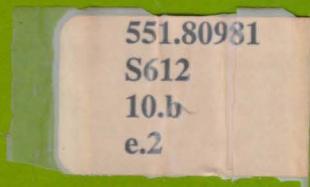




BOLETIM DE RESUMOS EXPANDIDOS
X SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS
IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS



CURITIBA-PR

19 A 24/06/2005

ANÁLISE ESTRUTURAL DE JUNTAS EM PROJETO DE TÚNEIS EM ÁREAS DOBRADAS: PRÉ ANDES BOLIVIANOS

Georg Robert Sadowski

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, sadowski@usp.br

INTRODUÇÃO

O presente trabalho, realizado nos pré - Andes bolivianos, é um exemplo da aplicação da análise estrutural de sistema de juntas em área dobrada no nível estrutural superior, no apoio à construção de túneis em NATM. Também salienta a diferença entre o previsto e o encontrado conforme mapeamentos efetuados antes e depois da construção. As análises foram desenvolvidas ao longo de três projetos de túnel executados ao longo da Carretera Número 1, no Sul da Bolívia. Ali, a topografia íngreme aliada a condições geológicas adversas em superfície obrigou construção de túneis.

Na escavação subterrânea o sistema de juntas foi uma das condicionantes geológicas mais importantes de estabilidade além da presença de camadas grafíticas com sulfetos e de tensões tectônicas que resultaram em *rock-bursts*.

GEOLOGIA REGIONAL

A região tem sido foco de intensos estudos geológicos em face do seu potencial em hidrocarbonetos. Situa-se no âmbito dos Pré Andes (Fig. 1 e 2) com rochas sedimentares de idade Paleozóica à Terciária, cavalgamentos e dobramentos normais a localmente inversos com eixos de direção geral NNE são comuns, com vergência dominante para leste. Em alguns casos há falhas ativas que podem ser tanto inversas como normais e correspondem aos esforços provenientes do empuxo do soerguimento andino e a geração concomitante da bacia de antepaís situada imediatamente à leste.

Sedimentos aluvionares grosseiros e mal selecionados, de caráter continental, terciários a quaternários, são observados em bacias de embutimento tectônico ou então em terraços suspensos situados até cerca de cem metros acima das drenagens atuais. Cones de dejeção, depósitos de tálus e coluvões são comuns.

GEOLOGIA LOCAL

Os Túneis denominados 1 e 2 atravessaram camadas empinadas, de origem marinha, tipo *flisch*, com idade Siluro- Devoniana (ca. de 410 a 440 Ma) pertencentes às Formações Tarabuco e Santa Rosa, enquanto o Túnel 4 (o número 3 não foi construído) atingiu camadas de arenitos vermelhos continentais de idade Carbonífera da formação Taguaiti-Escarpamento.

Os dois primeiros encontram-se no flanco em-

pinado de um anticlinal de plano axial subvertical de direção NNE com leve inclinação para leste. Apresentam estratificação plano paralela. Os túneis foram escavados em arenitos cinza claros, de granulação variada, geralmente fina a média, freqüentemente gradual, contendo leitos extensos intercalados de lutitas (ardósias a folhelhos) negras, algumas das quais com concentração expressiva de grafita. Na graduação de arenitos até pelitos típicas das camadas turbidíticas em questão, as lutitas (pelitos) atingem geralmente espessuras de poucos decímetros e, localmente, por vezes, de alguns metros. Os arenitos propriamente ditos são grauvacóides e formam tanto leitos maciços como bancos placoides de espessuras decimétricas. O acamamento cuja direção varia entre NS e N20E encontra-se empinado de até cerca de 80° mergulhando em média para o rumo E-SE.

O túnel 4 corta arenitos quartzo feldspáticos Taguaiti que são avermelhados, de granulação variada e com lentes paraconglomeráticas esparsas.

JUNTAS

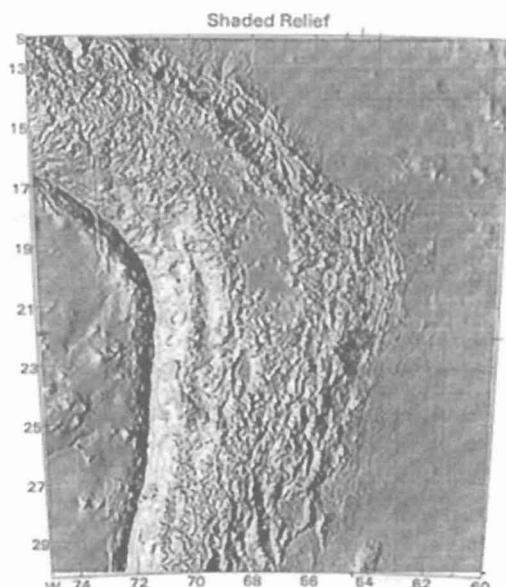
Em anexo constam exemplos dos stereogramas (Fig. 3 e 4) representativos do sistema de descontinuidades mapeados durante a fase de projeto ao longo dos afloramentos em taludes de corte da estrada lateral ao futuro túnel, bem como, posteriormente, no interior dos túneis durante a sua execução. As famílias mais freqüentes são as longitudinais e transversais ao eixo de dobramento. As longitudinais mais freqüentes são as de acamamento, localmente com espaçamentos menores (cerca de > 4 fraturas/m), algumas com indícios de terem sido retomadas pelos sucessivos esforços tectônicos que atuaram na região e por vezes associadas à falhas. No geral apresentam espaçamentos variáveis dominando valores entre 0,8 e 1,2 m. A estimativa de JRC variou de 4 a 6. A orientação subtransversal às mesmas do eixo do túnel atenuou o efeito negativo deste parâmetro na estabilidade. Foi observada a presença de argilizações das lutitas bem como domínio de grafite, diminuindo assim, localmente, os parâmetros de resistência ao longo das camadas.

O conjunto de diaclases com direções subtransversais aos eixos de dobramento regional poderia ser interpretado como associado a uma única família com oscilações de mergulho ao redor da vertical ou então como superposição de dois tipos. Um dos sub-conjuntos apresentou rumos de mergulho caindo de 70 a 80° para 008 a 025 enquanto o outro, com polo coincidente com o eixo de dobramento, realmente per-

pendicular ao eixo, apresenta mergulho simétrico, para SSW. O primeiro constitue uma das famílias dominantes mais extensas, apresenta feições locais diversas das esperadas para juntas transversais, podendo eventualmente ter participação de extensas juntas de cisalhamento lateral - direitas conforme se nota no diagrama teórico de distribuição de juntas x dobramento. As juntas ocorrem em feixes, dificilmente identificáveis na fase de projeto nos cortes de rodovia por estarem subparalelas aos cortes porém claramente notadas face ao papel condicionante durante a escavação dos túneis. São decamétricas e aliviadas tendendo a serem mais abertas por terem componentes de tração.

Outras três famílias de juntas de baixo a médio ângulo de mergulho e de menor freqüência e extensão (geralmente até poucos metros), por vezes onduladas, ocorrem no local. São juntas de cisalhamento, algumas abertas por efeitos de alívio erosivo. Duas são sublongitudinais quase simétricas e de baixo mergulho e uma, obliqua a subtransversal. Destas domina a família de juntas subtransversais a obliquas de baixo ângulo de mergulho para SW, possue rugosidade variável, algumas são lisas (JRC 2 a 4) e estriadas. Sua presença não se encaixa no padrão trivial esperado podendo uma das explicações de gênese ser relacionada a um efeito de encurtamento paralelo ao eixo de dobra com ocorrência junto a periclinais.

No Túnel 4 as camadas vermelhas de arenitos Taguaiti-Escarpment mostraram-se mais homogêneas. Observou-se a presença de estratos de arenitos mais finos entremeados com mais grossos e alguns bancos de paraconglomerados. As camadas também se apresentaram empinadas com forte mergulho para Leste. O sistema de juntas ilustrado nos stereogramas anexo obedeceu às mesmas leis de disposição como nos túneis anteriores, são no entanto mais espaçadas, notabilizando-se a extensão das juntas longitudinais ao eixo de dobramento.



OUTROS ASPECTOS NOTADOS COM A EXECUÇÃO DA OBRA

Nos estratos siluro-devonianos dos túneis 1 e 2 foram encontradas concentrações de sulfetos de ferro às camadas de lutita e também foram identificados indícios de reação química com sulfetos com presença de gases de enxofre e lençóis empoleirados com água extremamente ácida.

O valor de RQD estimado durante o projeto nos perfis de sondagens foi inicialmente subestimado em certos trechos, por conta de efeitos secundários associados à mecânica local de perfuração e recuperação dos testemunhos.

Uma primeira compartimentação geomecânica constou dos perfis geológicos de projeto e foi checada durante a construção.

A metodologia construtiva nos túneis 1, 2 e 4 foi o conhecido método "drill & blast".

As escavações transcorreram de forma normal, ocorrendo somente 2 fatos marcantes:

No túnel 2, na região de grande cobertura, ocorreu o fenômeno de "rock burst", relativamente leve, mas com desplacamento de concreto projetado. A situação foi controlada com acréscimos de tirantes e aumento da espessura de concreto projetado;

No túnel 1, em um trecho no qual este se desenvolveu sub-paralelo a uma falha, por ocasião das escavações do sistema de drenagem, ocorreram deslocamentos de até 26 cm para o interior da seção.

A comparação entre os sistemas de juntas previstos e encontrados mostrou boas semelhanças, obedecendo os padrões clássicos esperados e resultando em padrões de blocos bem previsíveis (Fig. 5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

YPFB & GEOBOL. 1978. Mapa Geológico da Bolívia 1:1.000.000 . 4 folhas.



fig. 1 e 2
Localidade e Geologia Regional

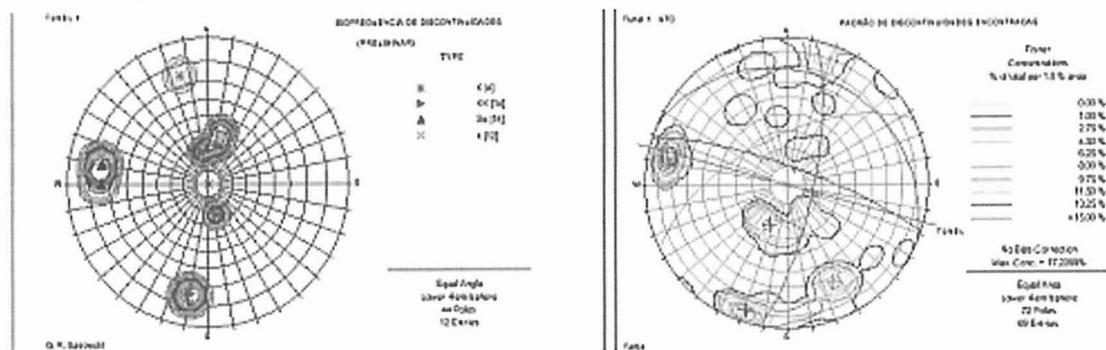


Fig. 3. Padrão de juntas esperado e o encontrado no Túnel 1.

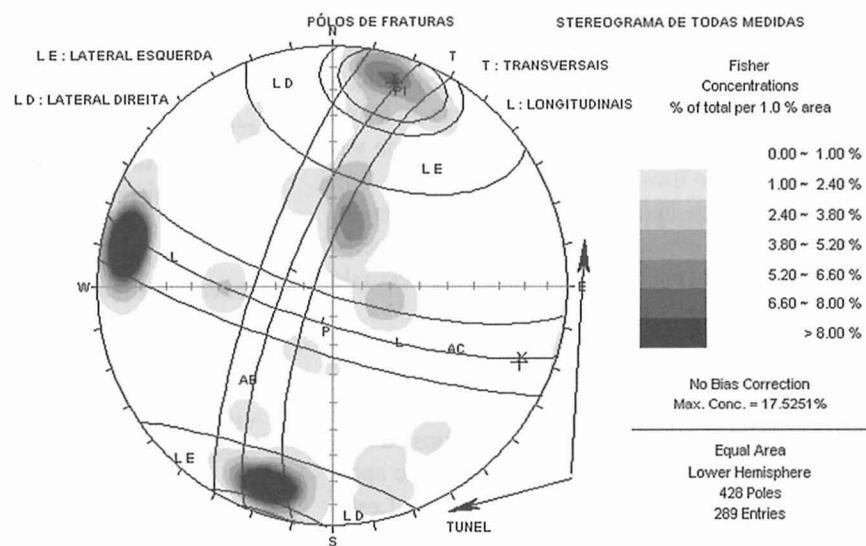


Fig. 4. Zoneamento das famílias de juntas em relação ao dobramento

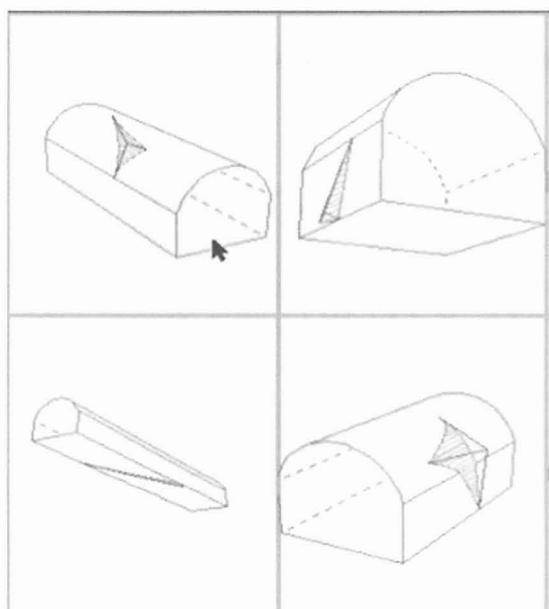


Fig. 5. Blocos instáveis esperados segundo os padrões de junta encontrados