

# CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇO ROCHOSO E TERROSO UTILIZANDO DADOS DE SONDAJENS ROTATIVAS DO PROJETO FERRO MATAPÍ – PORTO GRANDE/AP

Jefferson Mota de Carvalho<sup>1</sup>  
Jeremy Carlos Freitas<sup>2</sup>

## RESUMO

O estado do Amapá ao longo dos anos demonstrou possuir vocação natural para a atividade de extração mineral. A atividade de mineração apresenta vários desafios à engenharia e alguns fatores merecem atenção especial, dentre eles a estabilidade dos taludes que estão diretamente interligados ao avanço da lavra a céu aberto e em profundidade. O presente trabalho utilizou resultados de sondagens rotativas realizadas durante uma campanha de investigação geológico-geotécnica realizada por empresa contratada pela Porto Grande Mineração Ltda, empresa que realiza pesquisa e exploração mineral na região da colônia agrícola do Matapí, situada no município de Porto Grande, estado do Amapá. O objetivo foi subsidiar, ainda que de forma preliminar, os procedimentos operacionais para abertura da mina, para isso foi realizada a caracterização dos maciços rochoso e terroso, em seguida a sua classificação. Os resultados obtidos na caracterização e classificação dos solos mostram a predominância de solos silto argilosos de alta compressibilidade; já os resultados obtidos na caracterização e classificação dos maciços rochosos permitiu classificar a qualidade do maciço rochoso como razoável. Dessa forma, foi possível avaliar as possíveis dificuldades para a realização do projeto, bem como especificações técnicas para superar os desafios impostos pelos aspectos geológico-geotécnicos da área.

Palavras-chave: Sondagens Rotativas, Classificação de Maciços Rochosos, Classificação de Maciços Terrosos, Projeto Ferro Matapí.

## ABSTRACT

El estado de Amapá a lo largo de los años ha demostrado tener una vocación natural para la actividad de extracción de minerales. La actividad minera presenta varios desafíos de ingeniería y algunos factores merecen especial atención, entre ellos la estabilidad de los taludes que están directamente vinculados al avance de la minería a cielo abierto y en profundidad. El presente trabajo utilizó resultados de perforación rotatoria realizada durante una campaña de investigación geológico-geotécnica realizada por una empresa contratada por Porto Grande Mineração Ltda, empresa que realiza investigación y exploración minera en la región de la colonia agrícola de Matapí, ubicada en el municipio de Porto Grande, estado de Amapá. El objetivo fue subsidiar, aunque de manera preliminar, los procedimientos operativos para la apertura de la mina, para ello se realizó la caracterización de las masas rocosas y de tierra, seguida de su clasificación. Los resultados obtenidos en la caracterización y clasificación de suelos muestran el predominio de suelos limosos arcillosos con alta compresibilidad; por otro lado, los resultados obtenidos en la caracterización y clasificación de macizos rocosos permitieron clasificar la calidad del macizo rocoso como razonable. Así, fue posible evaluar las posibles dificultades en la ejecución del proyecto, así como las especificaciones técnicas para superar los desafíos impuestos por los aspectos geológico-geotécnicos de la zona.

Keywords: Levantamientos Rotatorios, Clasificación de Macizos Rocosos, Clasificación de Masas Terrestres, Proyecto Ferro Matapí.

<sup>1</sup> Professor do Centro de Tecnologia, CEAP, Macapá, Brasil, jeffmotacarv@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro de Tecnologia, CEAP, Macapá, Brasil, geremy.freitas@ceap.br

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado do Amapá ao longo dos anos demonstrou possuir vocação natural para a atividade de extração mineral. Sua formação social e econômica esteve em grande parte vinculada à mineração, o que a caracterizou como uma forte fonte geradora de empregos diretos e indiretos. O setor minerário, além da geração de empregos, impulsiona e fortalece a economia local, amplia a arrecadação de impostos, além de propiciar a divulgação do estado no cenário mundial como detentor de grandes províncias minerais (AGÊNCIA AMAPÁ, 2019).

Durante a fase de abertura de uma mina para extração de minério, alguns fatores merecem atenção especial, dentre eles a estabilidade dos taludes que estão diretamente interligados ao avanço da lavra a céu aberto e em profundidade.

Para a realização desta pesquisa foram utilizados resultados de sondagens rotativas realizadas durante a campanha de investigação geológico-geotécnica realizada por empresa contratada pela mineradora Porto Grande Mineração Ltda, bem como amostras de solo e testemunhos de rocha, para caracterizar e classificar os materiais e os maciços presentes na futura escavação.

O sistema de classificação de solos utilizado neste trabalho foi Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), que se baseia nos Limites de Atterberg (LL e LP) e na granulometria dos solos; ele permite ter uma previsão do comportamento dos solos em campo. Já para classificar o maciço rochoso utilizou-se o Sistema Rock Mass Rating - RMR, de Bieniawski (1979), que juntamente com o Sistema Q, de Berton et al. (1974), são os mais utilizados.

O sistema de classificação geomecânica RMR, segundo Bieniawski (1989), possui os seguintes objetivos:

- Classificar os parâmetros condicionantes dos comportamentos dos maciços rochosos;
- Compartimentar uma formação rochosa em classes de maciços com qualidades distintas;
- Fornecer parâmetros para a compreensão das características de cada classe de maciço;
- Prover dados quantitativos para o projeto geomecânico;
- Servir como referência a comunicação de dados na própria obra e entre obras distintas.

O sistema leva em consideração os seguintes parâmetros de caracterização dos maciços rochosos:

- Resistência à compressão simples ou índice de compressão puntiforme;
- Designação da Qualidade da Rocha (Rock Quality Designation – RQD);
- Espaçamento das descontinuidades;
- Ação da água subterrânea;
- Orientação relativa das descontinuidades/escavação.

O objetivo deste trabalho foi, com base na caracterização e classificação dos materiais, subsidiar,

ainda que de forma preliminar, os procedimentos operacionais para abertura da mina com base na caracterização e classificação dos materiais presentes na área da mina.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

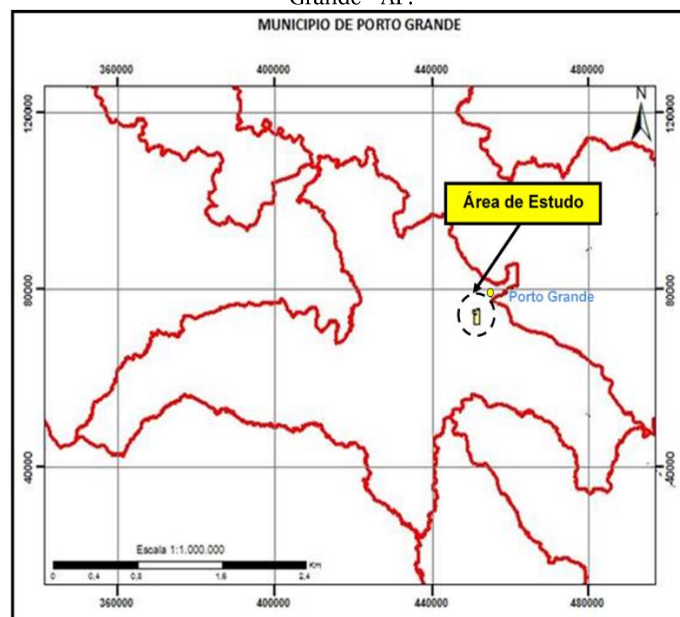
### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Porto Grande Mineração Ltda, empresa detentora do processo minerário nº 858.079/2005, atua a 10 anos nos trabalhos de pesquisa e exploração mineral na região da colônia agrícola do Matapí, situada no município de Porto Grande, localizado na região central do Estado do Amapá.

A mineradora identificou, estudou e calculou as reservas minerais para exploração de um alvo com potencial metalogenético para mineralizações ferríferas, caracterizadas como magnetitas e hematitas maciças, ambas classificadas como principais fontes de minério de ferro.

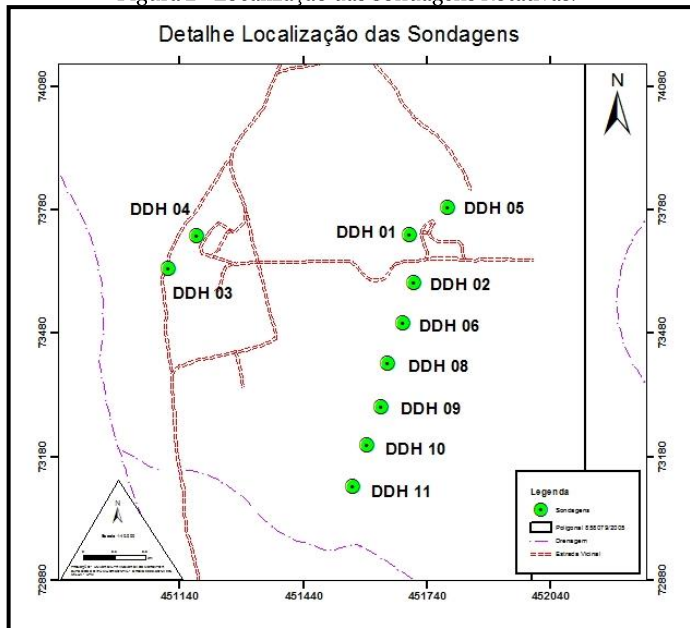
Os materiais utilizados neste trabalho, tais como resultados de sondagens rotativas e amostras de solo e rochas, foram obtidos na área apresentada na Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Localização da Área de Estudo no Município de Porto Grande – AP.



A área é caracterizada, geologicamente, como uma zona tectonicamente estável, com predominância de solos lateríticos na sua cobertura e a presença de rochas consideradas duras (ígneas e metamórficas), em profundidade, e que são típicas de ambiente cristalino que predominam no estado Amapá. Nesta área foram realizados o levantamento geofísico, através do qual foram delimitados dois alvos denominados de M-01 e M-02; e o levantamento planialtimétrico, a partir do qual foram definidos o número de sondagens e sua localização (Figura 2).

Figura 2 - Localização das Sondagens Rotativas.



Após essas etapas foram realizados 10 (dez) furos de sondagem rotativa diamantada (Figura 3) com ângulos de 45°, 60° e 65°, todos executados com diâmetro HQ (63 mm), perfazendo uma profundidade final de 672,40 m.

Figura 3 - Realização da Campanha de Sondagens Rotativas.



A Tabela 1, a seguir, traz informações sobre o furos realizados onde são apresentadas as espessuras das camadas de solo, rochas e do minério; além da representatividade de cada tipo de material em cada furo realizado.

Tabela 1 - Informações dos Furos de Sondagens.

Furos N°	Ângulo de Indinação Perfuração	Espessura das Litologias (m)			Profundidade Total do Furo Inclinado	% Representatividade		
		Solos	Rochas	Minério e Outros		Furo Inclinado		
						Solos	Rochas	Minério e Outros
2013 - DDH - 01	65°	16,00	56,70	32,00	104,70	15,28%	54,15%	30,56%
2013 - DDH - 02	65°	39,40	7,57	22,03	69,00	57,10%	10,97%	31,93%
2013 - DDH - 03	65°	44,50	36,90	0,00	81,40	54,67%	45,33%	0,00%
2013 - DDH - 04	65°	18,20	0,00	13,85	32,05	56,79%	0,00%	43,21%
2013 - DDH - 05	65°	12,20	13,67	25,28	51,15	23,85%	26,73%	49,42%
2013 - DDH - 06	65°	25,02	0,00	25,53	50,55	49,50%	0,00%	50,50%
2016 - DDH - 08	45°	66,84	3,56	3,30	73,70	90,69%	4,83%	4,48%
2016 - DDH - 09	60°	39,28	13,32	17,45	70,05	56,07%	19,01%	24,91%
2017 - DDH - 10	60°	56,60	1,30	14,30	72,20	78,39%	1,80%	19,81%
2017 - DDH - 11	60°	58,93	4,78	3,89	67,60	87,17%	7,07%	5,75%
<b>Total</b>	-	<b>376,97</b>	<b>137,80</b>	<b>157,63</b>	<b>672,40</b>	-	-	-

## 2.2 MATERIAIS

As amostras de solo e de rocha coletadas para a caracterização e classificação dos maciços presentes na área em estudo foram obtidas a partir das caixas de testemunho do furo denominado 2013 – DDH – 01.

A escolha deste furo foi devido a sua profundidade, sendo o mais profundo, e com base nas descrições litológicas presentes nos estudos de geologia da área, que mostrou ser esse o furo mais representativo. A Tabela 2 apresenta a caixa de testemunho da qual as amostras foram coletadas, bem como a sua profundidade e espessura de cada amostra.

Tabela 2 - Detalhes das Amostras utilizadas.

	Caixa de Testemunho N°	Intervalo Amostrado (m)		Espessura Amostrada (m)	Material
2013 - DDH-01	02	2,91	3,07	0,16	Solo
	02	4,59	4,85	0,26	Solo
	02	5,90	6,20	0,30	Solo
	10	28,50	28,77	0,27	Rocha

As atividades de amostragens de solos e rochas para a realização dos ensaios de laboratório foram realizadas no início do segundo semestre de 2019, as amostras são apresentadas na Figura 4, a seguir.

Figura 4 - Obtenção de Amostras de Solo e Rocha.



## 2.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Inicialmente, as amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas, passadas na peneira #4 (4,8 mm) e acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas, para serem empregadas em vários ensaios geotécnicos.

Para as amostras de solo foram realizados os ensaios de granulometria (NBR-7181:2016) e obtenção dos Limites de Liquidez (LL) (NBR 6459:2016), Plasticidade (LP) (NBR 7180/2016), Índice de Plasticidade (IP) e por fim os solos foram classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

Para as amostras de rocha foram realizados os ensaios de compressão simples (uniaxial) (NBR 12767/1992) e de compressão diametral, além do cálculo do RQD, cujo cálculo é indicativo da qualidade de maciços rochosos. O RQD é definido a partir dos testemunhos de sondagens. Seu índice é definido como a percentagem determinada pelo quociente entre os somatórios dos fragmentos com comprimento superior a 10 cm e o comprimento total furado em cada manobra.

Para a classificação do maciço rochoso também foram realizadas análises dos parâmetros de descontinuidades, utilizando informações constantes nos relatórios geológico-geotécnicos das sondagens e das caixas de testemunhos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

A Tabela 3 contém os resultados dos ensaios de granulometria, limites de consistência e a classificação, segundo o SUCS, das amostras de solos analisadas.

Tabela 3 - Resultados dos Ensaios de Caracterização e Classificação dos Solos.

Propriedades analisadas	Amostras de Solos		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Granulometria ABNT (%)			
Pedregulho ( $\phi > 2 \text{ mm}$ )	13,46	14,42	2,39
Areia grossa ( $0,6 < \phi \leq 2 \text{ mm}$ )	1,32	0,24	0,50
Areia média ( $0,2 < \phi \leq 0,6 \text{ mm}$ )	0,44	0,15	0,40
Areia fina ( $0,06 < \phi \leq 0,2 \text{ mm}$ )	2,38	2,52	4,14
Silte ( $0,002 < \phi \leq 0,06 \text{ mm}$ )	82,40	82,66	92,56
Argila ( $\phi \leq 0,002 \text{ mm}$ )			
LL (%)	51,04	59,31	56,05
LP (%)	34,18	42,69	41,98
IP (%)	16,86	16,62	14,07
SUCS	MH	MH	MH

A partir dos ensaios de caracterização realizados foi possível verificar os solos são predominantemente solo finos, sendo que as Amostras 01 e 02 apresentaram frações de pedregulho da ordem de 13 a 14 %. A partir dos resultados dos ensaios foi possível classificar os solos das três amostras como Silte de Alta Plasticidade.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA E CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO

3.2.1 Caracterização da Rocha

O ensaio de compressão simples uniaxial e o ensaio de compressão diametral foram realizados utilizando 02 (duas) amostras de rocha Anfibolítica, sendo 01 (uma) amostra para cada ensaio, com diâmetro ( $\phi$ ) de 63 mm e comprimento de 15 cm. Conforme apresentado na Figura 5. A Tabela 4, em seguida apresenta os resultados obtidos em cada ensaio.

Figura 5 - Ensaio de Compressão Uniaxial e Ensaio de Compressão Diametral.



Tabela 4 - Resultados dos Ensaios de Compressão Uniaxial e Compressão Diametral.

Tipo de Ensaio	Nº da Amostra	Dimensões da Amostra	Ângulos das Trincas (°)	Carga de Ruptura	
				Toneladas	Kgf/cm <sup>2</sup>
Compressão Uniaxial	01	$\phi = 63 \text{ mm}$ $L = 0,15 \text{ m}$	27°, 35° e 90°	9,0	458,10
Compressão Diametral	02		90°	9,2	468,28

3.2.2 Classificação do Maciço Rochoso

Para a classificação geomecânica do maciço rochoso, segundo o Sistema RMR, foram atribuídos pesos para seis parâmetros, que Bieniawski (1989) considerou

contribuírem mais significativamente para o comportamento dos maciços rochosos.

Para isso foram utilizados os resultados dos ensaios de compressão uniaxial, do valor do RQD para o furo em análise, que foi de 69,83%, além informações obtidas a partir dos relatórios geológico-geotécnico da área. A Tabela 5, a seguir reúne os dados utilizados para obtenção do índice RMR.

Tabela 5 - Dados para Classificação do Maciço Rochoso pelo Sistema RMR.

Ítem	Parâmetros	Resultados Obtidos	Parâmetros de Análises
1	Compressão uniaxial (Mpa)	45,81 MPa - 46,83 MPa	Ensaio realizado em laboratório
	Peso	4	
2	RQD (%)	69,83 %	Calculado ao longo dos fragmentos > 10 cm por cada intervalo de manobra
	Peso	13	
3	Espaçamento das descontinuidades	60 - 200 mm	Analisado de acordo com o relatório fotográfico dos testemunhos de sondagens
	Peso	8	
4	Condições das descontinuidades	Superfícies polidas ou enchimentos com espessura < 5 mm ou juntas contínuas com separação 1-5 mm.	Analisado de acordo com a descrição geológico-geotécnica dos testemunhos de sondagens
	Peso	10	
5	Presença de água	Completamente Seco	Na campanha de sondagem não foi interceptado o lençol de freático
	Peso	15	
$\Sigma$ Pesos =		50	

O somatório dos pesos atribuídos a cada um destes parâmetros constitui um índice, usualmente designado por RMR, o qual corresponde uma das cinco classes de qualidade de maciços, consideradas pelo autor. No caso deste trabalho o somatório foi de 50.

Bieniawski (1989), classifica o maciço rochoso em cinco classes de acordo com o valor do índice RMR (Tabela 6), dando ainda indicações do tempo médio de auto sustentação para vãos não revestidos em túneis e também fornece estimativas relativas às características resistentes do maciço rochoso, nomeadamente, a coesão e o ângulo de atrito.

Tabela 6 - Classes de Maciços Rochosos pelo Sistema RMR.

Peso Global	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço rochoso muito bom	Maciço rochoso bom	Maciço rochoso razoável	Maciço rochoso fraco	Maciço rochoso muito fraco
Tempo médio para aguentar sem suporte	20 anos para 15 m de vão	1 ano para 10 m de vão	1 semana para 5 m de vão	10 horas para 2,5 m de vão	30 minutos para 1 m de vão
Coesão de massa rochosa (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Ângulo de atrito da massa rochosa (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

Com base na Tabela 6 o valor do índice do RMR encontrado para maciço rochoso encontrado no furo 2013 DDH-01 é do tipo razoável, com coesão de massa rochosa variando de 200-300 kPa e com ângulo de atrito migrando de 25° a 35°.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho realizado e nos resultados apresentados pode-se concluir que, no caso dos solo encontrados na área de estudo há a predominância de solos siltosos de alta plasticidade. A presença deste tipo de solo podem acarretar problemas de erosão nos

taludes, bem como problemas nas vias de acesso e rampas; sendo necessário cuidados especiais como a cobertura do solo com outros materiais, que podem ser proveniente do desmonte das rochas do tipo rejeito da extração que servirão para dar suporte e aderência aos equipamentos que por lá trafegarem. Vale lembrar que na região o índice pluviométrico é bastante elevado, de 2240 mm/ano.

Como já era de se esperar, na escavação das cavas operacionais deverão ser construídos sistemas de drenagens ao longo das bases dos taludes e bermas (sarjetas) e de descidas d'água na face vertical dos taludes e bancadas (escadas hidráulicas) em pontos previamente definidos, com atenção redobrada devido ao tipo de solo predominante.

Cuidado especial deverá ser tomado no projeto de fundação do equipamentos fixos, como britadores, planta de classificação granulométrica, planta de moagem, ciclones, separadores magnéticos, deverá ser dimensionada de acordo com o peso próprio deles, associados a cargas dinâmicas de detonação, vibração, ação intempéricas, dentre outros. Essas bases deverão serem assentadas em profundidade em que a camada que apresente melhor resistência, haja visto que, o solo predominante na área do projeto é um solo silto-argiloso de alta compressibilidade (MH); o que estruturalmente poderá provocar recalques diferenciais.

Com relação ao maciço rochoso a classificação geomecânica pelo sistema RMR, permitiu classificar o maciço rochoso predominante como sendo razoável. Sugere-se que, ao longo do sequenciamento do corpo, sejam realizados mais testes laboratoriais para uma melhor caracterização geológico-geotécnica. E que sejam revistos os parâmetros de inclinação dos taludes em rochas. Sugere-se que na pré-fase da abertura da mina, seja realizado mais ensaios de solos e rochas ao longo dos demais furos de sondagens executados, haja visto que, em função do tempo, este trabalho se concentrou no furo de maior representatividade (2013-DDH-01).

A continuidade de trabalhos futuros irá propiciar a obtenção de um banco de dados cada vez mais abrangente e um conhecimento cada vez maior do comportamento geológico-geotécnico dos taludes da mina, tornando possível implementar abordagens estatísticas nestes parâmetros geotécnicos.

Os autores desejam expressar sua gratidão à Porto Grande Mineração LTDA, pela disponibilização dos dados para a elaboração deste trabalho, e ao Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP pela disponibilização do laboratório de solos e dos materiais para execução dos ensaios realizados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO AMAPÁ. **A história do Amapá se confunde com a história da mineração.** 2019. Disponível em: <http://ageamapa.ap.gov.br/conteudo/setores-de-negocios/mineracao>. Acesso em: 26 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Solo - Determinação do Limite de Liquidez.

Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

BARTON, N.; Lien, R. Lunde, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mech.** v. 6, n. 4., 1974.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering classification of jointed rock masses Trans South African Institut of Civil Engineering. V.15:12, p 335-344, 1973.

BIENIAWSKI, Z. T. The geomechanics classification in rock engineering applications. In: International Congress Rock Mechanical, 4, 1979, Montreaux. **Proceeding...** Montreaux: ISRM.v.2.

BIENIAWSKI, Z.T. **Engineering rock mass classification.** New York: John Wiley, 1989.