

MAPAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

1. MAPAS GEOLÓGICOS

Os *mapas geológicos* possuem uma tradição e, por isso, uma técnica consensual no mundo inteiro. Representam, normalmente, as formações e estruturas geológicas. No lugar de formações representam às vezes, membros ou grupos (unidades litoestratigráfica) ou até unidades Cronoestratigráficas em mapas de pequena escala. Constituem a melhor maneira de representar a distribuição espacial das rochas na crosta terrestre, especialmente quando associados às sessões geológicas.

As *sessões geológicas* representam um corte teórico na crosta terrestre, num plano vertical, representando a distribuição das rochas neste plano.

O mapa geológico é sempre acompanhado por uma coluna estatigráfica que apresenta ordenadamente, por idade, as formações geológicas, da mais nova à mais antiga, de cima para baixo.

O mapa geológico representa a distribuição das formações seccionadas pela superfície topográfica. Na sua interpretação, no entanto, deve-se considerar que eles não apresentam o estado de alteração das rochas constituintes das formações nem tampouco a existência ou não de solos sobre elas. Alguns mapas de maior detalhe apresentam as chamadas formações superficiais que são normalmente depósitos detríticos, em encostas ou vales, sem denominação formal.

A necessidade de representação da crosta de alterações e solos, bem como a de outros detalhes, induziu à elaboração dos mapas geotécnicos.

2. UNIDADES ESTATIGRÁFICAS

Com base no Código de Nomenclatura Estratigráfica (1968), as definições das unidades são as seguintes.

Unidade Litoestratigráfica

Unidade litoestratigráfica é uma subdivisão das rochas da crosta terrestre, distinguida e delimitada com base em caracteres litológicos.

Formação é uma unidade litoestratigráfica mapeável. Pode ser um tipo de rocha ou um conjunto de rochas com algumas semelhanças entre si, podendo ser facilmente identificada e representada em um mapa na escala 1:25000. Formação é uma unidade formal, isto é, formalmente proposta em artigo científico, para ser

adotada como unidade de mapeamento. Normalmente, leva o nome do local onde foi descrita. Ex.:

Formação Santa Maria: Formação Botucatu.

Grupo é um conjunto de formações com alguma semelhança entre si.

Membro é uma subdivisão de formação.

Camada é a menor unidade de descrição reconhecível no campo.

Unidade Bioestratigráfica

Unidade Bioestratigráfica é um pacote de camadas caracterizado pelos fósseis nele contidos e contemporâneos a sua acumulação.

Zona é a unidade fundamental do mapeamento Bioestratigráfica.

Unidade Cronoestratigráfica

Unidade Cronoestratigráfica é uma subdivisão das rochas considerada como registro de um intervalo específico de tempo geológico.

Sistema é a unidade fundamental Cronoestratigráfica. *Série* é uma subdivisão do sistema.

Andar é uma subdivisão de série.

Unidade Geocronológica

Unidade geocronológica é uma divisão do tempo, distinguida com base no registro litológico, sobretudo expresso pelas unidades cronoeestratigráficas.

Período é a unidade fundamental geocronológica.

Época é uma subdivisão de período.

Idade é uma subdivisão de época.

As correspondências ficam assim:

Cronoestratigráficas

Sistema

Série

Andar

Geocronológicas

Período

Época

Idade

Escala do Tempo Geológico

É importante conhecer o período de formação de uma rocha ou unidade e, no caso de formações quaternárias, também sua época. A tabela 1 mostra as eras, períodos e épocas quaternárias.

Tabela 1 – Escala do tempo geológico

Era	Período	Época	Início do período ou época (em milhões de anos)
Cenozóico	Quaternário	Recente	0,02
	Terciário	Pleistoceno	2
			70
Mesozóico	Cretáceo		135
	Jurássico		180
	Triássico		220
Paleozóico	Permiano		270
	Carbonífero		350
	Devoniano		400
	Siluriano		430
	Ordoviciano		490
	Cambriano		550
Pré-cambriano			3500

Provável idade da Terra: 4500 milhões de anos

3. MAPAS GEOTÉCNICOS

Finalidades dos Mapas Geotécnicos

Segundo Coelho (1980), as primeiras tentativas de realizar uma representação cartográfica das condições geotécnicas parecem ter surgido em 1913, na exposição técnica de Leipzig. Gwinner, em 1954 e 1956, realiza a primeira tentativa de integrar os dados relativos às propriedades físicas e ao comportamento mecânico dos solos num contexto geológico. O maior desenvolvimento do mapeamento geotécnico se deu nos países da Europa Oriental, a partir da década de 50.

O conhecimento do meio físico é de suma importância para a melhor utilização e ocupação do solo, principalmente em áreas urbanas, onde o crescimento acelerado das cidades exige a ocupação rápida de novas áreas, nem sempre as mais adequadas.

Os estudos geológicos e geotécnicos constituem ótimos instrumentos de análise do meio físico. A apresentação dos resultados desses estudos sob a forma cartográfica é ainda a melhor maneira de representação das informações e

sugestões, pois facilitam o seu entendimento e uso (PEJON E RODRIGUES, 1987).

O mapeamento geotécnico tem sido usado nos mais diferentes países, como uma ferramenta que ajuda a definir e fiscalizar a ocupação territorial das regiões, de uma maneira ajustada tecnicamente e respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute-as sem alterar as suas condições básicas de vida (ZUQUETTE E GANDOLFI, 1987-b).

A lei 6.766, de 19/12/1979, em seu artigo 3º, disciplinou o parcelamento do solo urbano, explicitando, entre outras coisas:

Parágrafo único. Não será permitido o parcelamento do solo:
III – em terrenos de declividade igual ou superior a 30% salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes;
IV – em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

Os mapas geotécnicos são adequados para o planejamento da ocupação urbana, em planos diretores ou loteamentos, e mesmo da ocupação rural. Usam-se nestes casos escalas 1:25.000 a 1:100.000. Não dispensam, entretanto, a investigação própria para cada obra que for construída nessas áreas mapeadas.

Obras que ocupam ou influenciam grandes áreas como estradas, barragens, centrais nucleares, também tem um subsídio importante nos mapas geotécnicos em escalas médias 1:100.000 a 1:25.000. A investigação geológica, para tais obras, levará a mapas de maior escala 1:5.000 a 1:500.

Definição

Mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância par ao planejamento do solo e para projetos, construções e manutenções, quando aplicados á engenharia civil e de minas (UNESCO, 1976). Na prática, existem muitas maneiras de apresentar um mapa geotécnico.

Unidades de Mapeamento

Os princípios de classificação de rochas e solos para mapeamento geotécnico, conforme a UNESCO (1976) são os seguintes: tipo geotécnico, tipo litológico, complexo litológico e seqüência litológica.

O *tipo geotécnico* (ET, *engineering geological type*) tem o mais alto grau de homogeneidade física. Ele der uniforme nos caracteres litológicos e no estado físico. Estas unidades podem ser caracterizadas pelos valores determinados estatisticamente e derivados das determinações individuais das propriedades físicas e mecânicas e são, geralmente, mostrados nos mapas de grande escala (1:10.000 ou maiores).

O *tipo litológico* (LT, *lithological type*) é homogêneo na composição, textura e estrutura, mas usualmente não é uniforme no estado físico. Valores confiáveis da média das propriedades mecânicas não podem ser dados para a unidade inteira; geralmente só uma idéia geral das propriedades de engenharia, como uma faixa de valores, pode ser apresentada. Estas unidades são usadas em mapas de grande escala e, onde for possível, em mapas de média escala.

O *complexo litológico* (LC, *lithological complex*) compreende um conjunto de tipos litológicos relacionados e desenvolvidos sob específicas condições paleogeográficas e geotectônicas. Dentro de um complexo litológico, o arranjo espacial dos tipos litológicos é uniforme e distintivo para aquele complexo, mas o complexo litológico não é, necessariamente, uniforme no caráter litológico ou estado físico. Em consequência, não é possível definir as propriedades físicas e mecânicas de todo complexo litológico, mas somente dos dados dos tipos litológicos individuais que compõem o complexo e indicar o comportamento geral do complexo litológico como um todo. O complexo litológico é usado como unidade de mapeamento em mapas de média escala (1:10.000 a 1:100.000) e em alguns de pequena escala.

A *seqüência litológica* (LS, *lithological suite*) compreende muitos complexos litológicos e se desenvolve sob condições geralmente similares, paleogeográficas e tectônicas. Estas unidades somente são usadas em mapas de pequena escala (menores que 1:100.000).

Correspondências aproximadas: Tipo geotécnico – camada; Tipo litológico – membro; Complexo litológico – formação; Seqüências litológicas – grupo.

4. TIPOS DE CARTAS GEOTÉCNICAS OU DE INTERESSE GEOTÉCNICO

Cartas de Fatores e Cartas de Aptidões

As cartas geológico-geotécnicas são classificadas quanto ao conteúdo e forma, segundo Sanejouand (1972), em cartas de fatores (ou analíticas) e cartas de aptidão (ou sintéticas). Caracterizam-se, as primeiras, pela representação de um ou

mais fatores significativos de um determinado tipo de estudo. As cartas sintéticas representam a síntese, em termos de utilização, de diversos fatores. Podem ser agrupadas sob a designação de “Cartas de Aptidão”.

Numa fase analítica, segundo Coelho (1980), usam-se a carta litológica (geológica ou de unidades geotécnicas), a carta de declives (geomorfológica) e a carta hidrogeológica. Numa fase de síntese, elaboram-se as cartas de zoneamento geotécnico e as cartas de aptidão. Segundo a concepção dos autores franceses, as cartas de zoneamento geotécnico (*carte de zonage géotechnique, general purpose engineering geological map*) caracterizam-se por serem independentes das utilizações possíveis. Quer dizer, devem ser neutras e suficientemente gerais para, em relação a qualquer problema concreto, poderem evidenciar tanto os elementos favoráveis como os desfavoráveis. As cartas de aptidão (*carte de aptitude, special purpose engineering geological map*) são cartas de síntese redigidas em termos de utilização. A carta de aptidão a fundações é um exemplo.

Um tipo de carta de unidades geotécnicas é apresentado por Ghiste *et al.* (1982) na carta geotécnica de Charleroi, Bélgica. As unidades geotécnicas são definidas a partir da sucessão das formações encontradas. Nas subunidades entram as espessuras. Estas são divididas em menores ou maiores de 4 metros. Praticamente, há combinação de formações superficiais com o substrato rochoso.

O produto final da cartografia geológico-geotécnica pode ser um conjunto de vários mapas de fatores e aptidões, associados a uma *carta de documentação*, onde se acham lançados todos os dados utilizados no trabalho ou mesmo aqueles passíveis de utilização futura. Essa carta reflete o grau de conhecimento geológico e geotécnico sobre a área em questão e sua importância é primordial em estudos de planejamento territorial e urbano.

Cartas de Recomendações de Uso do Solo

Os primeiros trabalhos brasileiros (COULON, 1975; MACIEL FILHO, 1977) são mais interpretações da geologia quanto a propriedades geotécnicas ou problemas relacionados.

Acompanhando o documento final, a carta de Recomendação de Uso do Solo apresenta a melhor utilização do meio frente ao panorama geológico geral da área em estudo (SEIGNEMARTIN E FÚLFARO, 1981).

Laird *et al.* (1979) apresentam uma análise quantitativa da capacidade de uso do solo. O método descrito para estabelecer a capacidade do solo engloba cinco passos gerais. O primeiro passo envolve a coleta de informações de ciências da terra e preparação de mapas bases. No segundo passo, mapas interpretativos são desenvolvidos para cada problema, seja diretamente a partir de cada mapa-

base apropriado ou por combinação de mapas. Os mapas interpretativos podem, então, ser usados para identificar problemas específicos.

No terceiro passo, os custos sociais (em dólares) são calculados para cada tipo de desenvolvimento e cada condição geológica. “Custo social”, como usado aqui, significa a soma de todos os custos atribuídos ao problema, sem olhar quem paga. Existem três tipos básicos de custos primeiro, estudo, *engineering*, projeto e custo de mitigação que usualmente ocorrem antes ou imediatamente após a construção de um projeto; segundo, desastres e custos dos danos os quais devem ser pagos (usualmente em algum tempo futuro) quando ocorre o dano; terceiro, custos de oportunidade que são os rendimentos ou benefícios que teriam resultado de um tipo de uso da terra e forma renunciados por ter-se preferido utiliza-la para outra finalidade.

Os custos que ocorrem em tempos diferentes tornam-se comensuráveis pelo cálculo do valor presente do custo futuro, usando um juro, taxa de desconto. Custos que podem ocorrer em algum tempo futuro desconhecido são calculados pela avaliação da média ou valor esperado.

No quarto passo, todos os custos esperados para todas as condições e para cada uso da terra são totalizados. Este total é utilizado como um indicador da capacidade de uso da terra para acomodar cada uso. Então, quando as somas desses custos são distribuídas sobre um mapa, o resultado é um mapa de capacidade para cada uso da terra. Este é o quinto passo no procedimento, e a avaliação da capacidade pode agora ser empregada nos processos de planejamento e tomada de decisões.

Em Cabral (1983) e Pedroto e Barroso (1984) foram considerados elementos básicos os afloramentos rochosos, a natureza e propriedades dos solos, a água subterrânea e os processos geodinâmicos, incluindo a carta de declividades. O mapa para planejamento do uso do solo separa as áreas em adequadas, adequadas com restrições e inadequadas (inundadas, com declividades superiores a 30%, se solos instáveis e de afloramentos rochosos).

Carvalho (1987) apresenta a carta geotécnica de Ouro Preto. A área possui intensa influência humana devido à mineração e urbanização, o que a distingue de certo modo de outros locais. O problema geotécnico enfocado é, basicamente, o de estabilidade das encostas. A carta de risco permite a divisão em áreas com as seguintes classes e recomendações: I – adotar procedimento rotineiro para construção de tipo e porte similares aos das construções vizinhas; II – consultar especialista; III – não construir.

Maciel Filho (1990), no mapeamento geotécnico de Santa Maria, apresenta duas cartas em escala 1:25.000: uma, das unidades geotécnicas e do comportamento hidrogeológico; outra, dos condicionantes à ocupação. Esta divide

as áreas em: sem restrições, de proteção, desfavoráveis, não adequadas, que exigem recuperação. A caracterização de cada unidade é descrita no texto.

Cartas para Loteamentos

A exigência de laudo geotécnico possibilitou, ao IPT, uma experiência nesta área que ora é traduzida no mapeamento geotécnico.

Em Fernandez *et al.* (1987) e Avilla *et al.* (1987, a;b), alguns aspectos metodológicos começam a se firmar como consenso. Um deles é a divisão em unidades homogêneas a partir de critérios geomorfológicos e de declividade. A subdivisão destas estaria baseada na litologia. Entram em consideração, além de aspectos de caráter geotécnico, os fenômenos de dinâmica superficial, dados estes obtidos basicamente em observações de campo. Na caracterização do solo, há a participação da pedologia. Um guia fornece também diretrizes para concepção de projetos de parcelamento.

Em Avilla *et al.* (1987 a;b), há cadastramento dos problemas geotécnicos. Como característica de mapeamento em área urbanizada é introduzida a classificação de estágio de urbanização baseado no grau de adensamento, presença de infra-estrutura e equipamentos urbanos e estágio de consolidação urbana. Outra contribuição importante são as recomendações diferenciadas para áreas urbanizadas, em urbanização remota, de tratamento especial. O mapeamento está em escala 1:25.000 e 1:10.000.

Cartas de Risco

Um tipo de carta que tem interesse geotécnico são as cartas de risco. Uma delas é a carta de risco sísmico. Estas cartas localizam não apenas epicentros e as intensidades ali registradas, mas também as constituições da crosta mais favoráveis à intensificação das ondas sísmicas mais destrutivas. Por exemplo, o terremoto de Lisboa de 1755 destruiu o centro da cidade situado sobre formações sedimentares, enquanto bairros situados sobre terrenos cristalinos foram menos abalados.

Haberlehner (1978) fez importante levantamento histórico dos terremotos ocorridos no Brasil e regiões correlacionadas, locando seus epicentros e intensidades.

Mioto (1983) apresentou o mapa de risco sísmico do sudeste brasileiro. Embora a intensidade dos terremotos brasileiros não seja grande, começa-se a acumular alguma experiência em risco sísmico, em simpósios e mesas redondas (ADAMS, 1979; GAMA, 1980).

Há zoneamento de risco de colapso em terrenos cársticos (PRANDINI *et al.*, 1990), de risco de inundação (CABRAL E HURTADO, 1990), de risco de movimentos de massa e erosão (CARVALHO, 1990) e outros semelhantes.

Carta de Jazidas de Materiais de Construção

O mapa geotécnico e de riscos da cidade de Cadiz (Ministério da Indústria e Energia, 1986) tem um item especial sobre jazidas e explorações de materiais utilizados em construção. Os autores consideram que este mapa satisfaz as necessidades do projeto de viabilidade. Ao contrário de Coelho (1980), emitem considerações sobre as condições de fundação, com valores quantificados.

Carta para Disposição dos Rejeitos Sólidos e Líquidos

Dentre as diversas aplicações do mapeamento geotécnico, uma das mais importantes, e ainda pouco usadas no país, refere-se à análise dos terrenos quanto à disposição dos rejeitos sépticos de baixa periculosidade, tanto domésticos quanto industriais (ZUQUETTE E GANDOLFI, 1987a).

Carta de Fundações

Outro tipo de mapa geotécnico refere-se ao detalhamento das fundações ou áreas de influência de alguma obra. Tressoldi e Sathler (1981) destacam a importância de execução de mapeamentos geológico geotécnicos de fundações, desde o início das escavações até a etapa de preparo das fundações para concretagem, e apresentam os procedimentos adotados para o levantamento dos dados geológico-geotécnicos que forneceram subsídios para os modelos geomecânicos das estruturas de concreto da Usina de Tucuruí. Macial Filho e Gasparetto (1987) mostram mapeamento de detalhe, escala 1:500, com a finalidade de projeto de vertedouro de barragem, onde constam como unidades de mapeamento: rocha praticamente sã (riólito), rocha alterada, saprólito, solo horizonte B, horizonte A, “bota-fora”.

Cartas para Geologia Ambiental

Zuquette e Gandolfi (1984) fizeram uma classificação do meio físico, principalmente em termos de geologia e materiais de cobertura, e uma análise da ocupação da região sudeste do Estado do Mato Grosso com os problemas decorrentes. Situa-se este trabalho, mais no campo da geologia ambiental.

Cartas de Problemas Específicos

Barroso *et al.* (1987), em “Problemas de mapeamento geológico-geotécnico em encosta com favela de alta densidade populacional”, apresentam uma importante contribuição metodológica em função as condições de trabalho que impossibilitavam a aplicação das técnicas usuais. O rigor técnico-científico é mantido, aplicando-se novos métodos, como por exemplo, utilização de planta cadastral, e tomando-se como unidades de mapeamento, materiais normalmente não considerados como tais, como, por exemplo, depósitos de lixo ou entulho. O mapeamento é de detalhe, 1:500, e o estabelecimento das unidades obedece ao critério de divisão em função da natureza dos materiais. As recomendações prendem-se a obras simples e podem, com as devidas adaptações, ser aplicadas a outras áreas.

EXERCÍCIOS

1. Defina unidade litoestratigráfica, bioestratigráfica, cronoestratigráfica e geocronológica. Quais as unidades fundamentais e suas subdivisões? Quais os requisitos necessários para se ter uma formação?
2. O que um Mapa Geológico representa? O que representam uma sessão geológica e uma coluna estratigráfica?
3. Porque é usada a escala do tempo geológico ao invés de datação em milhões de anos?
4. Qual é a definição de mapa geotécnico? Como deve ser usado? Cite as unidades de mapeamento geotécnico.
5. Cite os tipos de cartas geotécnicas ou de interesse geotécnico.
6. Defina carta de fundações.

Texto retirado do Livro: MACIEL FILHO, C.L. **Introdução à Geologia de Engenharia**. Santa Maria: Editora da UFSM/ Brasília: CPRM, 1994.