

VARIAÇÃO DE DENSIDADE DAS ROCHAS NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO¹

Pedro Apolônio dos Santos²

Resumo

Este trabalho apresenta a variabilidade dos valores de densidade aferidas para os diferentes tipos litológicos. Os resultados do estudo demonstram que as variações são dadas pela gênese, composição mineralógica, porosidade, percentual de água contida na rocha e condição topográfica. O estudo de densidade de rochas na região do Quadrilátero Ferrífero apresenta três regiões distintas: porção leste, porção central e porção oeste.

Palavras-chave: Densidade; Gênese; Composição mineralógica

VARIATIONS ROCK DENSITY AT QUADRILÁTERO FERRÍFERO REGION

Abstract

This paper shows a variability of rock density values obtained from different litotypes. The study result demonstrates that the variations are due to genesis, mineralogical composition, porosity, percentage of water contained in the rock and topographical condition. The study of rock density in the Quadrilátero Ferrífero shows three different areas: east portion, central portion and west portion.

Key words: Density; Genesis; Mineralogical composition.

¹ *Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Técnico Mineração – Gerência de Exploração Mineral – DIPF, CVRD*

1 - Introdução

Este trabalho mostra a variabilidade dos valores de densidade aferidas para os diferentes tipos litológicos presentes nas minas e jazidas da CVRD na região do Quadrilátero Ferrífero. A densidade apresenta variações devido a diversos fatores: gênese, composição mineralógica, porosidade, percentual de água contida na rocha e condição topográfica. Os resultados do estudo demonstram que a variação de densidade de rochas na região do Quadrilátero Ferrífero tem três regiões distintas: porção leste, porção central e porção oeste.

2 – Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero é geologicamente constituído por rochas predominantemente Arqueanas e Proterozóicas, deformadas em distintas fases de dobramentos e falhamentos. A Formação Cauê é a unidade estratigráfica que contém o minério de ferro.

Os minérios de ferro podem ser agrupados em 3 grandes grupos: Hematitas, Itabiritos e Coberturas detriticas. As Hematitas são minérios com alto teor de ferro (superior a 63%), constituído essencialmente de cristais de hematita; Os Itabiritos são minérios com teor de ferro entre 30 a 63%, sendo fácil a identificação visual da alternância de leitos de sílica e de hematita; As coberturas detriticas são formações superficiais constituídas por blocos de hematita e itabirito soltos ou cimentados.

Estéreis são materiais que se encontram na região e não tem valor econômico.

3 – Comparação entre as Técnicas

Existem várias técnicas para determinar a densidade das rochas. Uma ou mais técnicas são utilizados para definir uma metodologia. Hoje, a CVRD utiliza-se principalmente a técnica do “Frasco de Areia” para materiais friáveis, e o “Meio Denso por Deslocamento de Volume” para materiais compactos. Entretanto, outras técnicas também podem ser utilizadas (Quadro 01) de acordo com as características do material:

Síntese da aplicação das Técnicas

Técnica	Tipo de Material		Coleta		Observação
	Compacto	Friável	Afloramento	Testemunho	
Frasco de Areia		X	X		
Meio Denso por Preenchimento de Volume		X	X		
Meio Denso por Deslocamento de Volume	X		X	X	Ajuste
Gabarito Retangular		X		X	
Abertura de Poço		X	X		
Cilindro Biselado		X	X		Rocha saturada
Caixa de Testemunho	X	X		X	
Balança Hidrostática	X		X	X	Ajuste
Picnômetro	X	X	X	X	Densidade do grão
"Francesa" Utilizando o Barômetro		X	X		
Aeroradiometria Gravimétrica	Mapeamento Regional de detalhe para definir alvo de estudo				
Perfilagem Geofísica de Poços	Avaliar densidade da rocha em furo de sonda (em profundidade)				

Quadro 01 – Resumo da aplicação das técnicas de densidade (2005)

4 – Fatores que influenciam a densidade.

Segundo *Australasian Joint Ore Reserves Committe* (Código JORC), a densidade é essencialmente controlada por três fatores: a densidade mineral dos graos que formam os minerais, a porosidade da rocha e a água natural contida na rocha.

Para a ISO 3852 (*Iron ores – Determination of bulk density*) o valor da densidade é influenciado pelo tipo geológico, total de ferro contido, distribuição granulométrica e a umidade do material.

Os resultados da pesquisa demonstram que as variações dos valores de densidade são dadas por muitos fatores, quais sejam: pela gênese, composição mineralógica, porosidade, percentual de água contida na rocha e condição topográfica.

5 – Discussões sobre a espacialização das variações

As jazidas minerais e as tipologias de minério tem suas características dada pela combinação de diferentes processos geológicos como gênese, tectônica, metamorfismo local e alteração supergênica, resultando em composição mineralógica, textura, teores e grau de compacidade distintos.

De um modo geral, para o estudo de densidade das rochas na região do Quadrilátero Ferrífero é interessante destacar as porções leste, central e oeste, pois elas apresentam características distintas. Os valores médios de densidade por litologia apresentam uma diferença percentual variando de 15 a 42% (gráfico 01 e tabela 01). Estes valores são determinados utilizando em torno de dez mil (10.000) amostras.

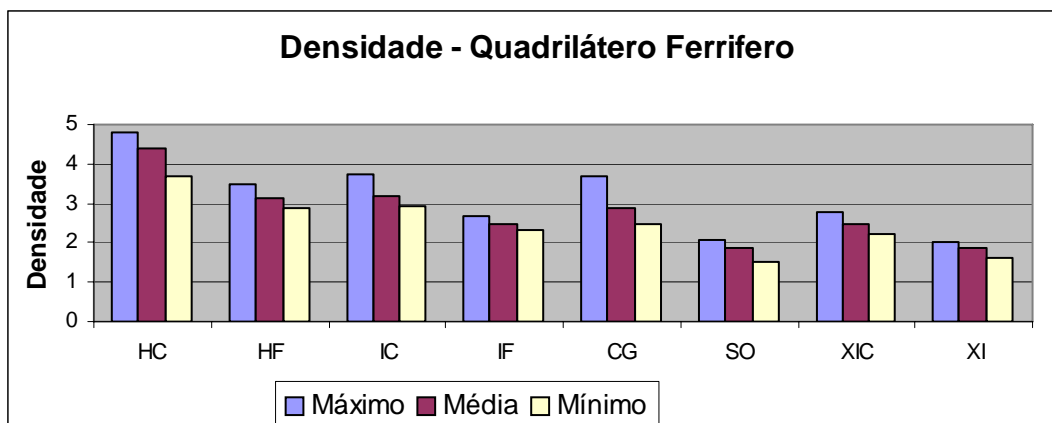


Gráfico 01 – Valores de densidade para rochas do Quadrilátero Ferrífero. (2006)
 HC – Hematita Compacta; HF – Hematita Friável; IC – Itabirito Compacto; IF – Itabirito Friável;
 CG – Canga; SO – Solo; XIC– Xisto Compacto; XI – Xisto.

Quadrilátero Ferrífero	HEMATITAS		ITABIRITOS		COBERTURAS		ESTEREIS	
	HC	HF	IC	IF	CG	SO	XIC	XI
Média	4,42	3,14	3,19	2,47	2,88	1,87	2,47	1,89
Máximo	4,78	3,50	3,76	2,70	3,70	2,09	2,76	2,01
Mínimo	3,67	2,86	2,91	2,32	2,48	1,53	2,23	1,61
Diferença Percentual	25%	20%	27%	15%	42%	30%	21%	21%

Tabela 01 – Media das médias dos valores de densidade das áreas que representam o Quadrilátero Ferrífero (2006)

A porção do leste do Quadrilátero Ferrífero representa áreas de maior grau metamórfico, onde predomina minérios com texturas recristalizadas predominantemente granulares e maciços, conseqüentemente, ocorre valor de densidades mais elevado (gráfico 02 e tabela 02). Estes valores são determinados utilizando em torno de três mil e quinhentas (3.500) amostras.

A porção leste do Quadrilátero Ferrífero é representada por rochas com gênese de predominância hidrotermal ou tectônica no qual apresenta em maior quantidade a hematita especular sem porosidade. As rochas desta porção apresentam-se os valores mais elevado de densidade devido o baixo grau de hidratação, predominância compacta e maciça; caracterizado pela amostra do lado esquerdo da figura 01.

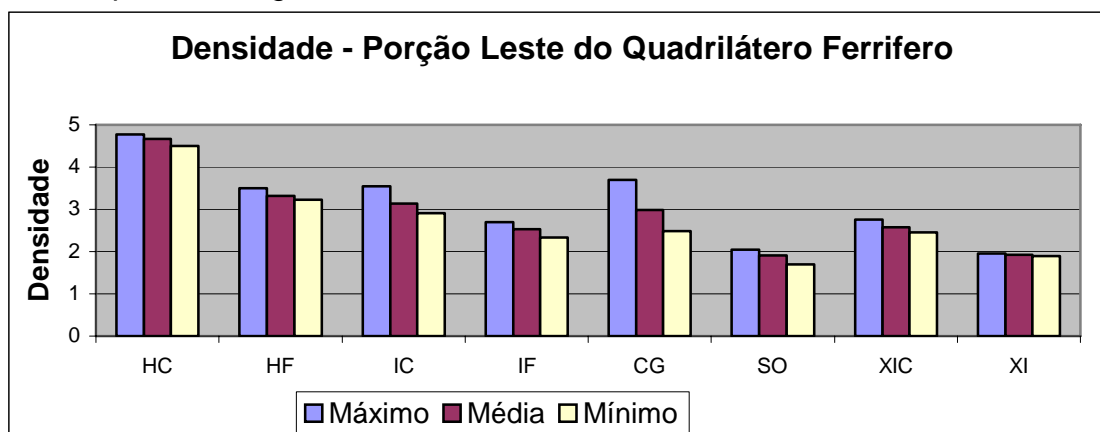


Gráfico 02 – Valores de densidade para rochas da porção leste do Quadrilátero Ferrífero. (2006). HC – Hematita Compacta; HF – Hematita Friável; IC – Itabirito Compacto; IF – Itabirito Friável; CG – Canga; SO – Solo; XIC– Xisto Compacto; XI – Xisto.

Porção Leste do Quadrilátero Ferrífero	HEMATITAS		ITABIRITOS		COBERTURAS		ESTEREIS	
	HC	HF	IC	IF	CG	SO	XIC	XI
Média	4,67	3,33	3,14	2,53	2,99	1,91	2,58	1,92
Máximo	4,78	3,50	3,54	2,70	3,70	2,05	2,76	1,95
Mínimo	4,50	3,22	2,91	2,33	2,48	1,70	2,45	1,89
Diferença Percentual	6%	8%	20%	15%	41%	18%	12%	3%

Tabela 02 – Media das médias dos valores de densidade das áreas que representam a porção leste (2006).

Na porção central do Quadrilátero Ferrífero identifica com material muito hidratado apresentando presença de goethita e limonita, onde encontra os minérios mais porosos devido a atuação maior do intemperismo da região Quadrilátero Ferrífero (gráfico 03 e tabela 03). Estes valores são determinados utilizando em torno de cinco mil e quinhentas (5.500) amostras.

A porção central do Quadrilátero Ferrífero é caracterizada por rochas com gênese de predominância supergênica no qual apresenta minério hematítico com conteúdo elevado de goethita/limonita. As rochas desta porção apresentam-se os valores mais baixos de densidade devido com alto grau de hidratação, predominância friável e porosa; representado pela amostra do lado direito da figura 01.

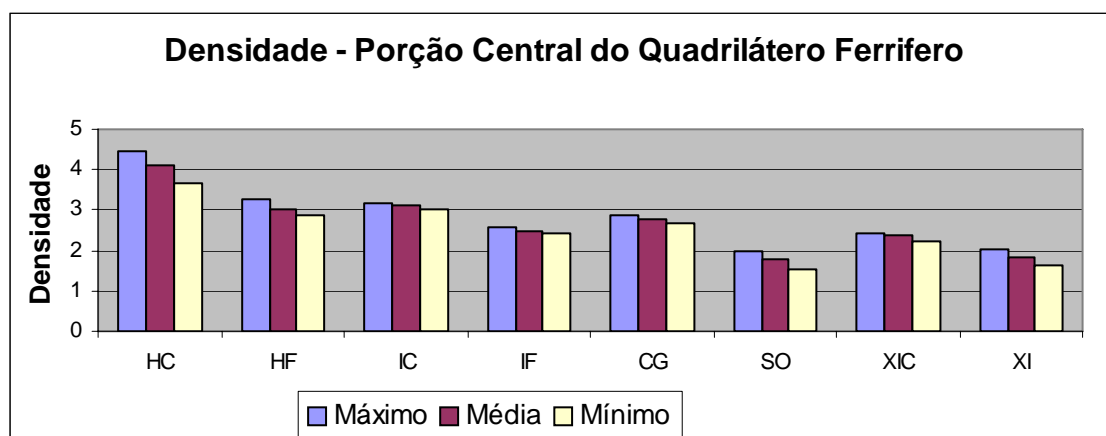


Gráfico 03 – Valores de densidade para rochas da porção central do Quadrilátero Ferrífero. (2006)

HC – Hematita Compacta; HF – Hematita Friável; IC – Itabirito Compacto; IF – Itabirito Friável; CG – Canga; SO – Solo; XIC– Xisto Compacto; XI – Xisto.

Porção Central do Quadrilátero Ferrífero	HEMATITAS		ITABIRITOS		COBERTURAS		ESTEREIS	
	HC	HF	IC	IF	CG	SO	XIC	XI
Média	4,13	3,01	3,10	2,47	2,77	1,76	2,36	1,84
Máximo	4,44	3,27	3,17	2,56	2,89	1,98	2,43	2,01
Mínimo	3,67	2,86	3,00	2,44	2,66	1,53	2,25	1,61
Diferença Percentual	19%	14%	5%	5%	8%	26%	8%	22%

Tabela 03 – Media das médias das áreas que representam a porção central (2006).

Na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, caracteriza região de menor grau metamórfico, onde predomina minérios com texturas intermediárias entre o material maciço e poros, isto justifica os valores de densidade intermediários

para a região do Quadrilátero Ferrífero (gráfico 04 e tabela 04). Estes valores são determinados utilizando em torno de mil e duzentas (1.200) amostras. A porção oeste do Quadrilátero Ferrífero é considerada uma situação intermediária entre a porção leste e a porção central, portanto as rochas nesta região apresenta valores intermediários, caracterizado pela amostra do meio da figura 01.

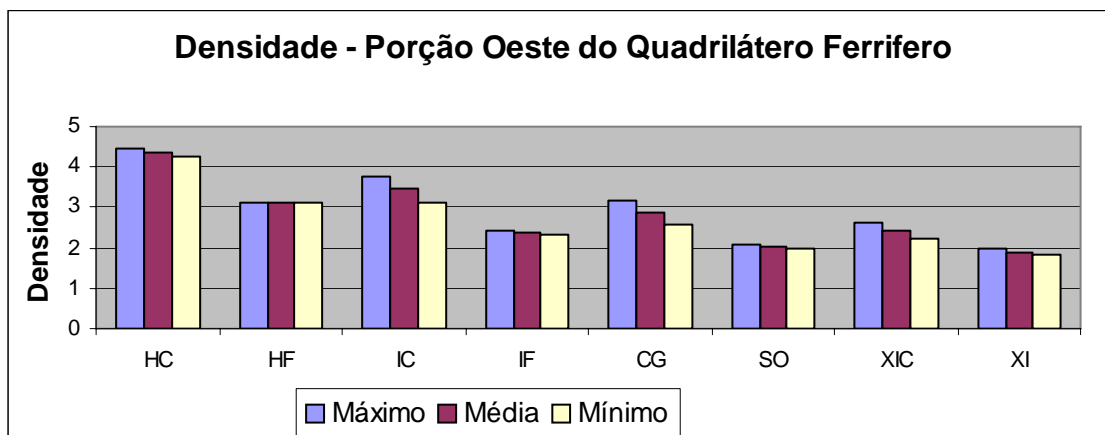


Gráfico 04 – Valores de densidade para rochas da porção oeste do Quadrilátero Ferrífero. (2006)

HC – Hematita Compacta; HF – Hematita Friável; IC – Itabirito Compacto; IF – Itabirito Friável; CG – Canga; SO – Solo; XIC– Xisto Compacto; XI – Xisto.

Porção Oeste do Quadrilátero Ferrífero	HEMATITAS		ITABIRITOS		COBERTURAS		ESTEREIS	
	HC	HF	IC	IF	CG	SO	XIC	XI
Média	4,36	3,12	3,45	2,38	2,89	2,03	2,42	1,90
Máximo	4,45	3,14	3,76	2,43	3,18	2,09	2,60	1,97
Mínimo	4,26	3,10	3,13	2,32	2,59	1,97	2,23	1,83
Diferença Percentual	4%	1%	18%	5%	20%	6%	15%	7%

Tabela 04 – Media das médias das áreas que representam a porção oeste (2006).

Para apresentar as variações na densidade de rochas ferruginosas o Quadrilátero Ferrífero é representada por três porções distintas: leste, central e oeste (figura 01).

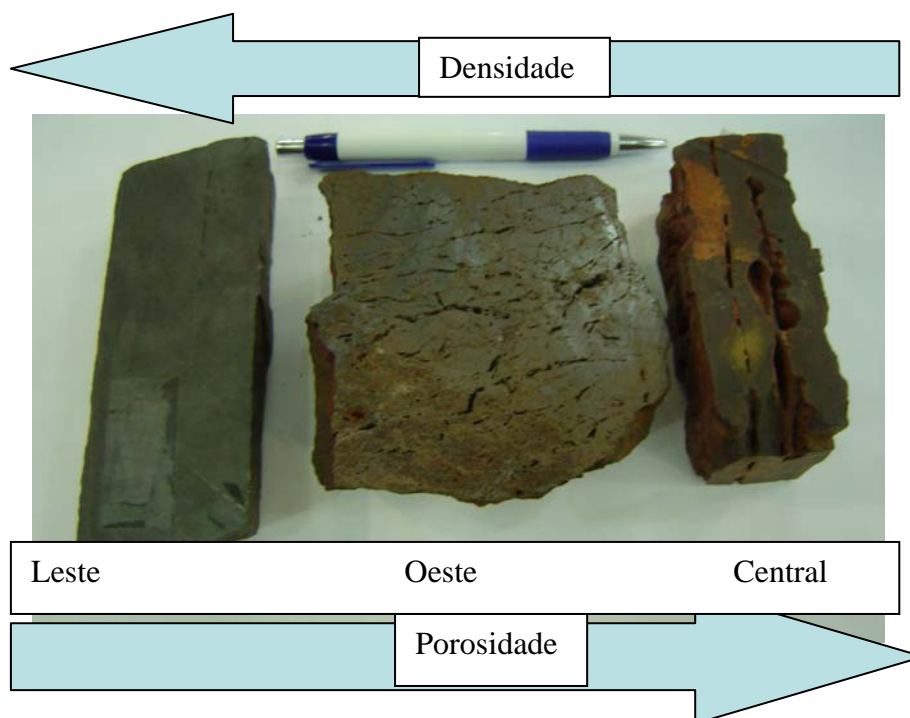


Figura 01 – Amostras de Hematitas Compactas representativas da porção leste, central e oeste do Quadrilátero Ferrífero (2006)

O teor da umidade é a porcentagem de água contida nos poros da rocha, tomando-se como referência o peso da massa da rocha seca (tabela 05 e gráfico 05). A umidade da rocha é um item muito complexo, a água que se encontra nos poros da rocha pode ser de três espécies: água livre ou gravimétrica, água higroscópica e água capilar.

Umidade – Quadrilátero Ferrífero

Porção Oeste Quadrilátero Ferrífero	HEMATITAS		ITABIRITOS		COBERTURAS		ESTEREIS	
	HC	HF	IC	IF	CG	SO	XIC	XI
Porção Leste	0,12	2,86	0,21	4,30	7,15	14,53	0,17	12,25
Porção Central	1,07	6,77	0,28	7,61	5,47	21,68	0,10	14,97
Porção Oeste	0,34	6,33	0,33	5,22	9,76	12,88	0,10	20,40

Tabela 05 – Media das médias dos valores de umidade das áreas que representam o Quadrilátero

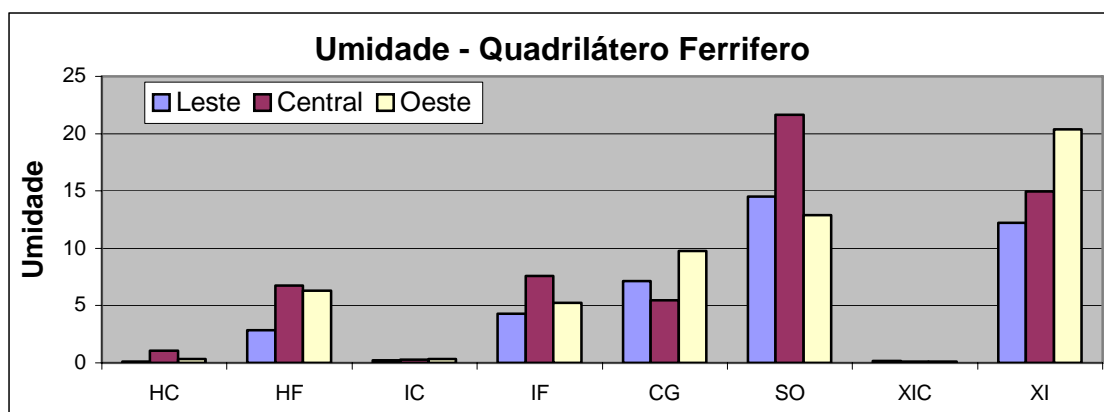


Gráfico 05 – Valores de umidade para rochas das áreas do Quadrilátero Ferrífero. (2006)
 HC – Hematita Compacta; HF – Hematita Friável; IC – Itabirito Compacto; IF – Itabirito Friável;
 CG – Canga; SO – Solo; XIC– Xisto Compacto; XI – Xisto.

A água gravimétrica circula livremente através dos poros da rocha e está sujeita à ação da gravidade, a água higroscópica se encontra na rocha seca ao ar livre e a água capilar é retida na rocha por efeito da tensão superficial e muitas vezes contraria a ação da gravidade.

O valor da umidade varia principalmente em função do período (chuvoso ou seco) do ano que é coletado e também em relação à localização ao nível do lençol freático. Para os materiais compactos a porosidade é menor e em consequência a umidade da rocha tende a ser menor e nos materiais friáveis a umidade da rocha tende a ser maior que nas rochas compactas. No geral, os resultados mostram que a umidade das rochas da área central do Quadrilátero Ferrífero é maior do que das outras áreas.

Pelos dados apresentados nota-se que existe uma relação inversa entre densidade e umidade, semelhante a relação entre densidade e porosidade.

6 – Conclusão

A figura 01 mostra a ação do intemperismo no Quadrilátero Ferrífero e apresenta que a variação de densidade para Hematita Compacta está relacionada diretamente com o nível de porosidade da rocha. Esta variação também apresenta no Itabirito Compacto, Xisto Compacto, Quartzito Compacto e Intrusiva São.

A variação de densidade para Hematita Friável também apresenta uma relação direta com o nível de porosidade e para o Itabirito Friável depende da combinação de três fatores: o teor de ferro que representa a densidade do grão mineral (Gráfico 01), a distribuição granulométrica que caracteriza o nível de compactação da rocha e a gênese que identifica o grau de porosidade da rocha.

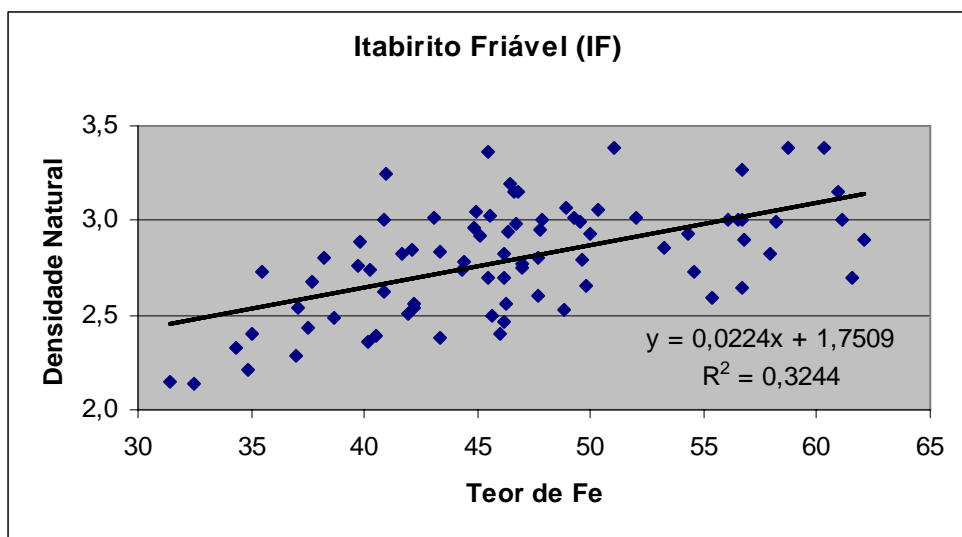


Gráfico 05 – Amostras de Itabirito Friável mostrando que a densidade cresce em função do teor de ferro (2006)

A variação de densidade do solo, da canga e do rolado depende da gênese, composição mineralógica, porosidade, percentual de água contida na rocha e da condição topográfica. A densidade do solo tem influência da sua textura. “A textura é uma das propriedades mais importante do solo, uma vez que refletirá em todas as demais” (TROPMAIR, 2006). A quantidade de água na rocha e no solo depende do coeficiente de armazenamento da infiltração, que por sua vez depende da estrutura, textura, recarga de água, bem como da topografia e da cobertura vegetal.

A condição topográfica tem uma influência direta no valor da densidade para os materiais denominados de “cobertura” (solo, canga e rolado). As coberturas em relevos inclinados geralmente são rasos e em relevos sub-horizontais são mais profundos e poroso, armazenando mais água.

7 – Agradecimentos

O autor agradece a CVRD pelo apoio e incentivo e a FUNCESI pela orientação acadêmica para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- 1 ABNT. ISO 3852, *Iron ores – Determination of Bulk Density*. 5p. 1998.
- 2 GUIMARÃES, M.L.V., FUJIKAWA, L.H., VIEIRA, M.B.H., BORGES, N.R., SOUZA, R.A.C., VANNUCCI, L.C., SANTOS, P.A. Classificação de Minério de Ferro. II Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Ouro Preto, MG, ABM, p.444-455. 1999.
- 3 GUIMARÃES, M.L.V., TOLEDO, J.P., FARIA, C.A.. Estimativa e Monitoramento das Reservas de Minério de Ferro do Sistema Sul – CVRD - Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, III Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto, Belo Horizonte, MG, IBRAM, edição em CDROM, 12p. 2004.
- 4 JORC Code *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral, Resources and Ore Reserves*, 20p. 2004.
- 5 SANTOS, P.A., KANEKO, K.M., SANTOS, G.J.I., Testes de densidade em rochas das minas do Sistema Sul da CVRD, VI Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Florianópolis, SC, ABM, V2 p.855-864. 2005.
- 6 TROPMAIR, Helmut. *Biogeografia e Meio Ambiente*. 7ed. Rio Claro: Divisa, 206p. 2006.