

AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA APLICADA À INSTALAÇÃO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM RIO CLARO (SP), BRASIL

Geological and Geotechnical Avaliation Applied to Gas Station
Installation in Rio Claro (SP), Brazil

José Eduardo Zaine*

Debora Takie Yamada**

Suseli de Marchi Santos***

RESUMO – O presente artigo tem como tema a caracterização geológica e geotécnica da área urbana de Rio Claro (SP), com ênfase à instalação de postos de combustíveis. O estudo teve como foco a definição, caracterização e análise das unidades geológico-geotécnicas, para a avaliação de cada uma dessas unidades, orientando assim a instalação de postos de combustíveis em Rio Claro. Para isso, foram identificados os processos atuantes no meio físico, que exercem influência sobre o tanque de armazenamento subterrâneo. Também foram estudadas as características e propriedades do meio físico que regem a migração do contaminante vazado. Para a área de Rio Claro, foram definidas quatro unidades de análise: I- Formação Corumbataí, II- Diabásio, III- Formação Rio Claro e IV- Aluviões e Solos Hidromórficos, onde foram realizadas as análises e caracterização geotécnica. Os resultados demonstraram que as diferentes unidades necessitam de ensaios e análises específicos, os quais dependem das propriedades e dos processos atuantes. A definição das diferentes unidades de análise e a caracterização geotécnica determinam o direcionamento e otimização dos trabalhos, além de contribuírem para a escolha de equipamentos e intervenções mais adequados e compatíveis em cada situação.

SYNOPSIS – This research is based on the geological and geotechnical characterization of Rio Claro (SP) urban area, a medium size town of the State of São Paulo, Brazil, with emphasis in the installation of gas stations. These studies specify the characterization of the physical procedures as one of the major parameters to be considered. The objectives of this research are: definition, characterization, analysis and evaluation of the geologic-geotechnical units, therefore orienting the installation of fuel stations in Rio Claro. For this issue, those procedures active in the area, that influence on the underground storage tanks, as well as the characteristics and properties of the surrounding fields that demand the migration of the leaked contaminant. For the Rio Claro area, four units of analysis were identified: Corumbataí Formation, Diabase, Rio Claro Formation and Alluvial Deposits, where the analysis and geotechnical characterization were conducted. This research shows that the different units need tests and analysis specific, which depend on the acting properties and processes. The definition of different units of analysis proved the necessity of distinct procedures for evaluation of each area, where the geotechnical characterization determines the direction and optimization of works, as well as contributing to the choice of equipments and more adequate and compatible interventions for each situation.

PALAVRAS CHAVE – Postos de combustíveis; Rio Claro; caracterização geotécnica.

* Geólogo, Professor Assistente Doutor, Depto. de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista. Av. 24 A, 1515, Rio Claro, SP, CEP 13506.900. E-mail: jezaine@rc.unesp.br

** Geóloga, Msc, Petrobras. E-mail: dtyamada@petrobras.com.br

*** Engenheira Ambiental, Petrobras/UN-BC/SMS. E-mail: suseli@petrobras.com.br

1 – INTRODUÇÃO

Diante das tendências e necessidades ligadas ao desenvolvimento e crescimento urbano, na maioria das cidades vem ocorrendo um grande aumento no número de postos de combustíveis, os quais interferem diretamente no meio onde se instalam, podendo causar inúmeros problemas ambientais, principalmente, relacionados a vazamentos de hidrocarbonetos.

Os tanques de armazenamento subterrâneo representam um grande risco, pois podem ocasionar vazamentos, originando plumas de contaminação, que penetram no solo e atingem o “lençol freático”. Os vazamentos são classificados como graves e complexos, de difícil recuperação das áreas afetadas (Gibotti Júnior, 1999), e muito caros no que se refere ao processo de recuperação. Segundo a Environmental Protection Agency – EPA, cerca de U\$100.000 são necessários para a remediação de cada área contaminada.

Para a Divisão de Tecnologia de Riscos Ambientais da CETESB, os vazamentos em postos de gasolina têm sido responsáveis por cerca de (9%) de todas as emergências atendidas no Estado de São Paulo. Foram 42 casos registrados em 2001, 41 em 2002, 42 em 2003, 28 em 2004, e 36 em 2005.

Com o objetivo de controlar e reduzir os vazamentos de derivados de petróleo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabeleceu a Resolução no 273 de 29 de novembro de 2000, que regulamenta a instalação de postos de combustíveis (CONAMA, 2000). Nesta Resolução são considerados os riscos de contaminação de corpos d’água subterrâneos e superficiais, solo e ar, e os riscos de incêndio e explosões. A Resolução determina a caracterização hidrogeológica e geológica do terreno com análise do solo, contemplando a permeabilidade e o potencial de corrosão.

A instalação de postos de combustíveis em áreas com características geológico-geotécnicas desfavoráveis, sem a execução de obras de engenharia corretivas (Zaine, 2000), pode elevar o risco de contaminação associado a vazamentos de hidrocarbonetos. A avaliação geológico-geotécnica representa um subsídio de avaliação, em estudos preventivos, nas instalações de postos de combustíveis na área urbana do Município de Rio Claro (SP).

Rio Claro, uma cidade de médio porte, localizada no centro-leste do Estado de São Paulo, tem cerca de 40 postos de combustíveis que, na sua totalidade, possuem tanques subterrâneos de armazenamento de derivados de petróleo e de álcool. Diferentes situações geológicas, geomorfológicas e pedológicas, associadas a processos da dinâmica externa, impõem tratamento distinto nessas áreas de postos.

A presente pesquisa poderá subsidiar o planejamento do uso e ocupação do solo da área urbana do Município de Rio Claro (SP), definindo diretrizes específicas, para cada tipo de terreno, quanto à instalação de postos de combustíveis. O conhecimento das características dos diferentes terrenos (materiais e processos geológicos) encontrados em Rio Claro fornece subsídios para a prevenção de possíveis vazamentos de hidrocarbonetos e contribui para a remediação de áreas contaminadas por essas substâncias, além de garantir a estabilidade das instalações dos postos de combustíveis.

Avaliação geológico-geotécnica tem como princípio orientar a implantação de postos de combustíveis em Rio Claro e definir os estudos necessários para auxiliar na escolha de equipamentos e intervenções mais adequadas, compatíveis com a situação de cada terreno encontrado na área de estudo. Esta avaliação tem como meta, contribuir para minimizar o quadro de vazamentos e contaminação que vêm ocorrendo.

Este artigo apresenta os principais resultados da pesquisa de mestrado da geóloga Debora Takie Yamada desenvolvida no programa de pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente da Unesp, campus de Rio Claro, SP. (Yamada, 2004). Os objetivos do estudo foram definir unidades de análise, realizar a caracterização geotécnica e avaliar cada uma delas, visando orientar a implantação de postos de combustíveis.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação foi necessária a definição de unidades de análise, com a caracterização geotécnica e associação destas com os principais problemas relacionados com tanques de armazenamento subterrâneo. Assim a avaliação consiste na definição de propriedades e características do meio físico e dos processos atuantes que interagem com os tanques de armazenamento subterrâneo ocasionando vazamentos, onde cada unidade apresenta parâmetros geotécnicos específicos definidos por meio de ensaio e análises físicas e químicas.

A relação entre os processos do meio físico e os tanques de armazenamento subterrâneo determina a possibilidade de ocorrência de vazamento, uma vez que os processos atuam sobre os tanques induzindo danos e conseqüentes vazamentos. Quando o produto vazado atinge o solo, seu processo de migração está relacionado com as propriedades do meio físico (ex.: porosidade).

Para avaliar a ocorrência de um vazamento de hidrocarbonetos de um tanque de armazenamento subterrâneo, deve-se levar em conta a susceptibilidade a determinados processos do meio físico que atuam em terrenos com características geotécnicas distintas. Esses processos podem desencadear danos nas estruturas enterradas, como tanques e tubulações. No Quadro 1 são apresentados alguns processos que influenciam os tanques de armazenamento subterrâneos.

Quadro 1 – Processos do meio físico que têm influência sobre os tanques de armazenamento subterrâneo.

Processos no meio Físico	Influência sobre os tanques de armazenamento subterrâneo
<i>Corrosão (solos corrosivos)</i>	Atua sobre o tanque de armazenamento subterrâneo, causando a corrosão do metal (quando sem proteção adequada), provocando vazamento de hidrocarboneto. A profundidade do N.A. pode contribuir para o desenvolvimento de processo corrosivo, caso o tanque fique parcialmente emerso.
<i>Colapso do solo</i>	Tanques instalados sobre solos colapsíveis, quando da adição de água (rompimento de tubulações enterradas) e sobre tensão (carga do tanque), sofrem colapso, danificando estruturas enterradas provocando rachaduras e trincas, além da possibilidade de indução de corrosão sob tensão.
<i>Compressão</i>	A aplicação de cargas (tanque), acima dos níveis de tensão admissíveis, provoca recalques no solo, ocasionando danos nas estruturas enterradas, provocando vazamentos.
<i>Expansão</i>	A hidratação de materiais, com minerais expansivos, desenvolve pressões de expansão, provocando a desestabilização de estruturas enterradas, como tanques subterrâneos. A flutuação do N.A. pode acarretar o desenvolvimento de expansão.

A migração do hidrocarboneto em subsuperfície (zona não saturada) depende das propriedades do material encontrado, seja um substrato geológico natural ou um aterro construído. A caracterização do meio pode determinar as rotas e o tempo de migração do produto (EPA, 2003). O Quadro 2 sumariza as propriedades do meio físico mais relevantes. A migração também depende de vários fatores que são funções das propriedades do fluido, fora do escopo deste trabalho.

Na área de estudo foram realizadas investigações diretas por meio de 18 sondagens a trado, até a profundidade de 4,00 m (a profundidade média da base de um tanque enterrado é entre 3,50 e 4,0 m), com coleta de amostras deformadas nos últimos 50 cm para análises físicas e químicas.

Como a região de Rio Claro conta com vários trabalhos de cunho geológico e geotécnico já publicados, foram utilizados dados existentes, tais como: índices físicos, capacidade de suporte, avaliação do grau de colapsividade, análise mineralógica, expansibilidade, compressibilidade e condutividade hidráulica.

Quadro 2 – Características das propriedades do meio físico que influenciam a migração de contaminante (hidrocarboneto).

Propriedade	Característica
<i>Porosidade</i>	Define a capacidade de armazenagem do meio (no caso hidrocarbonetos). Determina a quantidade de produto livre e residual, levando em conta a porosidade efetiva (EPA, 2003), além de estar relacionada com condutividade hidráulica do meio. Deve-se levar em conta as descontinuidades (porosidade secundária), pois servem de via preferencial ao transporte de poluentes (Leite e Zuquette, 1996), podendo ter influências regionais.
<i>Permeabilidade</i>	Controla as taxas de migração do fluxo de água subterrânea e a migração de hidrocarboneto (EPA, 2003) Quanto menor a condutividade hidráulica menor a velocidade de migração do contaminante.
<i>Anisotropia</i>	Anisotropia é a condição do meio na qual a medição de uma propriedade (ex.: condutividade hidráulica) depende da direção em que é feita a medição. A anisotropia pode fazer com que o fluxo de água subterrânea não seja na mesma direção do gradiente hidráulico (EPA, 2003).
<i>Heterogeneidade</i>	A heterogeneidade (diferenças de permeabilidade, causadas por exemplo, por fraturas, textura, composição, porosidade) do meio dá caminhos preferenciais para a migração do fluido (EPA, 2003).
<i>CTC</i>	Esse parâmetro constitui-se em fator bastante importante na retenção dos poluentes orgânicos e outros ions menos móveis, indicando a capacidade de retenção de poluentes pelo material inconsolidado. A CTC é a maior ou menor capacidade que a argila possui em trocar cations para neutralizar as cargas negativas (Leite e Zuquette, 1996).
<i>Profundidade e variação do N.A.</i>	É relacionada com a distância máxima que o contaminante irá percorrer até atingir a zona saturada. As flutuações do N.A., quando não consideradas podem diluir e transportar os compostos que se encontram na zona não saturada causando a contaminação das águas subterrâneas (Leite e Zuquette, 1996). Além de estar relacionada com a influência que pode exercer na instalação de um TAS e durante a sua vida útil (bombeamento constante da água na cava do tanque).
<i>Fluxo d'água subterrâneo</i>	O conhecimento deste parâmetro interfere diretamente na propagação do contaminante, indicando a direção e o sentido em que se deslocará a pluma de contaminante (Leite e Zuquette, 1996).
<i>Espessura de material inconsolidado</i>	A presença de uma camada de considerável espessura de material inconsolidado pode retardar em muito o tempo de chegada do poluente às águas subsuperficiais, desde que apresente CTC adequada e baixa condutividade hidráulica (Leite e Zuquette, 1996).

Para cada ponto de amostragem foram feitas as seguintes análises químicas: pH, EH (potencial redox), condutividade elétrica e CTC (capacidade de troca catiônica). Para as amostras das unidades II (diabásio) e IV (aluviões e solos hidromórficos) foram, também, determinados: teor de umidade, densidade dos sólidos do solo, limite de consistência e difração de raios-X, por não existirem dados anteriores na literatura.

Nas sondagens que atingiram o nível d'água subterrâneo (ST-11, ST-13, ST-14, ST-15 e ST-18) foram coletadas amostras para análises da água com a aferição do pH, EH, condutividade elétrica e teor de sulfeto e sulfato. As medidas de pH, EH e condutividade elétrica foram feitas "in situ". Estas análises foram utilizadas na determinação da agressividade dos solos da área de estudo.

Todas as análises objetivaram determinar a relação entre o tanque de armazenamento subterrâneo e o meio físico em que se encontra ou onde será instalado o posto, determinando o comportamento frente aos diferentes materiais, geometria e dinâmica das diferentes áreas.

Os dados obtidos através de informações e descrições de campo, ensaios de laboratório e de dados geotécnicos de literatura permitiram a caracterização geológica-geotécnica da área de estudo em quatro unidades de análise.

Para cada unidade foram observados comportamentos distintos quanto à implantação de tanques de armazenamento subterrâneo, indicando os principais problemas relacionados aos processos e propriedades do meio físico encontrados para cada unidade.

3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA

A área de estudo localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná que é representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Grupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes).

A maior parte do Município de Rio Claro está assentada sobre as formações Corumbataí e Rio Claro e, parcialmente, sobre rochas intrusivas básicas e depósitos recentes.

A **Formação Corumbataí** (Permiano) tem área de ocorrência bastante extensa no vale do rio Corumbataí. Bordeja quase todo o sítio urbano de Rio Claro, com predomínio nos setores norte e noroeste.

Constitui-se, em sua parte inferior, de argilitos, folhelhos e siltitos de cores cinza escuro e, na parte superior, de argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados a avermelhados, com intercalações de arenitos finos, leitões carbonáticos e coquinas (Schneider *et al.*, 1974). Em seus espessos pacotes lamíticos ocorrem atividades de mineração, voltadas para o fornecimento de matéria prima para a fabricação de cerâmica vermelha.

Os solos dessa formação são caracterizados como podzólicos vermelho-amarelos, com textura média/argilosa e aparecem em baixos topográficos (Cottas, 1983). Também ocorrem solos litólicos. A principal característica do solo é a pequena espessura, em geral inferior a 30 cm (Prado *et al.*, 1981).

Diabásios, correlatos à Formação Serra Geral, foram descritos por Zaine (2000) como áreas com corpos de rochas básicas intrusivas (soleiras e diques), com um relevo residual, suportado por litologias mais resistentes à erosão, como, na área, o morro do horto Florestal Navarro de Andrade (Floresta Estadual).

Os diabásios ocorrem também em situações de meia encosta, fundos de vales e leitões de rios. Associados a essas soleiras e diques de diabásio ocorrem solos, designados terra roxa estruturada, além de solos litólicos.

A área urbana do Município de Rio Claro está assentada, predominantemente, sobre a **Formação Rio Claro** (Cenozóico). Copeia grandes interflúvios planos de 50 a 60 m acima do rio Corumbataí, entre as cotas de 580 a 670 m. A área de ocorrência desta formação, com direção NW-SE, tem 30 km de extensão por 10 km de largura (Zaine, 1994).

Na região da área de estudo, a Formação Rio Claro assenta-se sobre rochas mais antigas, que são na maior parte rochas da Formação Corumbataí, onde o contato é marcado por um nível conglomerático. Em alguns pontos, a Formação Rio Claro recobre corpos de diabásio penetrados na Formação Corumbataí. A influência destas rochas é observada no solo de alteração da Formação Rio Claro, apresentando coloração escura e pela presença de lateritas ferruginosas (Zaine, 1994).

Os sedimentos da Formação Rio Claro são predominantemente arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados, com solo (latossolos areno argilosos) bastante desenvolvi-

do nos topos de interflúvios, sendo comuns lentes argilosas e níveis conglomeráticos (Zaine, 1994). Na porção basal desta unidade ocorrem níveis conglomeráticos e arenitos argilosos. Os níveis conglomeráticos são compostos de seixos de quartzo, clastos de lamitos e crosta ferruginosas associadas.

Zaine (1994) atribui o desenvolvimento de solos profundos pelo fato de os depósitos de Formação Rio Claro serem arenosos e de fraca litificação, contribuindo para os processos pedogenéticos e com grande influência climática. São latossolos vermelho-amarelos apresentam textura média, com profundidades entre 10 e 12m, ocorrendo em interflúvios tabuliformes (Prado *et al.*, 1981).

Associadas a Formação Rio Claro estão algumas lagoas e lagoas secas, características de relevo de colina ampla e tabuliforme.

Zaine (2000) define duas unidades geológico-geotécnicas para a área de ocorrência da Formação Rio Claro com base no relevo e contexto geomorfológico, assim tem-se a Formação Rio Claro na meia encosta e Formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes.

Os **depósitos aluvionares quaternários e solos hidromórficos** têm grande expressão nos vales dos Rios Corumbataí e Ribeirão Claro, correspondendo a extensas áreas planas, com nível d'água subterrâneo raso. As aluviões são compostas por sedimentos arenosos e argilosos, com espessura inferior a 5 m, geralmente hidromórficos e orgânicos associados (turfa), formando planícies de inundação (Zaine, 2000).

4 – RESULTADOS

A partir do estudo foram estabelecidas quatro unidades de análise que correspondem às unidades geológicas presentes na área urbana de Rio Claro, sendo elas: Unidade de análise I - Formação Corumbataí, Unidade de análise II - Diabásio, Unidade de análise III - Formação Rio Claro e Unidade de análise IV – Aluviões e Solos hidromórficos (Figura 1).

Os perfis característicos de cada uma das unidades de análise foram investigados detalhadamente através de 18 sondagens a trado, localizadas no mapa da Figura 1, com sua descrição apresentada no Quadro 3.

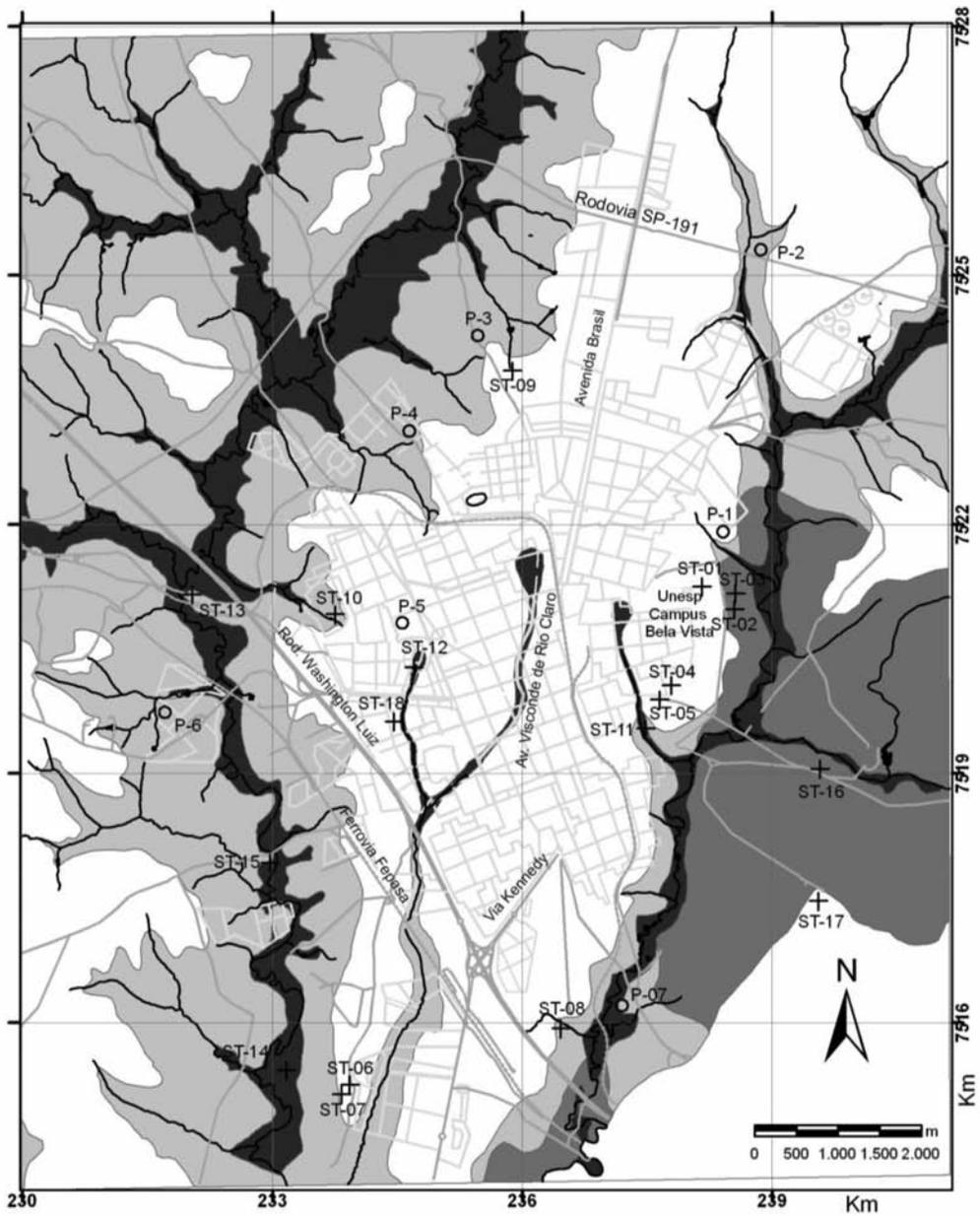
4.1 – Avaliação da Unidade de Análise I - Formação Corumbataí

Nesse contexto geológico-geotécnico composto por rochas silto-argilosas alteradas e um perfil de solo argiloso pouco espesso, a caracterização da unidade I demonstra que podem ocorrer algumas dificuldades, tanto no momento da instalação de tanques de armazenamento subterrâneo (TAS) quanto no decorrer de sua vida útil.

A dificuldade de escavação está relacionada com a escavabilidade do material, que pode apresentar intercalações de camadas mais resistentes (arenitos, siltitos carbonáticos), além do nível d'água subterrâneo (N.A.) ocorrer na profundidade da cava de instalação do tanque dificultando os trabalhos (Quadro 4). A variação do N.A. é um fator que pode causar a expansão do material, ocasionando danos nas instalações de tubulações e conexões do sistema de abastecimento de combustíveis.

Quanto a possíveis vazamentos de hidrocarbonetos, esta unidade apresenta algumas características favoráveis à contenção do contaminante (Quadro 4), ou seja, baixa condutividade hidráulica e presença de argilo-minerais como ilita e montmorilonita. Apesar de apresentar um intenso fraturamento, a maioria das descontinuidades está preenchida.

Devido à baixa permeabilidade dos materiais da Unidade I (Quadro 4) as condições para a propagação dos hidrocarbonetos são quase nulas, permanecendo concentrados próximo à fonte de vazamento. Caso a contaminação atinja zonas aquíferas, a recuperação do sítio contaminado será dificultada pela baixa permeabilidade.



Legenda

Unidades de Análise

- Unidade de Análise 04 - Aluvião e Solos Hidromórficos
- Unidade de Análise 03 - Formação Rio Claro
- Unidade de Análise 02 - Diabásio
- Unidade de Análise 01 - Formação Corumbataí

- Estradas e Ferrovias
- Drenagens
- Cidade
- + ST-0n - Sondagens a trado
- P-n - Pontos de Investigação

Fig. 1 – Mapa das Unidades de Análise (formações geológicas) com a localização dos pontos de investigações realizadas na área urbana do município de Rio Claro (modificado de Zaine, 2000).

Quadro 3 – Síntese da descrição das Sondagens a trado.

Sondagem/ Profund. em metros	Unidades de Análise	Descrição tátil-visual
ST-1 4,5 m	III	Areia argilosa marrom avermelhada, mais escura até 0,60 m, granulação fina a média, bem selecionada, com poucos grãos grossos esparsos, sub arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-2 4,0 m	III	Areia argilosa (quantidade mais significativa de argila), marrom avermelhada, granulação fina, bem selecionada, grãos sub arredondados a arredondados, com película de óxido de ferro. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-3 3,9 m	II	Solo argiloso vermelho escuro. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-4 4,0 m	III	Areia argilosa avermelhada mais escura nos primeiros 0,70 m, granulação fina média, bem selecionada, com poucos grãos grossos esparsos, sub arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-5 4,0 m	III	Areia argilosa avermelhada granulação fina, bem selecionado, com poucos grãos maiores esparsos, sub arredondados a arredondados, com película de óxido de Fe, matriz argilosa. Ao longo do perfil, ocorrem manchas acinzentadas.
ST-6 4,0 m	III	Areia argilosa marrom avermelhada, mais escura nos primeiros 0,3 m, granulação fina média, bem selecionada, com poucos grãos grossos esparsos, sub arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-7 3,9 m	III	Areia argilosa avermelhada, com tonalidades acinzentadas nos primeiros 0,3 m, granulação fina média, bem selecionada, com grãos grossos esparsos, sub arredondados a arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. A 3,7 m presença de nível conglomerático de aproximadamente 30 cm (contato com a Fm Corumbataí)
ST-8 4,1 m	III	Areia argilosa marrom amarelada, mais cinza próximo à superfície, granulação fina, bem selecionado, com poucos grãos maiores esparsos, arredondados com matriz argilosa. A partir de 1,80 m areia argilosa avermelhada e amarelada mosqueada. N.A. a 2,80m.
ST-9 4,0 m	III	Areia argilosa marrom avermelhada, mais escuras próximo à superfície, granulação fina a média, bem selecionada, poucos grãos grossos esparsos, sub arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. Presença de carvão. Perfil de solo homogêneo, sem variação.
ST-10 4,0 m	III	Areia argilosa marrom avermelhada, granulação fina, bem selecionada, com poucos grãos grossos esparsos, sub arredondados, com película de óxido de Fe, e matriz argilosa. Perfil de solo homogêneo, sem nenhuma variação.
ST-11 4,1 m	IV	Areia fina média avermelhada com manchas cinzas, sem matriz, mal selecionada, com grânulos de quartzo subarredondado, a 2,40m ocorre manchas ocre. A 2,70m camada silto-argilosa amarela com pequenas manchas cinzas e vermelha. N.A. a 3,90m.
ST-12 3,3 m	IV	Material arenoso quartzoso, com película de óxido de Fe, grãos subarredondados, bem selecionados, apresenta clastos de laterita. Até 1,50m solo com coloração marrom clara, a 1,80m passa para tonalidades mais ocre com manchas vermelhas (até final do furo).
ST-13 2,4 m	IV	Areia fina a muito fina quartzosa, grãos arredondados a subarredondados, bem selecionado, limpos. Apresenta coloração marrom a amarelo pálido. A 0,8 m passa a ocorrer pontos oxidados vermelhos, acompanhado do aumento da umidade. N.A. a 1,90m com solo cinza claro. Contato com Fm Corumbataí a 2,40m.

Quadro 3 (Continuação) – Síntese da descrição das Sondagens a trado.

Sondagem/ Profund. em metros	Unidades de Análise	Descrição tátil-visual
ST-14 3,9 m	IV	Areia quartzosa fina a média, amarelada, grãos subarredondados, selecionados. A 1,80m manchas vermelhas, a 2,10m as manchas cinzas (maior umidade). A 2,50m camada de 0,3 m com muita matéria orgânica (turfa). N.A. a 3,20m. Abaixo do N.A. aparecem tonalidades ocre.
ST-15 3,5 m	IV	Areia fina, de coloração amarelo claro, com grãos arredondados e bem selecionados. A 0,9m aparecem bandas marrom escuro e avermelhadas (mais úmido). Solo mais úmido a 1,70m, com tonalidades mais claras. N.A. a 2,40m. De 3,00 m a 3,50 m sedimento cinza com manchas ocre alaranjadas.
ST-16 3,2 m	II	Solo argiloso, vermelho arroxeadado, com manchas amarelo ocre. Sem variação no perfil de solo.
ST-17 3,4 m	II	Solo marrom escuro com fragmentos de rocha (diabásio) alterada ocre. Solo litólico. Término do furo a 3,40m devido a presença de rocha (diabásio).
ST-18 2,7 m	IV	Solo argiloso cinza escuro até 0,50 m, passando para uma argila. N.A. a 1,50m. A partir daí ocorre na argila lentes de material arenoso branco. Término do furo a 2,70 (dificuldade de penetrar o trado).

4.2 – Avaliação da Unidade de Análise II – Diabásio

Na instalação do TAS, essa unidade pode apresentar dificuldade de escavação (Quadro 3), uma vez que, geralmente, são encontrados blocos e lajes de diabásio. A indicação precisa dessas características aponta para a necessidade de investigações complementares. A unidade é classificada como favorável ao desenvolvimento de processos corrosivos, indicando serem necessários cuidados adicionais na execução da obra e na escolha de equipamentos.

O tipo de material argiloso com condutividade baixa e CTC mais elevada torna essa unidade favorável a retenção de contaminantes (Quadro 4).

O topo da rocha são fraturada próximo à superfície ou a poucos metros da base do tanque de armazenamento subterrâneo representa um fator agravante, pois no caso de vazamentos de hidrocarbonetos, as fraturas servem como caminho mais rápido para o transporte do contaminante.

Se o nível d'água subterrâneo estiver próximo à superfície, também se torna um fator agravante, pois, além de dificultar a obra de instalação do TAS, em caso de vazamento será imediatamente contaminado. Segundo Duarte (1980), a espessura do solo e o nível freático profundo podem, em certos casos, diminuir o perigo da poluição ou mesmo retardá-la, já que o solo apresenta uma permeabilidade homogênea, menor que a das zonas fraturadas ou fissuradas, dificultando a chegada dos poluentes ao aquífero.

4.3 – Avaliação da Unidade de Análise III - Formação Rio Claro

Essa unidade não apresenta dificuldades na instalação do tanque de armazenamento subterrâneo. Entretanto, o potencial de colapso do solo e a agressividade (Quadro 4) indicam a necessidade da escolha de medidas de segurança e obras de engenharia adequadas, compatíveis com a situação local, evitando vazamentos de tubulações de água e esgoto e optando por tanques de armazenamento subterrâneo com proteção contra corrosão.

Quadro 4 – Classificação dos principais atributos necessários para orientar a instalação de tanque de armazenamento subterrâneo em postos de combustíveis, distribuídos por unidade de análise em Rio Claro (Modificada de Yamada, 2004).

Unidade de Análise Atributos Analisados	UNIDADE I Formação Corumbataí	UNIDADE II Diabásio	UNIDADE III Formação Rio Claro	UNIDADE IV Aluvião e Solos Hidromórficos
Tipo de material	Siltitos e argilitos, solo residual argiloso	Argiloso, latossolo e solo litólico	Solo Areno-argiloso	Solo Arenoso e argiloso
Espessura material inconsolidado	< 2 m	0 a 13 m	10 a 30m	< 5 m
Declividade	<5% e entre 5 – 15%	5 – 10% e 10 – 20%	<2%, topo de colina; 5 – 15% e >15% em média encosta	Área de inundação: influência dos processos fluviais
Profundidade do nível d'água	Raso, <2m em épocas de chuva, variando na estiagem	Variável, entre 3 a 13m	10 a 20m e 5m próximo ao limite com a Unidade IV (fundos de vales)	Inferior a 3 m
Fraturamento estrutural	Muito fraturado, juntas preenchidas. Não favorece a percolação do contaminante.	Propicia a percolação de contaminantes.	Não verificado	Não verificado
CTC	Minerais como illita e montmorilonita leva a estimar valores de CTC favoráveis a retenção de contaminantes	3,65 a 7,37 meq/100g, não favorável à retenção de contaminantes (Leite e Zuquette, 1996)	1,04 a 1,76 meq/100g, não favorável à retenção de contaminantes (Leite e Zuquette, 1996)	1,58 a 5,35 meq/100g, não favorável à retenção de contaminantes (Leite e Zuquette, 1996)
Condutividade hidráulica	$6,5 \times 10^{-7}$ cm/s (solo residual) e da ordem de 10^{-8} cm/s (rochas), classificados como “baixa” permeabilidade (Zuquette, 1987)	$5,1 \times 10^{-5}$ cm/s (solo), classificado como “razoável” permeabilidade (Zuquette, 1987)	Valores entre 10^{-3} e 10^{-2} cm/s, “alta” permeabilidade (Zuquette, 1987)	Arenoso $4,2 \times 10^{-4}$ cm/s, argiloso $9,0 \times 10^{-6}$ cm/s, classificados como razoável e baixa permeabilidade (Zuquette, 1987)
Compressibilidade	Média compressibilidade ($C_c=0,26$) (Cottas, 1983), com resistência a compressão baixa a extremamente alta para rochas sedimentares - entre 9,6 MPa a 147,2 Mpa (Campos e Vicelli Neto, 1987)	Média compressibilidade ($C_c=0,28$) (Cottas, 1983)	Baixa a média compressibilidade (C_c entre 0,15 a 0,45) (Cottas, 1983), assemelha-se a material incompressivo a teor de umidade natural (Gibotti, 1999)	Baixo índice de compressão ($C_c = 0,08$ e 0,12) (Cottas, 1983) para aluviões arenosos e argilosos, níveis de turfa com alta compressibilidade

Quadro 4 (Continuação) – Classificação dos principais atributos necessários para orientar a instalação de tanque de armazenamento subterrâneo em postos de combustíveis, distribuídos por unidade de análise em Rio Claro (Modificada de Yamada, 2004).

Unidade de Análise Atributos Analisados	UNIDADE I Formação Corumbataí	UNIDADE II Diabásio	UNIDADE III Formação Rio Claro	UNIDADE IV Aluvião e Solos Hidromórficos
Capacidade de carga	Suporta as solicitações impostas pelo tanque 3,5 a 4,8 kg/cm ² , classificação de Chiossi (1975) e Lima (1979)	Suporta as solicitações impostas pelo tanque 1,20 a 3,5 kg/cm ² , classificação de Chiossi (1975) e Lima (1979)	Suporta as solicitações impostas pelo tanque de <1,0 - 1,5 kg/cm ² , classificação de Chiossi (1975) e Lima (1979)	Suporta as solicitações impostas pelo tanque 1,0 e 3,0 kg/cm ² , Chiossi (1975) e Lima (1979)
Colapsividade do solo	Não colapsível	Não colapsível	Colapsível	Não colapsível
Expansibilidade	Baixa expansibilidade (rocha), potencialmente expansivo (níveis aflorantes)	Baixo a médio potencial de expansão (para IP=15, classificação de Chen (1975)	Não verificado	Baixo potencial de expansão (tanto para material arenoso quanto argiloso) para IP= 6 e 7 (Chen,1975)
Dificuldade de escavação	Pode-se encontrar alguma dificuldade na escavação, quando encontra-se a rocha subjacente, classificada como “branda” a “dura” (Redaelli e Cerello, 1998).	Dificuldade de escavação devido à presença de blocos e lajes de diabásio, classificadas como “muito duras” (Redaelli e Cerello, 1998)	Não verificado	Instabilidade do material ocasionando a desestabilização das paredes da cava de instalação do tanque
Corrosão	Não foi avaliada	Favorável ao desenvolvimento de processos corrosivos	Não corrosiva a umidade natural; corrosiva quando saturada	Favoráveis ao desenvolvimento de processos corrosivos

Por ser um material areno-argiloso com condutividade hidráulica classificada como de “alta” permeabilidade e CTC fora dos padrões estabelecidos por classificações (Quadro 4), a unidade é não favorável à retenção de contaminantes, caso haja vazamentos. Mas, deve-se ressaltar que a grande espessura de material inconsolidado (Figura 2) e o nível d’água profundo são características da unidade que retardam a contaminação das águas subterrâneas.

Dentro desta unidade, as áreas em situação de baixa encosta, junto ao limite com a Unidade de Análise IV e próximas às lagoas e cabeceiras de drenagem onde o N.A. está mais raso ou mais próximo a base do TAS, são mais susceptíveis à contaminação em relação àquelas com N.A. mais profundo. Cabe ressaltar que a flutuação do nível freático deve ser considerada, pois pode diluir e transportar possíveis compostos que se encontram na zona não saturada causando a contaminação da água de subsuperfície.

4.4 – Avaliação da Unidade de Análise IV – Aluvião e Solos hidromórficos

Por apresentar elementos favoráveis ao desenvolvimento de processos corrosivos, como presença de lentes de turfa compressíveis e, principalmente, nível d’água subterrâneo próximo à



Fig. 2 – Perfil de solo característico da Formação Rio Claro , Unidade III.

superfície (dificuldade de escavação e facilidade de contaminação das água), essa unidade apresenta algumas restrições para a instalação de postos de serviço (Quadro 4). Assim, existe a necessidade de medidas preventivas, estudos complementares e obras de engenharia corretivas que adequem o projeto de instalação do TAS às características do terreno.

Deve-se ressaltar que a turfa serve como uma camada protetora contra possíveis vazamentos, já que a matéria orgânica tem a capacidade de adsorver ions de hidrocarbonetos. Portanto, são necessárias obras de engenharia que mantenham a camada de turfa e, ao mesmo tempo, a estabilidade da obra.

A unidade IV pode ser avaliada como restritiva à instalação de postos de combustíveis, por apresentar N.A. raso (< 3 m) e estar em áreas sujeitas a inundações (Quadro 4), além da proximidade com os cursos d'água superficiais, principais condutores e receptores de poluentes. Complementarmente, quando essencialmente arenosa, a unidade apresenta baixa capacidade de retenção de contaminantes e condutividade hidráulica elevada. Na ocorrência de um vazamento de combustível de um TAS, as águas subterrâneas e superficiais seriam imediatamente contaminadas.

Assim, tal situação impõe a necessidade de dispositivos de monitoramento e controle mais rígido e freqüente nos postos de combustíveis.

5 – CONCLUSÕES

A partir do que foi apresentado para as unidades de análise definidas, isto é, suas características e propriedades, foi possível estabelecer um quadro síntese conclusivo (Quadro 5), indicando as restrições e potencialidades para a instalação de postos de combustíveis na área urbana de Rio Claro. Esta avaliação geológico-geotécnica fornece orientações que ajudam na elaboração de projetos de postos de combustíveis, auxiliando nas fases de planejamento da obra e de sua implantação.

Quadro 5 – Síntese das Unidades de análise com indicação das principais restrições e potencialidades para a implantação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP).

Unidades de Análise	Restrições	Potencialidades
Unidade I Formação Corumbataí	<ul style="list-style-type: none"> – Apresenta potencial para desenvolvimento de processo expansivo. – N.A. pouco profundo (<2m) – Dificuldade de escavação (solo pouco espesso, rochas branda a dura) 	<ul style="list-style-type: none"> – Unidade que suporta as solicitações impostas pelo tanque – Favorável a retenção de contaminantes (condutividade hidráulica e CTC)
Unidade II Diabásio	<ul style="list-style-type: none"> – Dificuldade de escavação (blocos e lajes de diabásio) – Solo com potencial para o desenvolvimento de corrosão – Fraturamento estrutural (topo rochoso próximo a base do TAS) 	<ul style="list-style-type: none"> – Média compressibilidade do solo – Baixo a médio potencial de expansão do solo – Suporta as solicitações impostas pelo tanque – Favorável a retenção de contaminantes (condutividade hidráulica e CTC)
Unidade III Formação Rio Claro	<ul style="list-style-type: none"> – Solo colapsível – Solo favorável ao desenvolvimento de processo corrosivo – Não favorável a retenção de contaminantes (condutividade hidráulica e CTC) – Pouca profundidade do N.A. em áreas de baixa encosta 	<ul style="list-style-type: none"> – Baixa a média compressibilidade do solo (incompressivo a teor de umidade natural) – Suporta solicitações impostas pelo tanque
Unidade IV Aluvião e solos hidromórficos	<ul style="list-style-type: none"> – Presença de camadas de turfa compressíveis – Solo favorável ao desenvolvimento de processo corrosivo – N.A. pouco profundo (<3m) – Dificuldade de escavação (material instável) – Não favorável a retenção de contaminantes (condutividade hidráulica e CTC) – Necessidade de rebaixamento do N.A. e ancoragem do TAS (flutuação) – No caso de vazamentos, rápida contaminação das águas (subterrânea e de superfície) 	<ul style="list-style-type: none"> – Baixo potencial de expansão – material arenoso; pode apresentar expansão para material argiloso – Baixa compressibilidade do solo – Suporta solicitações impostas pelo tanque

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à ANP – Agência Nacional de Petróleo e FINEP, através do Programa de Recursos Humanos ANP para o Setor de Petróleo e Gás - PRH-05, pela bolsa de estudo da Geóloga Débora Yamada e da Engenheira Ambiental Suseli de Marchi Santos, cujo apoio foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. (1994). *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, n.41, pp. 169-263.
- Campos, J.O.; Vicelli Neto, P. (1987). *Ponderações sobre o comportamento geotécnico da Formação Rio Claro*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987. São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE. v.2, pp. 323-335.

- Chen, F.H. (1975). *Foundations on expansive soils*. Amsterdão: Elsevier Scientific Publishing Company. 280 p. (Developments in Geotechnical Engineering, 12).
- Chiossi, N.J. (1975). *Geologia Aplicada à Engenharia*. São Paulo: Grêmio Politécnico. 427 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Postos de combustíveis. 2003. Disponível em:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos_combustiveis.asp> Acesso em: 5.mai.2003.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2000). Dispõe sobre a prevenção e controle de poluição em postos de combustíveis e serviços. Resolução n. 273, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, DF, 08 jan. 2001. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 14 abr. 2004.
- Cottas, L.R. (1983). *Estudos geológico-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro – SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 171 p., 2v.
- Duarte, U. (1980). *Geologia ambiental das áreas de São Pedro (SP) – vetor águas subterrâneas*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 73 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTING AGENCY - EPA. Behavior of hydrocarbons in the subsurface. Cap. III. 2003b Disponível em:
<http://www.epa.gov/oust/pubs/fpr_c3.pdf. Acesso em: 21mai.2003.
- Gibotti Júnior, M. (1999). *Subsídios geológico-geotécnicos para a implantação de tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis: estudo de caso em um solo da Formação Rio Claro*. Rio Claro, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 94 p.
- Leite, J.C.; Zuquette, L.V. (1996). *Atributos fundamentais à elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABGE, v.2, pp. 647-657.
- Lima, M.J.C.P.A. (1979). *Prospecção geotécnica do subsolo*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 104 p.
- Prado, H.; Oliveira, J.B.; Almeida, C.L.F. (1981). *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo*. Quadrícula de São Carlos, Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas.
- Redaelli, L.L.; Cerello, L. (1998). *Escavações*. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE. pp. 311-330.
- Schneider R.L.; Muhmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, E.A.; Daemon, R.F.; Nogueira, A.A. (1974). *Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, 1974, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBG, v. 1, pp. 41-65.
- Yamada, D.T. (2004). *Caracterização geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 122 p.

- Zaine, J.E. (1994). *Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 90 p.
- Zaine, J.E. (2000). *Mapeamento Geológico-Geotécnico por meio do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 149 p.
- Zuquette, L.V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.