

14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

EVOLUÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA EXECUÇÃO E ANÁLISE DE TELEVISAMENTO DE SONDAGENS: A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO METRÔ DE SÃO PAULO.

Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira ¹; Daniel Diniz França ²; Marcelo Denser Monteiro ³;
Fabrícia Massoni Cicotti ⁴; Fábio Taioli ⁵; Manuel Xavier Lemos Filho ⁶; Hugo Cássio Rocha ⁷

Resumo

Novas tecnologias são continuamente desenvolvidas com o intuito de auxiliar nas investigações de maciços rochosos, aprofundando o conhecimento das características geológico-geotécnicas do meio. No caso das obras do Metrô de São Paulo, as condições de urbanização dificultam em demasia o acesso a afloramentos rochosos, impossibilitando a obtenção de informações precisas sobre a rocha *in situ* e suas descontinuidades. Uma alternativa oferecida são os serviços de televisamento dos furos de sondagens, também conhecido como perfilagem óptica, que reproduz o que pode ser considerado um testemunho de sondagem virtual, e fornece informações importantes sobre as características geomecânicas do maciço, além de proporcionar a aquisição de dados estruturais, o que auxilia na compreensão do modelo geológico-geotécnico da região de estudo.

Este artigo apresenta a evolução da proposta apresentada em Oliveira *et al.* (2012), levando em consideração as necessidades de mudanças e atualizações após a análise de diversos furos de sondagens televisados em projetos de linhas do Metrô de São Paulo. Foi elaborada uma especificação técnica com o objetivo de estabelecer os requisitos técnicos para a execução dos serviços de televisamento realizados em sondagens, indicando uma metodologia para a descrição das feições geológico-geotécnicas observadas nestas imagens.

Abstract

New technologies have been continuously developed to help in rock mass investigation, contributing to increase the understanding of the geological and geotechnical characteristics. In the case of São Paulo Metro (like in other major cities) the urbanization conditions jeopardize the access to outcrops, which preclude obtaining precise information of *in situ* rocks and its discontinuities. One alternative to overcome such problem is the use of borehole televiewer logging that reproduces a “virtual borehole core”, and provides important information on the geomechanical characteristics of the rock mass, since it provides structural data that helps in the geological and geotechnical model understanding.

This paper presents an evolution on the proposal presented by Oliveira *et al.*, 2012, taking into account the experience acquired on the analysis and description of several boreholes televiewer logs in projects of the São Paulo Metro. Therefore, a technical specification is proposed in order to establish the technical requirements for the application of the boreholes televiewer technique and presents a methodology to describe the geologic-geotechnical features presented in the logging.

Palavras-Chave – Televisamento de Furos, Perfilagem Óptica, Metrô de São Paulo, Caracterização de Maciços Rochosos

^{1, 3, 4, 7} Geólogos da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Rua Augusta, 1626, São Paulo-SP. 01304-902. (11) 33717028, dggoliveira@metrosp.com.br; mdmonteiro@metrosp.com.br; fmassoni@metrosp.com.br; hcrocha@metrosp.com.br

² Geólogo Progeo Engenharia. Rua Maria Beatriz, 894, Belo Horizonte-MG. 30.555-140. (31) 33121348. daniel.franca@progeo.com.br

⁵ Professor Titular da Universidade de São Paulo: Rua do Lago, 562, São Paulo-SP. 05508-080. (11) 30914200. ftaioli@usp.br

⁶Técnico da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Tel. 11 33717422; xavier_lemos@metrosp.com.br

1. INTRODUÇÃO

O televisamento de sondagens é uma tecnologia introduzida já há algum tempo no país, sendo que recentemente houve a inserção deste método no Manual de Sondagens da ABGE, contendo a descrição do equipamento, assim como um resumo das possibilidades de produtos gerados a partir desta tecnologia, não havendo especificações detalhadas de uma sistemática na interpretação dos dados obtidos neste serviço.

A ausência de sugestões específicas para a aplicação desta tecnologia, na área de geologia de engenharia, levou a equipe técnica da Companhia do Metropolitano de São Paulo, juntamente a outros colaboradores, a elaborar uma metodologia para a execução e análise dos dados a partir deste serviço, tendo principalmente como base o manual de descrição quantitativa de descontinuidades da ISRM (1978), além da experiência prática obtida em conjunto com as executoras deste serviço em diversos projetos da Companhia.

Os resultados obtidos a partir da utilização desse método, para serviços relacionados a obras de engenharia, requerem um grau de padronização adequado, para que sejam aproveitados ao máximo, obtendo-se todas as informações possíveis para melhor caracterizar e classificar um maciço rochoso, complementando a caracterização feita em testemunhos de sondagens.

Em Oliveira *et al.* (2012) foi proposta uma metodologia para descrição das paredes de furos de sondagens televisadas. O presente artigo busca reforçar a metodologia elaborada, assim como indicar as mudanças e ajustes nesta metodologia, buscando, dessa forma, alcançar um formato que seja tanto factível de ser realizado pela executora destes serviços, quanto suficiente para fornecer as informações necessárias aos projetos.

2. AQUISIÇÃO DE IMAGENS

O equipamento de televisamento consiste, simplificadamente, em uma sonda com corpo de aço, com uma câmera em sua parte interna, ligada a um cabo especial que, além de sustentar a sonda, envia os sinais adquiridos a uma central acoplada a um computador. Esta sonda é também equipada com um sistema de magnetômetros e acelerômetros tri-ortogonais, que possibilitam orientá-la espacialmente, além de um sistema de anotação de profundidade.

O controle do sistema é efetuado por intermédio de um software de aquisição ligado diretamente à câmera. As imagens e dados obtidos são, posteriormente, exportados para outro software que permite o tratamento das informações obtidas. Na fase de interpretação, as descontinuidades são identificadas e caracterizadas, obtendo-se suas respectivas atitudes, além de outros parâmetros, sendo possível elaborar estereogramas dos polos e dos planos estruturais, bem como análises estatísticas.

Para a aquisição das imagens é necessário que o furo esteja limpo, garantindo que informações não sejam ocultadas pela presença de água turva em seu interior. Cabe à empresa executora a decisão e a responsabilidade de qual método deverá ser utilizado para garantir uma boa filmagem, seja usando a circulação de água para remover detritos do interior do furo ou o uso de produtos químicos para flocular o excesso de materiais em suspensão. Caso ocorra a opção pelo uso de produtos químicos, a contratada é responsável pela verificação da adequação destes produtos às normas ambientais vigentes.

A aquisição das imagens deverá ser realizada considerando-se o norte magnético, ou seja, sem declinação magnética. A declinação magnética deverá ser incluída apenas na fase de tratamento de dados, em escritório.

Para casos de televisamento em furos inclinados a aquisição de imagens deverá ser realizada logo após a abertura do furo, para garantir qualidade na imagem. E, por último, deve ser comparada a profundidade do revestimento do furo fornecido pela executora da sondagem com o encontrado no televisamento, para calibração das demais profundidades.

3. CARACTERIZAÇÃO DO TESTEMUNHO VIRTUAL

Considerando que um maciço rochoso, do ponto de vista da engenharia, é um conjunto de blocos de rocha delimitados por descontinuidades, é essencial que sejam descritos tanto a matriz rochosa como as descontinuidades que a delimita e o material de preenchimento dessas descontinuidades, da mesma forma que se descreve os testemunhos de sondagens.

3.1 Matriz Rochosa

Os parâmetros sugeridos para a descrição da matriz rochosa, possíveis de serem observados nas imagens de televisamento e de interesse para projetos de engenharia, são: a descrição dos litotipos, estrutura, textura, composição mineralógica e seu grau de alteração.

Propõe-se a divisão do testemunho virtual em zonas sempre que houver mudanças em um destes parâmetros, principalmente definindo intervalos com graus de alteração distintos e delimitando domínios estruturais e litológicos diferentes. Sugere-se a elaboração de planilha indicando os diversos trechos definidos na matriz rochosa, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de tabela com caracterização da rocha intacta.

FURO SM-132		TABELA 1 - MATRIZ ROCHOSA					
PROFOUNDIDADE (m)	ESPESSURA (m)	LITOLOGIA	UNIDADE	ESTRUTURA	TEXTURA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	GRAU DE ALTERAÇÃO
19,92	0,32	<i>Gnaisse</i>	<i>Embasamento da Bacia de São Paulo</i>	<i>Gnáissica, mineirais orientados, foliação incipiente. Presença de veios quartzo-feldspáticos centimétricos a métricos.</i>	<i>Inequigranular, média/grossa, megacristais tabulares de feldspato.</i>	<i>Quartzo, Feldspato, minerais máficos (biotita e etc).</i>	II
20,24	4,08						I
24,32	0,38						II
24,7	1						I
25,7	2,8						II
28,5	0,95						I
29,45	0,19						II
29,64	7,21						I
36,85	0,72						II
37,57	3,26						I
40,83	0,95						II
41,78	8,4						III
50,18	Fim do Furo						

Na caracterização da matriz rochosa é essencial descrever os aspectos do corpo rochoso como um todo. Inclui-se aí as estruturas ditas penetrativas, que não interrompem, necessariamente, a continuidade física do meio rochoso, como a foliação, xistosidade, bandamento, acamamento, dobramentos, veios, etc. Estas estruturas devem ser devidamente caracterizadas, pois são de suma importância na definição do modelo geológico estrutural do maciço, diversas vezes indicando aspectos que influenciarão em seu comportamento geomecânico. Na Tabela 2 apresenta-se como exemplo a descrição destas estruturas penetrativas para uma imagem de televisamento obtida em projetos do Metrô de São Paulo.

Com relação ao estado de alteração da rocha, apenas será possível uma caracterização limitada, feita visualmente. Na prática poderão ser notadas variações no brilho e na coloração dos minerais, indicando uma maior alteração da rocha com relação aos trechos de rocha sã (Figura 1).

Nas filmagens pode-se observar a textura das paredes, que seria indiretamente a avaliação da resistência mecânica, considerando que a perfuração do furo pela sondagem mecanizada implicaria em um desgaste nestas paredes, sendo mais evidente este desgaste quanto mais alterada a rocha for, relação já citada anteriormente em Vaz *et al.* (2011).

Para a caracterização de tais intervalos alterados sugere-se o uso da tabela adaptada de ISRM (1978) (Tabela 3).

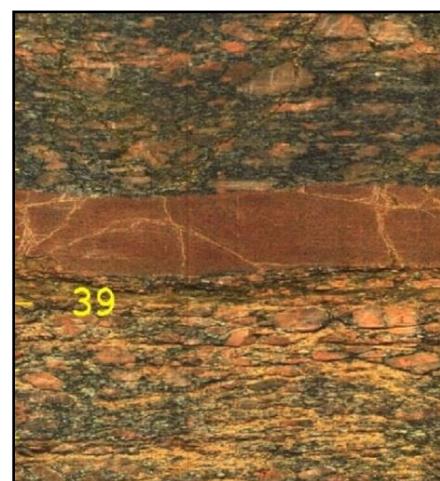
Tabela 2 – Estruturas penetrativas delimitadas em imagem de televisamento.

FURO SM-5902			TABELA 2 - ESTRUTURAS PENETRATIVAS				
NÚMERO	PROF. (m)	ESPESSURA (cm)	DIREÇÃO DE MERGULHO	MERGULHO	LITOLOGIA	TIPO DE ESTRUTURA	GRAU DE ALTERAÇÃO
66	32,6		242	28		FOLIAÇÃO	
74	33,29	10	356	30	QUARTZO	VEIO	I
75	33,44		244	35		FOLIAÇÃO	
90	33,58		250	34		FOLIAÇÃO	
95	33,67	20	243	42	MÁFICO	BANDAMENTO	II
105	34,45	8	312	32	MÁFICO	VEIO	II
106	34,68		236	55		FOLIAÇÃO	

Tabela 3 – Graus de alteração do maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1978 e Serra Junior & Ojima, 1998).

Figura 1– Diferenças no aspecto de trechos menos e mais alterados. Fonte: Metrô-SP.

SIGLA	DENOMINAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DA ROCHA
I	Rocha sã ou praticamente sã.	Ausência de sinais de material rochoso alterado ou minerais ligeiramente descoloridos. Minerais com brilho.
II	Rocha medianamente alterada.	Apresenta minerais com menor brilho e a rocha é bastante descolorida.
III	Rocha muito alterada.	Apresenta minerais sem brilho, rocha intensamente descolorida. Menos que a metade do material rochoso está decomposto ou desintegrado.
IV (IV a VI)	Rocha extremamente alterada.	Apresenta minerais totalmente sem brilho e a rocha é intensamente descolorida. Mais do que a metade do material está decomposto ou desintegrado, solo.



3.2 Descontinuidades

O televisamento fornece a imagem do testemunho virtual “enrolado” (imagem da superfície cilíndrica das paredes dos furos de sondagem e perfurações) e “desenrolado” (analogamente, imagem da superfície cilíndrica aberta das paredes dos furos de sondagem e perfurações). Nas imagens da superfície cilíndrica aberta das paredes dos furos é possível definir as descontinuidades, pois estas, dependendo do mergulho da estrutura analisada, formam curvas senoidais, passíveis de serem definidas digitalmente a partir de três pontos demarcados sobre a imagem, definindo, automaticamente, uma linha, à qual corresponde a uma descontinuidade espacialmente posicionada, com sua respectiva atitude.

É certo que esta ferramenta, ao fornecer orientações destas descontinuidades e suas respectivas profundidades, já reflete uma grande vantagem no uso deste equipamento, sendo de grande utilidade na análise estrutural do maciço rochoso. Porém, a análise e interpretação destas feições podem prosseguir e fornecer mais informações relevantes do maciço rochoso.

Tendo como base os métodos sugeridos pela ISRM (1978), os demais parâmetros das descontinuidades devem ser descritos, como o tipo de estrutura, espaçamento, rugosidade, abertura, presença e material de preenchimento, alteração das paredes e percolação d’água, observados de forma indireta, já que, de modo geral, muitos destes aspectos estão nas superfícies das paredes das descontinuidades. Outras informações de caracterização e até mesmo classificação das descontinuidades no maciço rochoso podem ser determinados, como o grau de fraturamento e o RQD teórico, através de diversas correlações estabelecidas por distintos autores. Neste artigo faz-se referência apenas à obtenção do grau de fraturamento. Em Oliveira *et al.* (2012) é mencionada a aplicação do RQD teórico em imagens de televisamento, já contando

com a necessidade de um período experimental para a comprovação da aplicabilidade deste parâmetro.

Todos os parâmetros devem ser descritos e apresentados em uma tabela de dados, como sugerido na Tabela 4. Cada descontinuidade deverá ser enumerada na fase de processamento de dados, incluindo-se como uma das informações presentes na imagem gerada no perfil de sondagem e apresentada na tabela.

Tabela 4 – Exemplo de tabela com parâmetros descritos para descontinuidades delimitadas em imagens de furos de sondagens.

FURO SM-5902					TABELA 4 - DESCONTINUIDADES								
NÚMERO	PROF. (m)	DIREÇÃO DE MERCULHO	MERCULHO	TIPO DE ESTRUTURA	ESPAÇAMENTO (m)	RUGOSIDADE	ABERTURA	PREENCHIMENTO	ESPESSURA (cm)	ALTERAÇÃO DAS PAREDES	PERCOLAÇÃO D'ÁGUA	GRAU DE FRATURAMENTO	
1	52,86	290	37	Fratura	0	Lisa	Fechada	Ausente	0	D1	Ausente	F2	
2	53,00	310	39	Fratura	0,14	Lisa	Fechada	Máfico	1	D2	Ausente		
3	53,18	338	25	Fratura	0,18	Rugosa	Semi-aberta	Película de argila	0,5	D3	Ausente		
4	53,20	335	27	Plano de falha	0,02	Polida	Aberta	Película de argila	0,8	D4	Ausente	F1	
5	53,25	306	35	Fratura	0,05	Rugosa	Aberta	Ausente	2	D4	Sinais de oxidação		
6	53,41	116	74	Fratura	0,16	Rugosa	Fechada	Quartzo	1	D2	Ausente	F3	
7	53,49	111	69	Fratura	0,08	Lisa	Semi-aberta	Ausente	0	D4	Ausente		

3.2.1 *Tipo de Estrutura*

É de suma importância classificar os tipos de estruturas observados, principalmente buscando separar fraturas das demais estruturas como foliação, bandamento, falha, zona de cisalhamento, veios, dobras, acamamento e contato litológico, conforme já mencionado anteriormente, diferenciando as estruturas penetrativas das descontinuidades propriamente ditas. Conforme apresentado anteriormente, as estruturas penetrativas e as descontinuidades são apresentadas em tabelas distintas (Tabelas 2 e 4, respectivamente).

Algumas vezes mais de um tipo de estrutura ocorre em um mesmo trecho e isto deverá ser mencionado, como, por exemplo, o caso de fraturas delimitando um veio (Figura 2). Toda a ocorrência de planos de falha e cisalhamento deve ser detalhadamente caracterizada, devido a sua importância na estabilidade do maciço rochoso e sua influência nos projetos de obras de engenharia, especialmente obras subterrâneas, barragens e taludes (Figura 3).

Figura 2 – Veio com fraturas no seu topo e base, ilustrando presença de uma estrutura penetrativa e de descontinuidades, na mesma feição. Fonte: Metrô-SP.

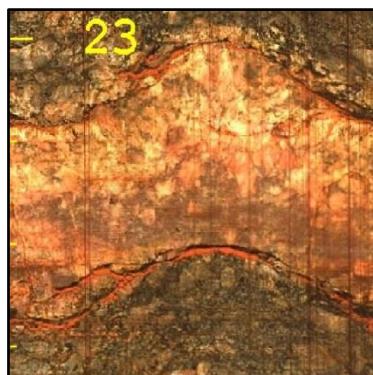
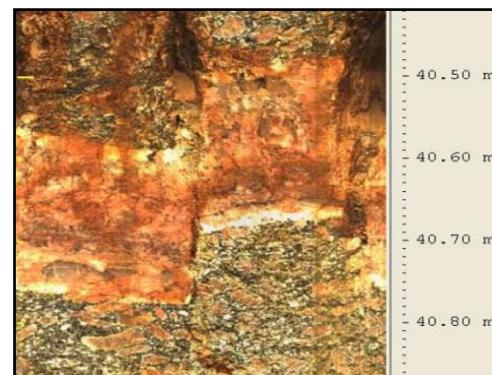


Figura 3 – Falha com componente normal e rejeito aparente aproximado de 12 cm. Fonte: Metrô-SP.



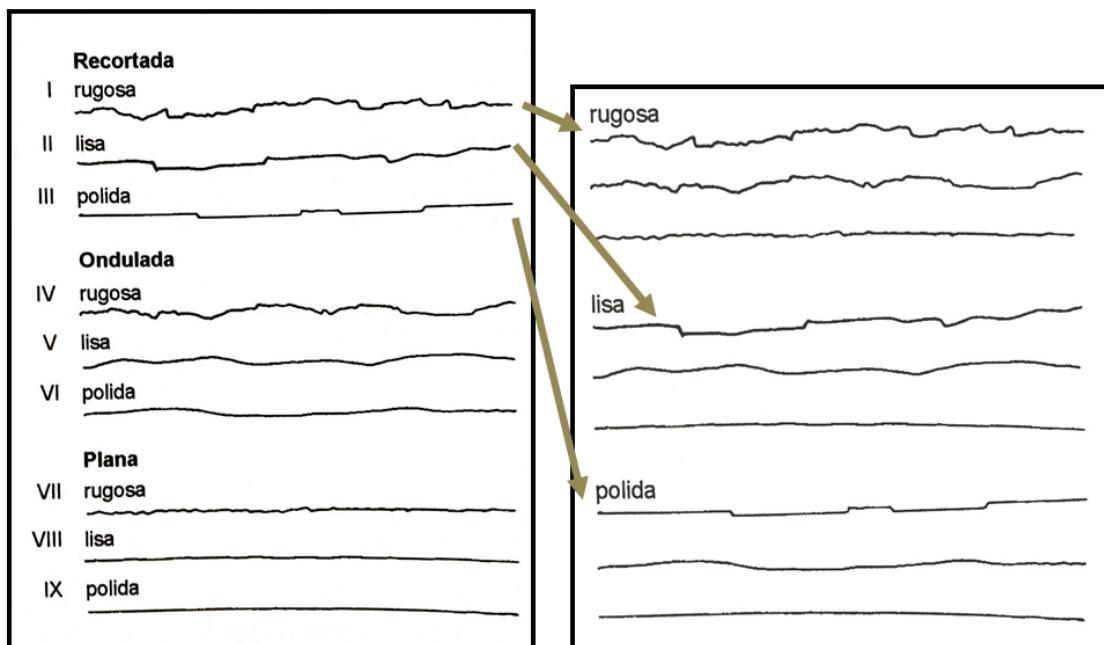
3.2.2 *Rugosidade*

A rugosidade de descontinuidades é um importante componente na resistência ao cisalhamento, especialmente no caso onde há contato parede-parede. De forma geral, a rugosidade é caracterizada em termos de irregularidades (também definida como a rugosidade em si) e ondulações. Na prática a ondulação afetará a direção inicial de deslizamento sobre um plano, enquanto que as rugosidades afetarão a resistência ao cisalhamento. A diferença principal está na escala de amostragem, conforme pode ser compreendido com maiores detalhes em ISRM (1978).

Um dos métodos de se avaliar a rugosidade em um plano, conforme sugerido por ISRM (1978) é a comparação do perfil de rugosidade usando uma linha reta como referência. No caso do televisamento considera-se como referência a linha traçada automaticamente quando selecionados os três pontos que definem o plano da descontinuidade no espaço. Na prática, ao serem marcados os traços de descontinuidades no testemunho virtual, quanto mais esta linha fica contida no traço da descontinuidade na imagem, menos rugosa esta seria e vice-versa.

Outra forma para se quantificar a rugosidade em imagens de televisamento, seria identificar o seu perfil geométrico, enquadrando-o entre as opções apresentadas na Figura 4, perfis de rugosidade de Barton *et al.* (1974) e Figura 5, adaptada da Figura 4. Nos casos de testemunhos, tanto virtuais como os reais, só é possível observar a rugosidade em uma escala de detalhe, diferente do que ocorre na descrição deste mesmo parâmetro em paredes rochosas (denominada também ondulação). A Figura 5 foi modificada separando os perfis de menor detalhe, inicialmente divididos em recortada, ondulada e plana, juntando com os de maior detalhe, sendo possível a caracterização das descontinuidades apenas em rugosa, lisa ou polida. O termo “polida” só deverá ser utilizado em casos quando houver uma evidência clara de deslocamento em cisalhamento, segundo o definido em ISRM (1978).

Figura 4 - Perfis de rugosidade de Barton *et al.* (1974) e **Figura 5** – Adaptação dos perfis de rugosidade para aplicação em imagens de televisamento.



3.2.3 Abertura

A distância entre as paredes de uma descontinuidade, medida no sentido ortogonal, corresponde à sua abertura. Quando as descontinuidades se encontram fechadas, com paredes sãs, as propriedades do maciço podem ser equiparadas às do material que o constitui. Se ocorrerem descontinuidades abertas, a sua influência será muito importante na resistência do maciço (Serra Junior & Ojima, 1998).

No caso do testemunho virtual, há a oportunidade de observar com detalhe a abertura da descontinuidade que, praticamente, se perde na operação de sondagem, quando da recuperação

dos testemunhos. Já há recomendações do uso de equipamentos de filmagem na definição deste parâmetro pela ISRM (1978).

Portanto, este parâmetro deverá ser incluído nas observações dos testemunhos virtuais e sempre que uma fratura não for selada, deverá ser indicada sua abertura. Para indicação da abertura de uma descontinuidade sugere-se a utilização da tabela de abertura fornecida nos métodos de descrição e caracterização de descontinuidades da ISRM (1978), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização da abertura de descontinuidades, traduzido de ISRM (1978).

ABERTURA	DESCRÍÇÃO	
<0.1 mm	Muito Apertado	Feições Fechadas
0.1 – 0.25 mm	Apertado	
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente Aberto	
0.5 – 2.5 mm	Aberto	Feições Semi-Abertas
2.5 - 10 mm	Moderadamente Largo	
>10 mm	Largo	
1 – 10 cm	Muito Largo	Feições Abertas
10 – 100 cm	Extremamente Largo	
> 1 m	Cavidade	

3.2.4 Preenchimento, Percolação D'água e Condições de Alterações das Paredes

A descrição das condições de alteração das paredes denota as mesmas limitações e subjetividade que a caracterização do grau de alteração da rocha. Entretanto, é possível inferir estados de alteração das paredes de descontinuidades, levando-se em consideração o brilho dos minerais ao longo das feições. As condições de alteração das paredes e a presença de preenchimento podem ser caracterizadas utilizando-se a Tabela 6, modificada de IPT (1984).

Notar que, muitas vezes, o preenchimento original pode ter sido removido pela lavagem durante a perfuração e o que observamos na imagem é uma abertura que se, inicialmente estava preenchida, restam, algumas vezes, apenas resquício do preenchimento então existente.

Também são observáveis evidências de percolação d'água, quando existentes, como paredes oxidadas e a própria surgência de água no interior do furo, fator muito importante para a estabilidade e qualidade geotécnica de um maciço, além dos aspectos hidrogeológicos.

Tabela 6 – Caracterização do preenchimento, modificado de IPT, 1984 (*apud* Serra Junior & Ojima, 1998).

SIGLA	CONDIÇÕES DE ALTERAÇÃO E PREENCHIMENTO DAS PAREDES DE DESCONTINUIDADES
D1	Contato rocha-rocha, paredes sãs, sem preenchimento, brilho intenso.
D2	Contato rocha-rocha, preenchimento de material pétrico rijo (calcita, quartzo, epidoto).
D3	Paredes com alteração incipiente, brilho mais fraco, sinais de percolação d'água, oxidadas, sem preenchimento.
D4	Paredes alteradas, brilho fraco, preenchimento ausente, fratura aberta.
D5	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento de fragmentos de rocha.
D6	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento de argila e/ou areia, detalhar.
D7	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento distinto ou não identificado, detalhar.

3.2.5 Grau de Fraturamento e Espaçamento

O grau de fraturamento de um maciço rochoso (IPT, 1984, *apud* Serra Junior & Ojima, 1998) visa caracterizar a distribuição de descontinuidades em testemunhos de sondagem. O fraturamento é expresso em graus de intensidade e explicita a quantidade de fraturas por metro, definido em trechos com fraturamento homogêneo (isofraturamento), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Grau de Fraturamento (IPT, 1984, *apud* Serra Junior & Ojima, 1998).

SIGLAS	FRATURAS/m	DENOMINAÇÕES DO MACIÇO
F1	< 1	ocasionalmente fraturado
F2	1 a 5	pouco fraturado
F3	6 a 10	medianamente fraturado
F4	11 a 20	muito fraturado
F5	> 20	extremamente fraturado

O mesmo parâmetro pode ser utilizado nos testemunhos virtuais, levando-se em consideração que um testemunho de sondagem poderá apresentar maior incidência de fraturamento devido a quebras mecânicas, dependendo das condições na perfuração e posterior descrição, podendo haver modificações significativas que dependem da experiência da equipe técnica envolvida no procedimento.

O grau de faturamento deverá ser indicado conforme ilustrado na Tabela 4, utilizando os parâmetros da Tabela 7. Deverão ser considerados os trechos em que o espaçamento das descontinuidades é homogêneo, assim como consideradas apenas as fraturas relevantes e que implicarão, muito provavelmente, na quebra do testemunho ao longo deste plano.

O espaçamento poderá ser diretamente calculado em função da distância entre cada fratura, sendo considerado em função do parâmetro λ , número de descontinuidades por metro, conforme citado em Priest & Hudson (1976).

4. TRATAMENTO ESTRUTURAL DOS DADOS

Juntamente com as imagens do testemunho virtual e as tabelas indicando os parâmetros de caracterização do maciço rochoso observados no televisamento, sugere-se ser apresentado o tratamento estrutural destes dados em estereograma de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior), diagrama de roseta e diagrama de concentração de pólos.

Para tais diagramas os dados deverão ser tratados separadamente com relação ao tipo de estrutura, ou seja, os diagramas de fraturas deverão ser, no total, três diagramas que serão distintos dos diagramas de foliação, fraturas, falhas, e assim por diante.

Para os diagramas de Schmidt-Lambert deverão ser lançados apenas os pólos dos planos para todos os casos, com exceção das falhas e zonas de cisalhamento, que deverão ser lançados também os planos.

Para todos os diagramas deverão ser apresentados os parâmetros considerados na elaboração destes, como número de dados, intervalos de concentração, dispersão dos dados, etc.

Nas Figuras 6, 7 e 8, seguem exemplos dos diagramas Schmidt-Lambert, Concentração de Pólos e Roseta, respectivamente, para dados obtidos em televisamento realizado em projeto do Metrô de São Paulo. Estas figuras foram geradas a partir do software livre OpenStereo (Grohmann & Campanha, 2010).

Figura 6 – Exemplo de pólos de fraturas de medidas no televisamento plotados em estereograma Schmidt-Lambert, hemisfério inferior.

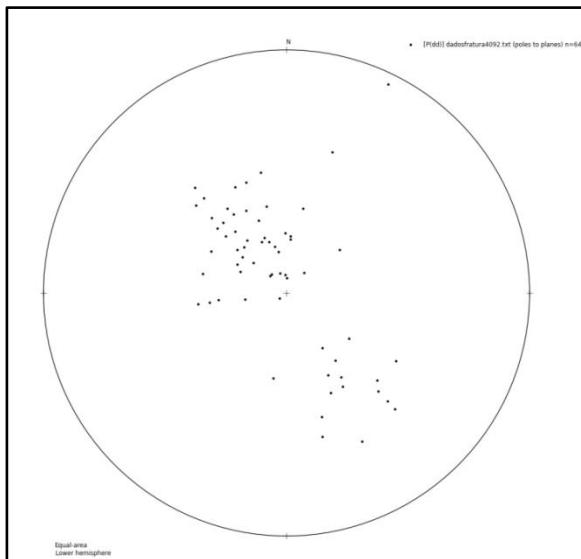


Figura 7 – Exemplo de Diagrama Schmidt-Lambert estatístico de concentração de pólos, hemisfério inferior.

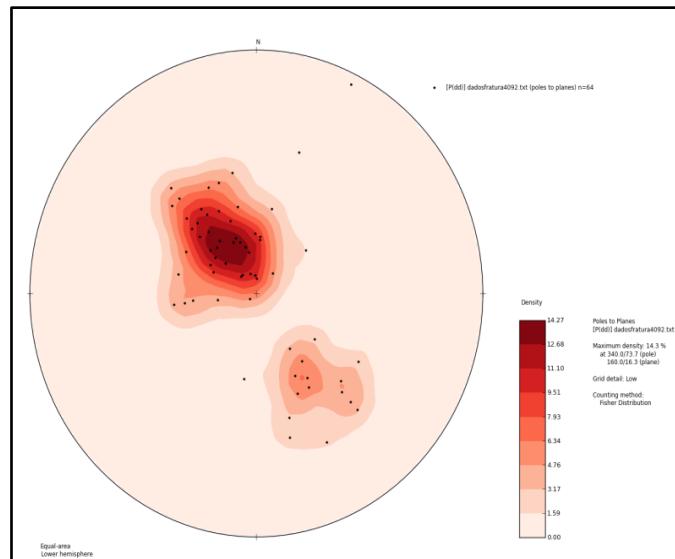
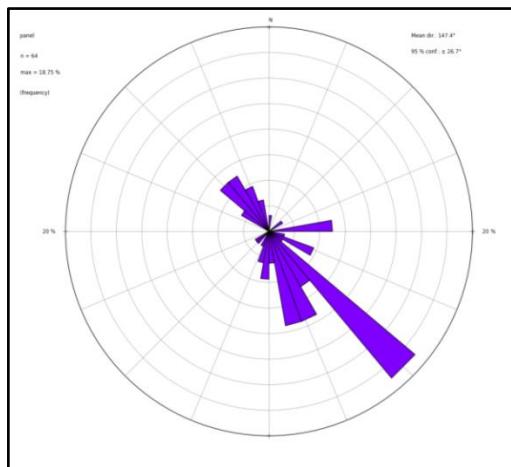


Figura 8 – Exemplo de diagrama estatístico de roseta, hemisfério inferior.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos usuários do software têm relatado deficiência do programa utilizado quando na demarcação de planos verticais (ortogonais à direção do furo televisado), muitas vezes não sendo possível delimitá-los com o método usual de seleção. Entretanto, é de suma importância que estas feições sejam devidamente levantadas e caracterizadas, devido à sua relevância na análise da estabilidade do maciço rochoso em uma obra subterrânea, como obras do metrô, por exemplo.

Portanto, mesmo que muitas vezes não seja possível traçar estas descontinuidades por meio do método usual, estas feições devem sempre fazer parte das descontinuidades levantadas, com atitude aproximada e demais parâmetros descritos, mesmo que sendo incluídas manualmente, indicando o trecho de influência destas feições verticais. Devem, também, estar indicadas em todas as tabelas a serem elaboradas. Estas estruturas podem ser delimitadas com a ferramenta SHAPE (ao utilizar software RGLDIP, da *Robertson Geologging*, por exemplo).

Foram feitas algumas considerações e propostas de diretrizes para a aplicação dos serviços de televisamento e interpretação de seus resultados buscando a caracterização e classificação de maciços rochosos a partir desta técnica, em ampla difusão no mercado, bem como a uniformização de seus escopos. Para tanto segue a necessidade de um período experimental, com a intenção de revisões ao longo do tempo, testando a aplicabilidade de tais sugestões, tendo

como base a realização de estudos de casos, preferencialmente em contextos geológicos distintos.

Sugere-se a comparação entre os parâmetros de caracterização e classificação obtidos em testemunhos virtuais com os obtidos diretamente em testemunhos de sondagem, e mesmo com a descrição de afloramentos, após a execução da obra, para que a metodologia aqui proposta possa ser verificada. Ressalta-se a intenção de incluir a determinação do RQD teórico obtido nos testemunhos virtuais, buscando correlação análoga ao já proposto por Priest & Hudson (1976) para medidas em *scanlines*, conforme já proposto anteriormente em Oliveira *et al.* (2012).

Vale lembrar que qualquer investigação geológico-geotécnica de um maciço rochoso sempre deverá levar em consideração as necessidades de cada projeto, assim como sua fase de estudo, fornecendo os subsídios para cada caso em particular. Todas as descrições realizadas em testemunhos virtuais podem, sempre que possível, ser enriquecidas por meio da comparação destes com seus testemunhos de sondagem.

Conforme citado em ISRM (1978), na medida em que as descrições de maciços rochosos e suas descontinuidades se tornem mais completas e unificadas, será viável projetar estruturas de engenharia em rocha reduzindo os gastos e aumentando a confiabilidade da interpretação e extração dos resultados.

Todos os parâmetros de caracterização de maciços rochosos sugeridos neste artigo, e apresentados como um modelo de padronização dos produtos obtidos a partir do televisamento das paredes de furos de sondagem, estão incluídos na especificação técnica do Metrô de São Paulo, sendo que tais serviços deverão seguir sumariamente a especificação técnica aqui citada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ) por apoiar e autorizar a publicação deste estudo, às empresas Alphageos Tecnologia Aplicada S.A. e Progeo Engenharia Ltda., e ao Geólogo Adalberto Aurélio Azevedo, do IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Referências bibliográficas

- BARTON, N., LIEN, R. & LUNDE, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech. and Rock Eng.*, v. 6, n. 4, p. 189-236.
- GROHMANN, C.H. & CAMPANHA, G.A.C., 2010. OpenStereo: open source, cross-platform software for structural geology analysis. Presented at the AGU 2010 Fall Meeting, American Geophysical Union (AGU), San Francisco, CA.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, vol. 15, n. 6, p. 319-368.
- OLIVEIRA, D.G.G., MONTEIRO, M.D., MASSONI, F., ROCHA, H.C. Televisamento de furos de sondagens nos estudos do Metrô de São Paulo - proposta metodológica para execução e análise. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, vol. 2, n.1, 2012, p.95-114.
- PRIEST, S.D. & HUDSON, J.A., 1976. Discontinuity spacings in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, v.13, n. 5, p. 135-148.
- SERRA JUNIOR, E. & OJIMA, L. M., 1998. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A.. *Geologia de Engenharia*, p. 211-226.
- VAZ, L. F., GURGUEIRA, M.D. & MUZZI, T.O., 2011. Geologia aplicada a baragens: uma revisão de procedimentos. *RBGEA – Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, São Paulo, v. 1, p. 73-92.