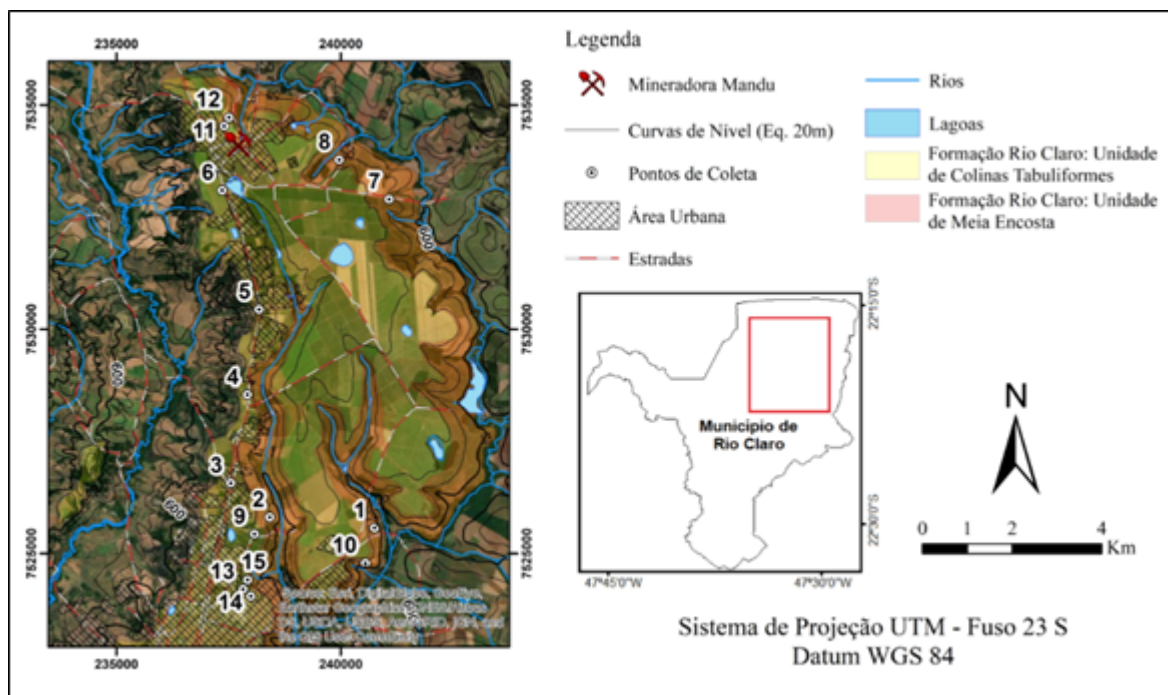


Figura 4 Localização dos pontos de coleta de amostras.

Nos agregados provenientes da Mineração Mandu Indústria e Comércio Ltda os ensaios incluíram: análise granulométrica conjunta de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003); teor de argila em torrões e materiais friáveis de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 7218 (ABNT, 2010); e análise também dos grãos e em lupa.

Os resultados foram compilados de forma a apresentar as qualidades e usos da areia e solo analisados tanto para o setor da construção civil quanto para a indústria.

3.1 Parâmetros da Areia para o Uso na Construção Civil

De acordo com Luz & Almeida (2012), o ensaio da granulometria conjunta é fundamental para a utilização da areia em concretos de cimento Portland e betume. As partículas como o silte e, principalmente, a argila podem influenciar na qualidade do agregado, já que elas são reativas e influenciam a cristalização, resistência e aumento da demanda de água do cimento, o que demanda tratamento e classificação das areias.

Para o agregado miúdo também é importante se respeitar os limites granulométricos estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009), presente na Tabela 1. Outras especificações necessárias para o agregado de acordo com essa norma são: máximo de 3% de torrões de argila e materiais friáveis; material fino ($< 75 \mu\text{m}$) deve ser no máximo 3% para concreto submetido a desgaste superficial e 5% para os que possuem esse desgaste; e módulo de finura da zona ótima de 2,20 a 2,90, com a zona utilizável inferior de 1,55 a 2,20 e zona utilizável superior de 2,90 a 3,50. Também é importante que esse tipo de agregado esteja limpo de conchas, vegetação, grumos de argila, crostas ferruginosas e óxidos de ferro que provocam degradação do concreto (Luz & Almeida, 2012). Para o caso de uso como saibro é apenas necessário uma fração argila não dominante, mas significativa, ao passo que para o revestimento asfáltico as propriedades necessárias exigem mais alguns ensaios físicos e químicos, que não foram realizados na pesquisa, entretanto o bom desempenho é atingido com partículas angulares, limpas, alongadas, chatas e com baixo teor de argila.

Tabela 1 Limites da granulometria para agregado miúdo

Peneiras com abertura em mm (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem em massa retida acumulada na peneira para as diferentes zonas			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
600 μm	15	35	55	70
300 μm	50	65	85	95
150 μm	85	90	95	100

Fonte: Norma Brasileira (NBR) 7211 (ABNT, 2009)

3.2 Parâmetros da Areia para o Uso Industrial

Os parâmetros avaliados para uso industrial foram a variação textural, tamanho médio de médio de grão, densidade aparente (ρ), densidade dos sólidos (ρ_s), teor de umidade (W), considerando a classificação descrita por Luz & Lins (2008) para cada produto.

O padrão da granulometria é de uma característica fundamental para a utilização da areia para produzir vidro e fibra de vidro, controlado pelo acumulado retido em peneiras

específicas, apresentadas na Tabela 2. Para a confecção de moldes para fundição também são importantes parâmetros físicos que envolvem a umidade, o teor de argila total e o tamanho médio de grão, e para o uso como massa e o esmalte cerâmico é necessário qualificar também o tamanho médio de grão, a massa específica e a massa específica dos sólidos (Tabela 3). O teor de sílica não foi analisado nesse trabalho, recomendando-se que em pesquisas futuras sejam avaliados os teores nas regiões e níveis distinguidos pelos parâmetros físicos.

Tabela 2 Limites da granulometria para agregado miúdo

Quartzo para vidro plano		Quartzo para vasos de Cristal		Quartzo para fibra de vidro	
Granulometria (mm/malhas)	Acumulado retido (%)	Granulometria (mm/malhas)	Acumulado retido (%)	Granulometria (mm/malhas)	Acumulado retido (%)
1,18 / 14	0	0,850 / 20	0	0,250 / 60	0,01
0,850 / 20	0,01 máx.	0,600 / 30	4,0 máx.	0,075 / 200	0,6 máx.
0,425 / 35	0,10 máx.	0,425 / 35	25,0 máx.	0,045 / 325	3,0 min.
0,106 / 150	92 min.	0,106 / 150	95,0 min.	-	-
0,075 / 200	99,5 min.	-	-	-	-

Fonte: Zdunczyk & Linkous (1994).

Tabela 3 Parâmetros de índices físicos para areia de fundição, massa cerâmica e esmalte cerâmico

Índices físicos	Areia para fundição	Massa cerâmica		Esmalte cerâmico	
		Grau Sibelco Millisil M82	Silica americana Grau 250 Ottawa, IL	Silica <i>flour</i> para esmalte	Esmalte vitrificado (<i>glaze</i>)
W (%)	0,1 máx.	-	-	-	-
Teor de argila total (%)	0,1 máx.	-	-	-	-
Tamanho médio de grão (mm)	0,230 - 0,260	0,02	0,0095	0,01	0,067
ρ (g/cm ³)	-	0,95	1,009	0,85	0,897
ρ_s (g/cm ³)	-	2,65	-	2,65	-

Fonte: Especificações de areia para fundição da Norma Brasileira (NBR) 12672 (ABNT, 1992). Especificações para corpos cerâmicos e esmalte cerâmico (Loughbrough, 1993).

4 Resultados e Discussão

Do total de amostras coletadas 7 se encontram no contexto da Unidade de Colinas Tabuliformes e 8 na Unidade de Meia Encosta, incluindo aquelas coletadas na cava da Mineração Mandu Ltda e areia beneficiada para utilização industrial produzidas pela mineradora. A observação em lupa indicou que o arenito esbranquiçado possui boa seleção de grãos, cores claras, ausência de grãos magnéticos e crostas ferruginosas, grãos arredondados a subarredondados e esfericidade de aproximadamente 0,8 (Figura 5A e Figura 5C).

Já o solo areno-argiloso possui seleção moderada, tons de marrom, presença de grãos magnéticos e crostas ferruginosas, grãos subarredondados a subangulosos e esfericidade de aproximadamente 0,7 (Figura 5B e Figura 5D). A areia produzida pela mineração possui as mesmas

características do solo, pois é o material beneficiado pela lavra, com a diferença pelo tratamento para uso como piso cerâmico que retira a crosta ferruginosa pelo silicato de sódio. Todas as amostras apresentaram forma equidimensional e porcentagem de argila em torrões e materiais friáveis insignificante.

De acordo com Luz & Almeida (2012), as formas e texturas lisas arredondadas exigem menos pasta de cimento o que torna mais benéfico o arenito esbranquiçado, colaborado pelo fato dessa unidade não ter óxidos de ferro o que o torna favorável também para a indústria.

Os valores de índices físicos das amostras do solo areno-argiloso são apresentados na Tabela 4 e os do arenito esbranquiçado na Tabela 5, enquanto o módulo de finura com o tamanho médio dos grãos das areias beneficiadas da Mineração Mandu na Tabela 6.

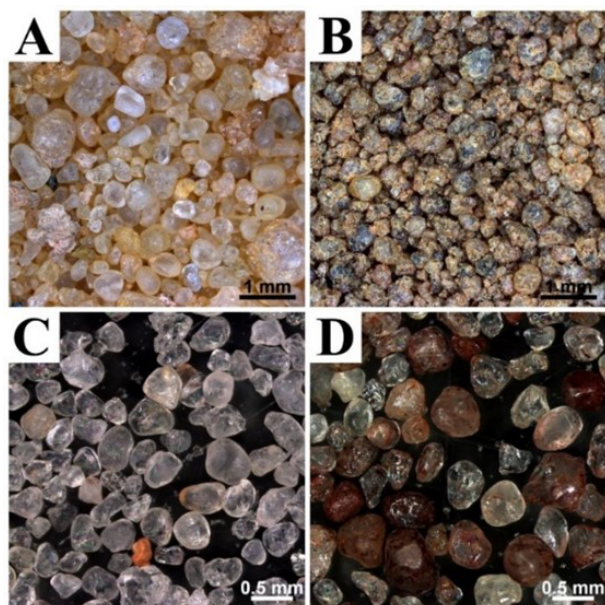


Figura 5 Fotografias pela Leica zoom 2001. A. Amostra do arenito esbranquiçado. B. Amostra do solo areno-argiloso. C. Grãos médios do arenito esbranquiçado, arredondados e esféricos. D. Grãos médios do solo areno-argiloso, subangulosos e subesféricos.

O tamanho médio dos grãos do solo, pela grande quantidade de argila, é menor que o do arenito esbranquiçado e essa última menor que o material beneficiado, nenhuma atendendo, assim como seus índices de densidade aparente, os requisitos da utilização na indústria cerâmica e de fundição, entretanto a densidade dos sólidos do arenito esbranquiçado cumpre os da cerâmica. O módulo de finura em média tem valores muito semelhantes entre as duas litologias da Formação Rio Claro, com o material beneficiado um pouco maior, mas todos abaixo da zona utilizável para a confecção de Concreto Portland. O valor de umidade deve ser muito baixo para a utilização industrial e depende muito se está um clima chuvoso ou não, contudo, é importante ressaltar que os maiores resultados estão no solo, por causa da sua maior quantidade de argila.

Os resultados dos ensaios de granulometria foram compilados em conjunto com os padrões da indústria e da construção civil para cada material analisado (Figura 6, Figura 7 e Figura 8). Pela quantidade de argila maior de 0,1% nos objetos de estudo nenhuma amostra se adequa para ser utilizada na fundição sem um beneficiamento específico, contudo a baixa quantidade dessas partículas na areia produzida pela mineração se aproxima ao padrão. Nenhuma das amostras estão próximas de atender as normas para a fibra de vidro, que exige grãos de quartzo muito finos.

Tabela 4 Resultados dos índices físicos do solo areno-argiloso marrom avermelhado. MF = Módulo de finura. ρ = densidade aparente. ρ_s = densidade dos sólidos. W = umidade. n = porosidade

Amostra	Profundidade (m)	Local	Tamanho médio do grão (mm)	MF	ρ (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	w (%)
VH1A	-	13	-	1,34	1,90	2,57	1,88
VH4A	-	14	-	1,03	1,77	2,62	1,79
VH8A1	-	15	-	1,64	1,90	2,59	6,83
CQ3A	0,35	3	0,184	0,87	1,73	2,62	13,82
CQ10A	0,40	10	0,152	0,66	1,65	2,64	10,31
CQ8A	0,50	8	0,154	0,62	1,70	2,64	12,46
CQ7A	0,60	7	0,136	0,62	1,52	2,61	14,98
CQ4A	0,70	4	0,187	0,89	1,54	2,64	11,13
CQ6A	0,80	6	0,100	0,49	1,47	2,61	21,61
CQ2A	1,70	2	0,180	0,85	1,67	2,64	8,59
CQ1A	1,80	1	0,120	0,56	1,52	2,62	15,85
CQ5A	1,80	5	0,154	0,70	1,61	2,62	15,09
CQ11G	2,00	11	0,192	0,90	1,59	2,65	8,91
CQ1B	2,30	1	0,123	0,57	1,37	2,63	14,39
CQ11I	4,00	12	0,163	0,74	1,50	2,65	11,08
CQ9A	5,00	9	0,130	0,61	1,88	2,57	23,15
CQ11F	5,00	11	0,186	0,84	1,72	2,65	10,24
CQ11H	8,00	12	0,153	0,66	1,67	2,64	12,49
CQ2B	11,00	2	0,184	0,84	-	-	-
Média			0,156	0,81	1,65	2,62	11,92

Tabela 5 Resultados dos índices físicos do arenito esbranquiçado. MF = Módulo de finura. ρ = densidade aparente. ρ_s = densidade dos sólidos. W = umidade. n = porosidade

Amostra	Profundidade (m)	Local	Tamanho médio do grão (mm)	MF	ρ (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	w (%)
VH1B	-	13	-	0,82	1,69	2,61	7,97
CQ11E	8,50	11	0,313	1,18	1,64	2,66	4,94
CQ11D	9,60	11	0,180	0,87	1,66	2,65	4,54
CQ11C	11,30	11	0,108	0,47	1,68	2,63	11,64
CQ11A	12,00	11	0,212	1,14	1,66	2,67	4,12
CQ11B	12,00	11	-	-	1,67	2,67	3,50
CQ2C	20,00	2	0,210	1,15	-	-	-
VH4B	-	14	-	0,92	1,66	2,69	0,18
Média			0,205	0,82	1,67	2,65	5,27

Tabela 6 Características da areia produzida a partir do beneficiamento realizado pela Mineração Mandu Ltda. MF = Módulo de finura

Amostra	Cor	Tamanho médio do grão (mm)	MF
CQ11J1	Branco	0,190	1,00
CQ11J2	Branco	0,190	0,99
CQ11J3	Branco	0,186	0,96
CQ11K1	Marrom	0,223	1,13
CQ11K2	Marrom	0,217	1,10
CQ11K3	Marrom	0,266	1,22
Média		0,212	1,07

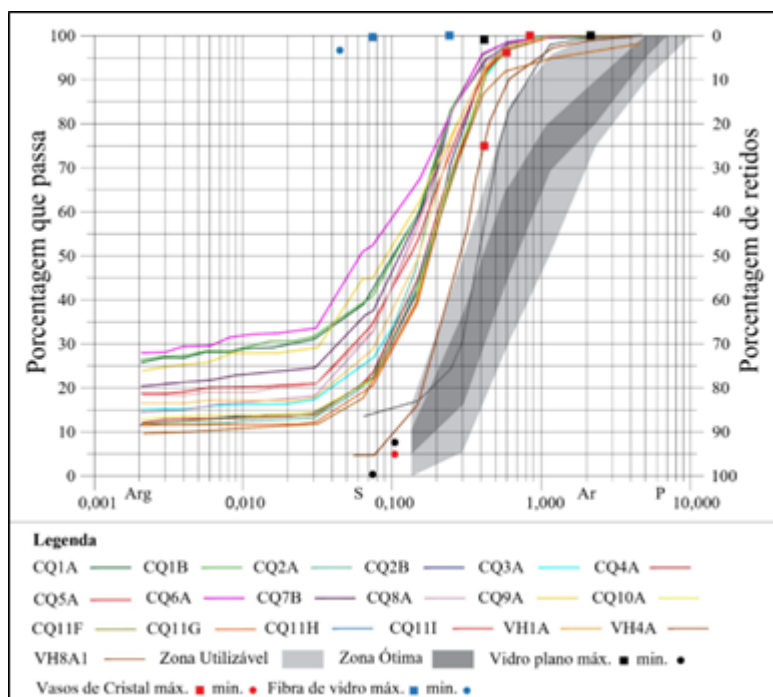


Figura 6 Curvas granulométricas das amostras de solo areno-argiloso. A zona utilizável e ótima se refere ao agregado miúdo da Norma Brasileira (NBR) 7211 (ABNT, 2009). Os padrões dos diferentes vidros por Zdzunczyk & Linkous (1994). Tamanhos das partículas de argila (Arg), silte (S), Areia (Ar) e pedregulho (P) de acordo com NBR 6502 (ABNT, 1995).

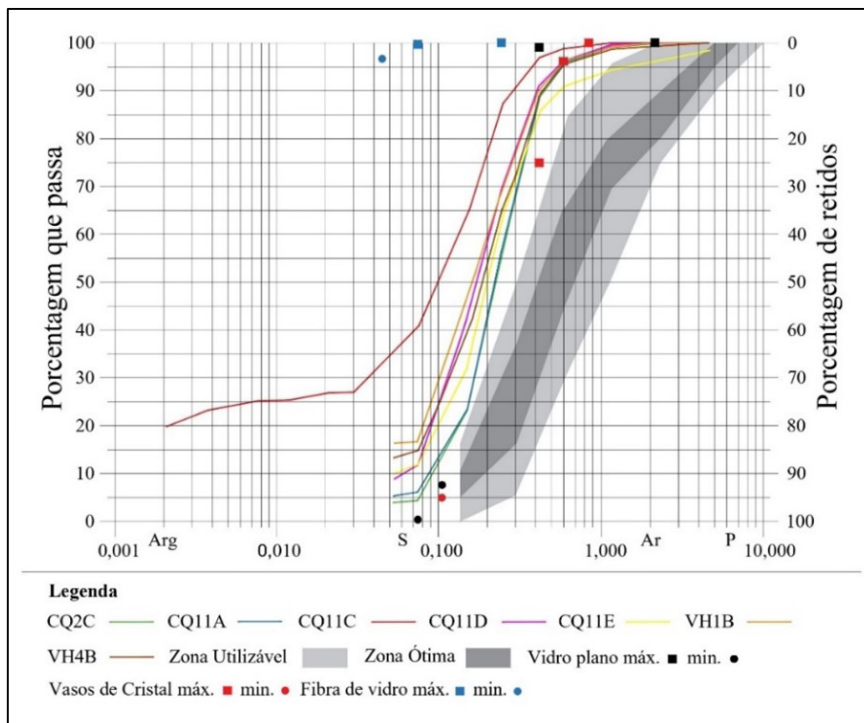


Figura 7 Curvas granulométricas das amostras do arenito esbranquiçado. A zona utilizável e ótima se refere ao agregado miúdo da Norma Brasileira (NBR) 7211 (ABNT, 2009). Os padrões dos diferentes vidros por Zdunczyk & Linkous (1994). Tamanhos das partículas de argila (Arg), silte (S), Areia (Ar) e pedregulho (P) de acordo com NBR 6502 (ABNT, 1995).

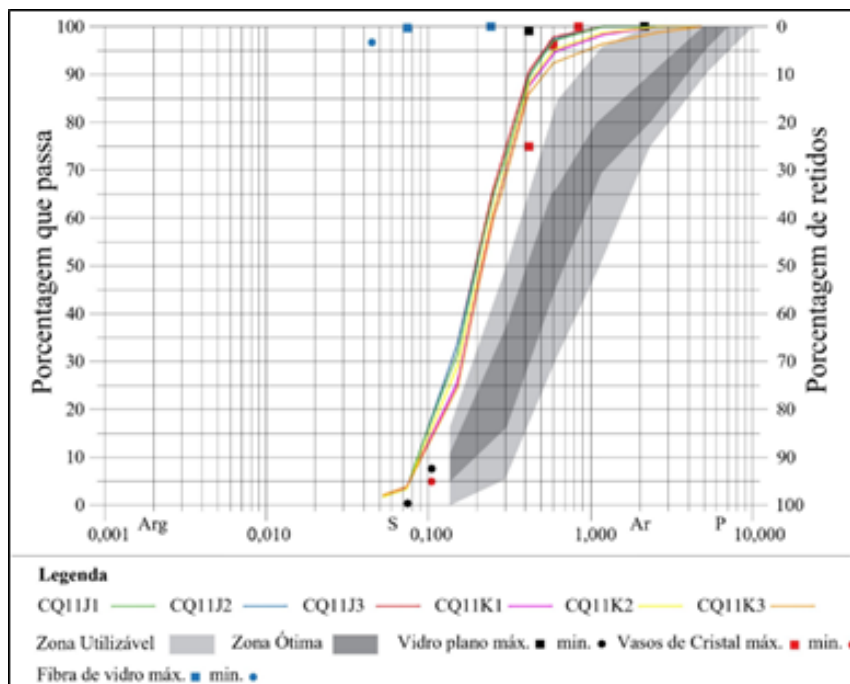


Figura 8 Curvas granulométricas das amostras do arenito esbranquiçado. A zona utilizável e ótima se refere ao agregado miúdo da Norma Brasileira (NBR) 7211 (ABNT, 2009). Os padrões dos diferentes vidros por Zdunczyk & Linkous (1994). Tamanhos das partículas de argila (Arg), silte (S), Areia (Ar) e pedregulho (P) de acordo com NBR 6502 (ABNT, 1995).

Em média o solo areno-argiloso em seu estado natural possui no setor de construção civil apenas qualidades para a confecção de saibro, pois tem uma fração de argila significativa. Para o uso industrial esse material tem pouco valor, pois além de possuir óxidos de ferro, sua granulometria não é compatível com a confecção dos diferentes tipos de vidro.

A curva granulométrica em média do arenito esbranquiçado possui valores próximos aos da zona utilizável para agregado miúdo (ABNT, 2009), vidro plano e vidro de cristal (Zdunczyk & Linkous, 1994), necessitando uma pequena dosagem e lavagem para a retirada de partículas finas, já que possui qualitativamente mais de 3%. Para as areias beneficiadas pela mineração é equivalente, com uma menor necessidade de retirada de finos e, possivelmente, um melhor tratamento para a maior retirada de óxidos de ferro.

5 Conclusões

A partir das metodologias propostas o nível com maior potencial da Formação Rio Claro para uso na construção civil é o arenito esbranquiçado na Unidade de Colinas Tabuliformes, por ter características como: espessura de 10 a 15 m de sedimento; ausência de óxidos e hidróxidos de ferro nos grãos de areia; camadas de argila de no máximo 30 cm; distribuição granulométrica mais próxima de atender os padrões para o agregado miúdo da NBR 7211 (ABNT, 2009), sendo possível sua utilização através de dosagem; menos de 15% de finos mesmo antes do tratamento por lavagem e quantidades insignificantes de torrões de argila e materiais friáveis; além de forma e texturas lisas arredondadas exigem menos pasta de cimento.

Para uso industrial esse material tem muitas propriedades que favorecem sua utilização em vidros planos e vasos de cristal, com a curva granulométrica próxima de atender os padrões exigidos por Zdunczyk & Linkous (1994), colaborado pela sua ausência de óxidos de ferro.

As areias exploradas pela Mineração Mandu também possuem os mesmos atributos do arenito esbranquiçado, já que também se aproximam a atender as normas dos agregados miúdos, vidros planos e vasos de cristal, com necessidade de dosagem e retirada maior de óxidos de ferro.

O solo areno-argiloso é favorável para a fabricação de saibro (Luz & Almeida, 2012), material utilizado como componente de argamassas devido sua coloração marrom e por não ser nem tão argiloso nem tão arenoso.

Em próximas pesquisas recomenda-se que seja feita uma coleta mais concentrada no arenito esbranquiçado na Unidade de Colinas Tabuliformes e no solo areno-argiloso, incluindo a avaliação do teor de sílica em ambas unidades.

6 Referências

- ABNT. 1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12672: Areia-padrão para ensaios em fundição - Especificação. Rio de Janeiro, 2p.
- ABNT. 1995. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 18p.
- ABNT. 2001. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2001. NBR NM 26: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 10p.
- ABNT. 2003. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2003. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 6p.
- ABNT. 2009. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 11p.
- ABNT. 2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2p.
- Fernandes, A.J. & Mello, C.L. 2004. Coberturas cenozóicas e estruturas deformadoras na Depressão Periférica Paulista, Campinas, São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 25(1-2): 49-66.
- Ferreira, F.G. 1995. Estudo dos Mercados Produtor e Consumidor de Areia Industrial no Estado de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 142p.
- Ferreira, T.M.; Chang, H.K. & Soto, M.A.A. 2018. Avaliação da aplicação de vinhaça em solo arenoso da Formação Rio Claro. *Revista Águas Subterrâneas*, 32: 354-363.
- Ferreira, S.R. 2005. Análise pedoestratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga, no Centro-Leste do Estado de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 157p.
- Gonçalves, R.D. & Chang, H.K. 2018. Condutividade hidráulica da formação rio claro a partir de ensaios granulométricos. *Holos Environment*, 18: 44-58.
- IG. 1986. Instituto geológico de São Paulo. Folha geológica de Rio Claro. 1 mapa: 60,0 cm x 74,5 cm. Escala 1:50.000.
- IG. 1987. Instituto geológico de São Paulo. Folha geológica de Araras. 1 mapa: 60,0 cm x 74,5 cm. Escala 1:50.000.
- Kahn, H.; Ulsen, C.; França, R.R.D.; Hawlitschek, G. & Contessotto, R. 2014. Quantificação das fases constituintes de agregados reciclados por análise de imagens automatizada. *Holos*, 3: 44-52.
- Loughbrough, R. 1993. *Silica sand: The essential ingredient*. London, Raw Materials for the Glass & Ceramics Industries, 7p.
- Luz, A.B. & Almeida, S.L.M. 2012. Manual de agregados para a construção civil. 2 ed. Rio de Janeiro, CETEM-MCTI, 413p.
- Luz, A.B. & Lins, F.A.F. 2008. Areia Industrial. In: LUZ, A. B. (Ed.). LINS, F. A. F. (Ed.). Rochas & minerais industriais: Usos e especificações. 2 ed. CETEM-MCT, 103-123.
- Massoli, M. 1981. Geologia do município de Santa Rita do Passa Quatro. *Revista do Instituto Geológico*, 2(2): 35-45.

- Mechi, A. & Sanches, D.L. 2010. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Revista Estudos avançados*, 24(68): 209-220.
- Melo, M.S. & Ponçano, W.L. 1983. Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo. IPT, Série Monografias, 9: 1-74.
- Melo, M.S. 1995. A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na Depressão Periférica Paulista.. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 144p. 1995.
- Melo, M.S.; Coimbra, A.M. & Cuchierato G. 1997. Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, neocenoica da depressão periférica paulista. *Revista do Instituto Geológico*, 18(1-2): 49-63.
- Nogueira, G.E.H & Kiang, C.H. 2015. Simulação numérica de fluxo de águas subterrâneas do aquífero rio claro, porção nordeste do município de Rio Claro, SP. *Revista Águas Subterrâneas*, 29: 175-190.
- Nogueira, J.B. 2005. Mecânica dos solos: Ensaios de laboratório. São Carlos, EESC-USP, 248p.
- Oliva, A.; Chang, H.K. & Caetano-Chang, M.R. 2005. Determinação da Condutividade Hidráulica da Formação Rio Claro: Análise Comparativa através da Análise Granulométrica e Ensaios com Permeâmetro Guelph e Testes de Slug. *Revista Águas Subterrâneas*, 19: 1-18.
- Oliva, A. 2006. Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro-SP. Programa de Pós-graduação em Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 196p.
- Oliva, A. & Chang, H.K. 2007. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica vertical. *Geociências*, 26(1): 27-34.
- Oliva, A. & Chang, H.K. 2009. Mapeamento do Lençol Freático no Município de Rio Claro (SP) Empregando a Técnica de Sondagem Elétrica Vertical. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(1): 27-34.
- Penteado, M.M. 1976. *Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista*. Programa de Pós-graduação em geografia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 86p.
- Perinotto J.A.D.J; Etchebehere, M.L.; Saad, A.R. & Zaine, J.E. 2006. Nova contribuição ao conhecimento da Formação Rio Claro (T) na folha Rio Claro (SP). *Geociências*, 25: 297-306.
- São Paulo. 2018. Informe Mineral do Estado de São Paulo: Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM – ano base 2017. 47p.
- Sisto, F.P.; Reis, F.A.G.V.; Giordano, L.C. & Oliveira, A. 2018. Estudo da vulnerabilidade à contaminação na porção norte da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Claro, SP. *Geologia Usp. Série Científica*, 18(3): 33-44.
- Soares, P.C. & Landim, P.M.B. 1976. Depósitos cenozóicos na região Centro Sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica*, 16(31): 17-39.
- Soto, M.A.A.; Basso, J.B.; Kiang, C.H. & Van Genuchten, M.T. 2015. Simulação de fluxo e transporte de íons de vinhaça através de vertente da formação Rio Claro. *Revista Águas Subterrâneas*, 29: 162-174.
- Stow, D.A.V. 2005. *Sedimentary rocks in the field: A colour guide*. Cleveland, CRC Press, 316p.
- Suslick, S.B.; Obata, O.R. & Sintoni, A. 2008. A mineração no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. *Geociências*, 27(2): 171-192.
- Teramoto, E. & Chang, H.K. 2018. Métodos WTF e simulação numérica de fluxo para estimativa de recarga - exemplo Aquífero Rio Claro em Paulínia/SP. *Revista Águas Subterrâneas*, 32: 173-180.
- Teramoto, E.H.; Benjumea, M.T.; Gonçalves, R. & Kiang, C.H. 2018. Séries Temporais do Índice NDVI na Avaliação do Comportamento Sazonal do Aquífero Rio Claro. *RBC. Revista Brasileira De Cartografia*, 70(3): 1135-1157.
- Teramoto, E.H.; Chang, H.K. & Caetano Chang, M.R. 2019. Caracterização preliminar do Aquífero Rio Claro em Paulínia/SP. *Geociências*, 38(2): 575-586.
- Zaine, J.E. 1994. Geologia da formação Rio Claro na Folha de Rio Claro (SP). Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 90p.
- Zaine, J.E. 2000. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 149p.
- Zaine, J.E.; Yamada, D.T. & Oliveira, E.M. 2010. Avaliação geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP), Brasil. *Geotecnia*, 120: 89-103.
- Zdunczyk, M.J. & Linkous, M.A. 1994. Industrial Sand and Sandstone. In: CAR, D.D. (Ed.) *Industrial Minerals and Rocks*. 6th ed. Society for Mining, Metallurgical
- Zuquette, L.V. 1987. *Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileira*. Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, 673p.

Recebido em: 15/09/2020

Aprovado em: 03/11/2020

How to cite:

Cerqueira, J.C.; Reis, F.A.G.V.; Hoffmann, V.H.; & Oliveira, A. 2021. Caracterização Física da Formação Rio Claro para Potencial Uso Industrial e na Construção Civil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 38148. DOI 1982-3908_2021_44_38148