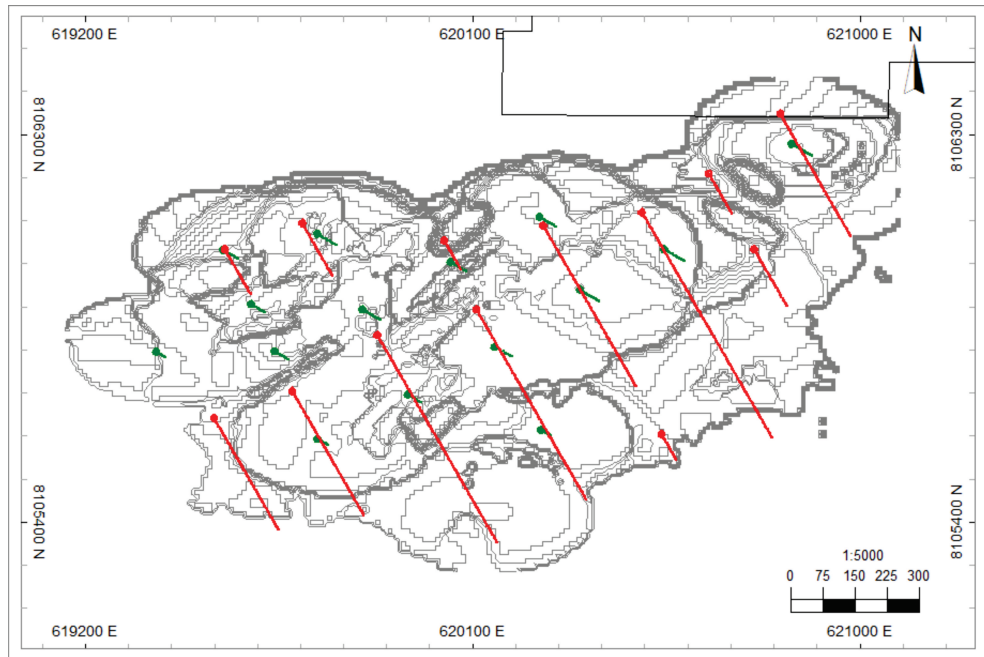


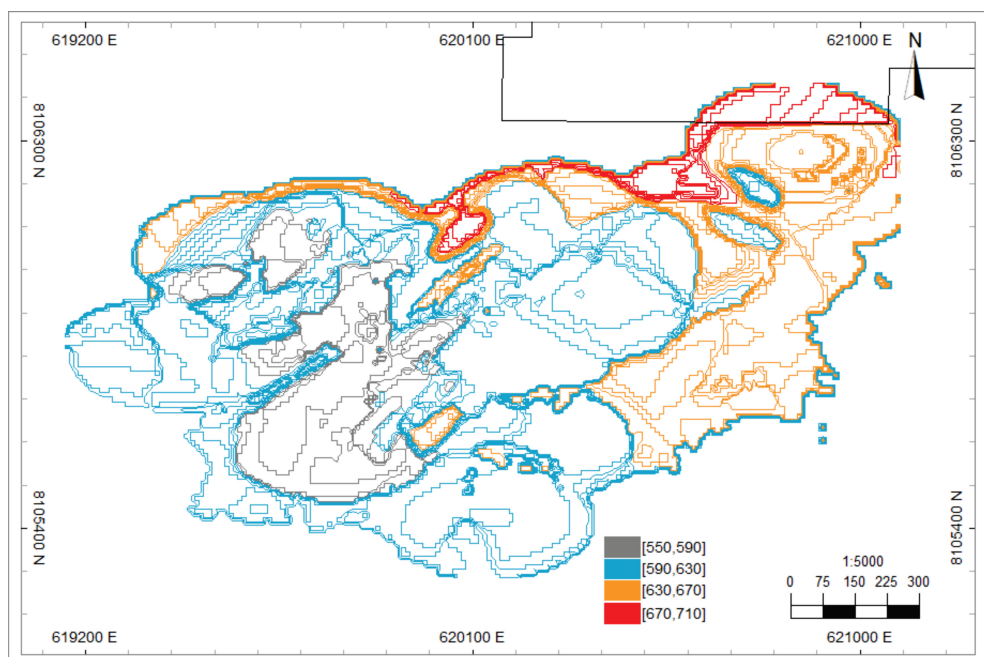
com o resultado da otimização, o VPL da cava foi de R\$ 18.722.171,00. Entretanto, é preciso refinar tal valor em uma etapa subsequente de sequenciamento de lavra, o que poderá ser realizado em trabalhos futuros.

Figura 5.30 – Contorno da superfície ótima de extração (linhas em cinza) e posição espacial das amostras coletadas.



Fonte: O autor (2017)

Figura 5.31 – Contorno da cava ótima organizado por intervalo de elevação.



Fonte: O autor (2017)

O modelo de blocos previamente estimado contido nos limites da cava ótima corresponde às reservas lavráveis, ou seja, a parcela dos recursos minerais viável de ser extraída economicamente, e ainda, neste caso, representa a porção dos recursos que maximiza o VPL da operação mineira. Neste modelo, a classificação dos resultados por domínio litológico resultou no inventário de tonelagens e teores médios mostrados na Tabela 5.15. Observa-se que as reservas lavráveis são constituídas quase que exclusivamente por calcário calcítico, o qual representa 73,9% da massa total contida na cava, seguido pelos calcários magnesiano e dolomítico, respondendo por 11,5% e 7,5% respectivamente. A tonelagem restante está atribuída ao estéril e ao material não classificado (N/C), o qual foi estimado quanto às variáveis de teor (CaO e MgO), mas não estimado pela krigagem indicadora, e portanto, de domínio litológico não previsto/desconhecido.

Tabela 5.15 – Inventário de tonelagens e teores médios das reservas lavráveis classificado de acordo com os domínios litológicos.

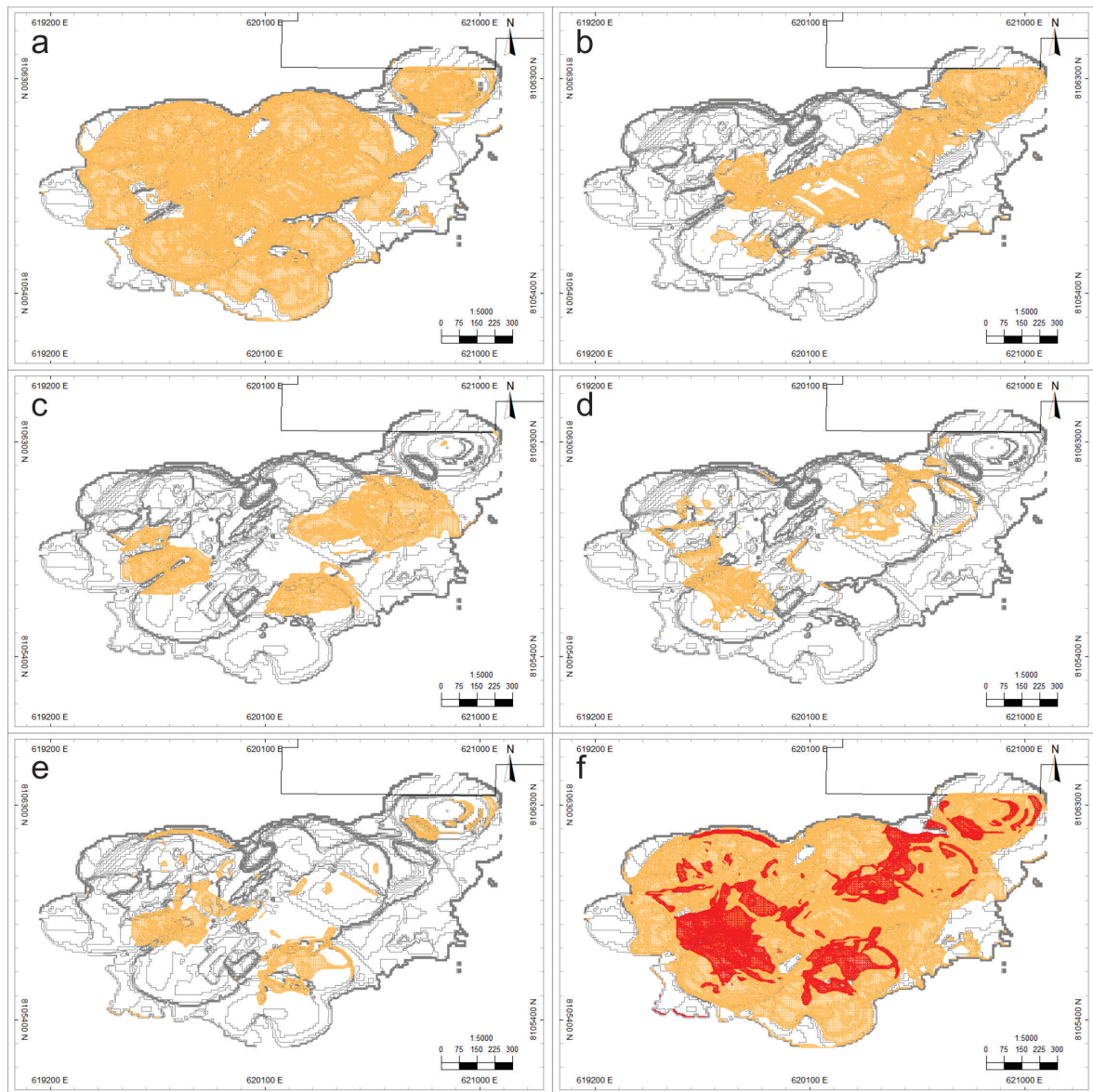
Domínio	Massa (t)	CaO (%)	MgO (%)	CaCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)	PN (%)
CLC	80.874.959,66	45,23	1,51	80,73	3,16	84,64
MAG	12.543.056,98	37,40	8,56	66,75	17,90	88,11
DOL	8.253.365,47	30,47	14,04	54,38	29,36	89,30
CLI	3.447.512,77	-	-	-	-	-
VMV	3.605.815,56	-	-	-	-	-
N/C	711.450,00	-	-	-	-	-
Total	109.436.160,43	43,07	3,40	76,87	7,11	85,45

Fonte: O autor (2017)

As reservas lavráveis (Tabela 5.15) apresentaram teores médios das variáveis de teor (CaO, MgO, CaCO₃ e MgCO₃) compatíveis com as características do calcário calcítico, já que, como dito previamente, há, em teoria, uma grande predominância deste domínio no modelo geológico-econômico. Ainda, o PN médio do calcário apresentou um valor da ordem de 85%, com a ocorrência dos maiores valores no domínio do calcário dolomítico, já que este contém, em relação aos demais, os teores mais elevados de MgO.

A análise gráfica da posição espacial dos diferentes domínios litológicos no interior da superfície ótima de extração (Figura 5.32) tornou evidente a maior ocorrência, praticamente exclusiva, de calcário calcítico, enquanto os demais estiveram concentrados em áreas isoladas, com exceção do calcário magnesiano, o qual mostrou uma continuidade geológica mais consistente/estável em relação aos demais domínios litológicos. Ainda na Figura 5.32, nota-se que há uma grande prevalência de áreas classificadas como minério (áreas em laranja claro na Figura 5.32f), com ocorrências isoladas e em menor quantidade de material classificado como estéril (áreas em vermelho da Figura 5.32f). Tal comportamento é uma reprodução do que foi observado no modelo econômico (Tabela 5.14), onde 63,5% dos blocos foram classificados como minério.

Figura 5.32 – Posição espacial dos domínios litológicos nos limites da cava ótima. a) calcário calcítico b) calcário magnesiano; c) calcário dolomítico; d) calcário impuro; e) vulcânicas e/ou metavulcânicas; f) minério (em laranja) e estéril (em vermelho).



Fonte: O autor (2017)

Classificando-se os resultados em minério (benefício positivo) e estéril (benefício negativo) obteve-se o inventário de massas e teores médios expostos na Tabela 5.16, a qual mostra que 88,6% da reserva lavrável corresponde à minério, e o restante, 11,4%, a material estéril, resultando, portanto, em uma relação estéril-minério total da cava de 0,13. Os teores médios dos óxidos estão em conformidade com o domínio do calcário calcítico, já que este é a litologia dominante, e além disso, o minério apresentou um teor médio de MgO mais elevado em relação ao estéril, já que o MgO possui um peso maior no cálculo do PN, de tal forma que quanto maior o valor de MgO, maior o valor do PN do calcário. Como o PN foi um dos critérios para a distinção entre minério ($PN \geq 80$) e estéril ($PN < 80$), consequentemente os teores de MgO do minério deveriam ser e foram maiores que os valores de PN do estéril.

Tabela 5.16 – Inventário de tonelagens e teores médios classificados em material minério e estéril.

Material	Massa (t)	CaO (%)	MgO (%)	CaCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)	PN (%)
Minério	96.907.406,11	43,10	3,44	76,93	7,20	85,62
Estéril	12.528.754,32	42,20	1,96	75,32	4,10	80,33
Total	109.436.160,43	43,00	3,27	76,75	6,84	85,02

Fonte: O autor (2017)

O modelo contido na cava ótima, classificado em função de categoria de reserva de minério, resultou no inventário de tonelagens e teores médios exposto na Tabela 5.17, ordenado de acordo com a confiabilidade das estimativas, de tal forma que a Reserva Provada corresponde à classe de maior nível de confiança geológica, seguida das reservas Prováveis e Inferidas. Apesar da ocorrência na cava ótima de materiais classificados como Reserva Inferida e não classificados (N/C), a participação dos mesmos é pouco representativa, correspondendo, juntos, a 8,9% do total de blocos das reservas.

As reservas lavráveis, como pode ser observado na Tabela 5.17, estão constituídas em quase sua totalidade pelas categorias Provada e Provável, com estas correspondendo a 50,2% e 40,9% do total, respectivamente. Portanto, nota-se que 91,1% da massa total da cava ótima está atribuída às categorias Provada e Provável, o que seria esperado, já que a superfície ótima de extração conteria basicamente estas duas categorias de reservas. A presença de demais categorias e de blocos sem classificação, o que pode ser consequência de um mau comportamento da função benefício e/ou do próprio processo de otimização, embora indesejada, representam, em conjunto, apenas 8,9% da massa total do material contido na cava ótima.

Tabela 5.17 – Inventário de tonelagens e teores médios das reservas lavráveis classificado de acordo com as categorias de reserva (provada, provável e inferida).

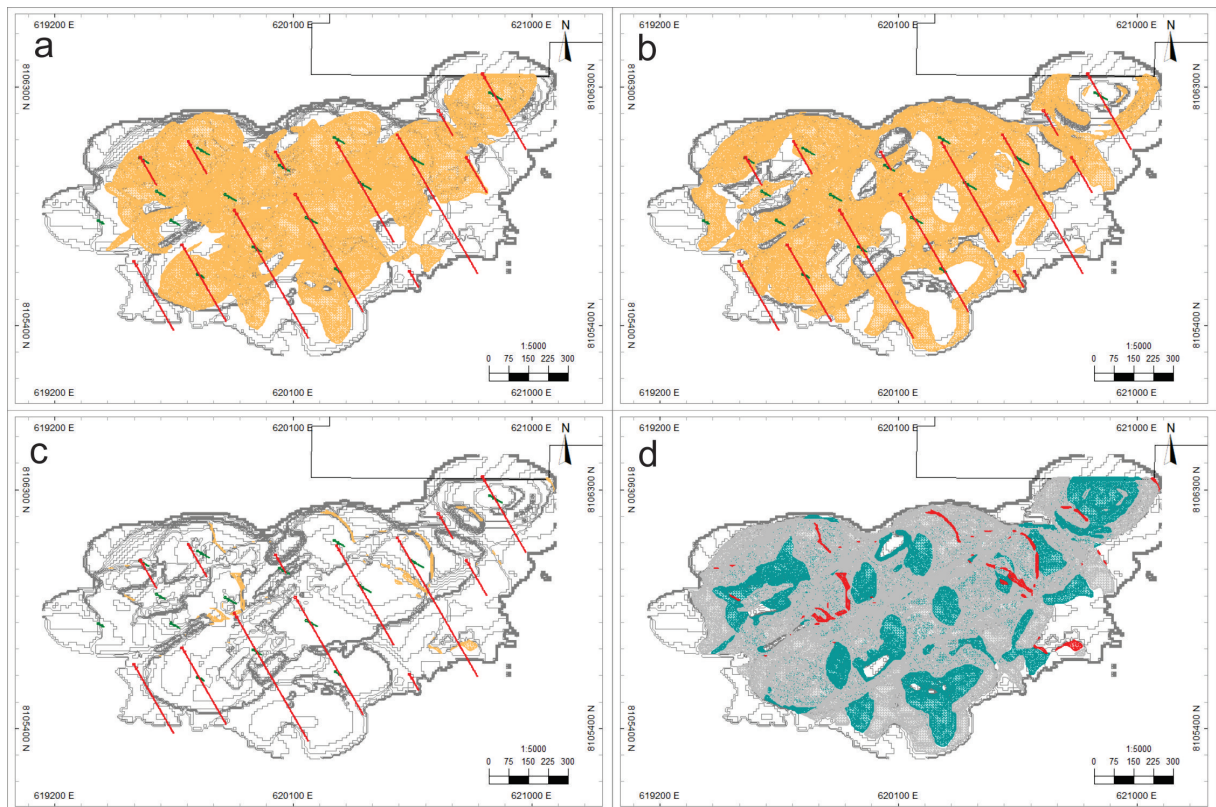
Reserva	Massa (t)	CaO (%)	MgO (%)	CaCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)	PN (%)
Provada	54.971.562,50	42,90	3,50	76,56	7,32	85,40
Provável	44.755.834,39	43,33	3,23	77,33	6,75	85,49
Inferida	521.988,49	39,93	6,25	71,27	13,08	86,92
N/C	9.186.775,05	-	-	-	-	-
Total	109.436.160,43	43,07	3,39	76,88	7,10	85,45

Fonte: O autor (2017)

Analisando-se a posição espacial das categorias de reservas (Figura 5.33), é evidente a presença da classe de Reserva Provada nos locais próximos aos furos de sondagem/canaletas e distantes das bordas da cava, já que nestes locais a disponibilidade de amostras é maior, permitindo, portanto, a obtenção de estimativas com alto grau de confiança, característico desta classe. Já a Reserva Provável está concentrada notadamente nos locais próximos aos contornos da superfície da cava e/ou em locais com pequena quantidade de amostras

(pouca presença de furos de sondagem/canaletas), o que conseqüentemente produz, em teoria, uma estimativa com menor grau de confiança em relação à classe anterior. Já classe Inferida está localizada de forma errática, em locais isolados, representando apenas uma pequena porção das reservas lavráveis.

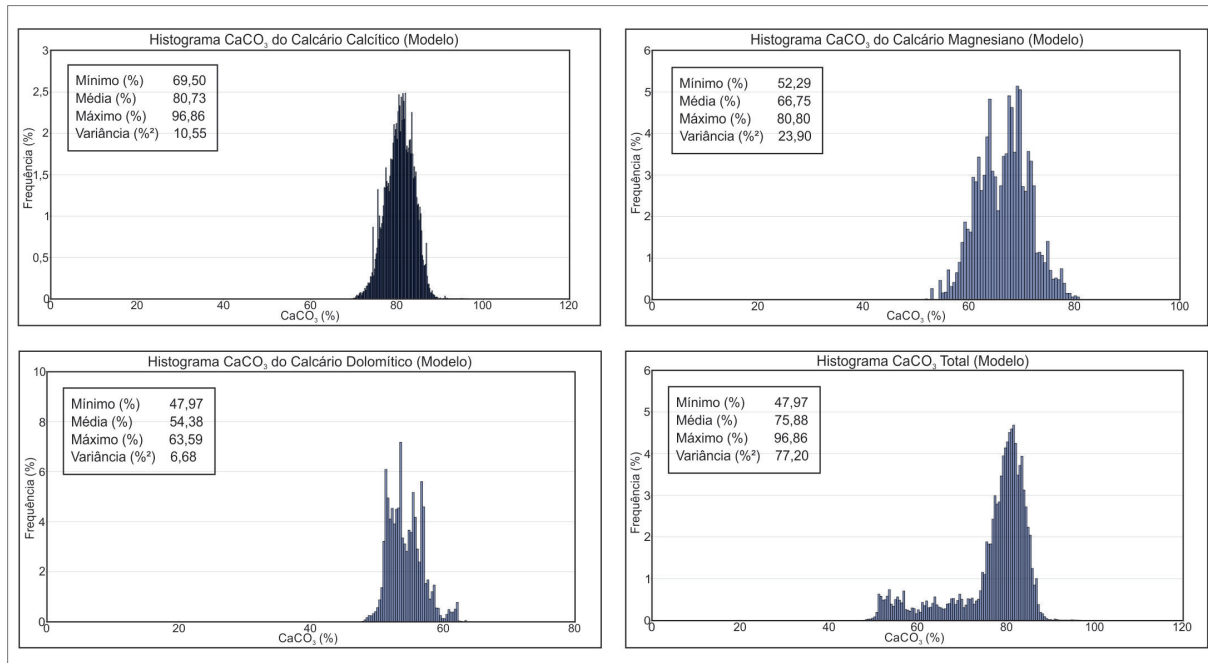
Figura 5.33 – Posição espacial das classes de reservas minerais. a) Provada; b) Provável; c) Inferida; d) união das três classes de reservas (azul = provada, cinza = provável e vermelho = inferida).



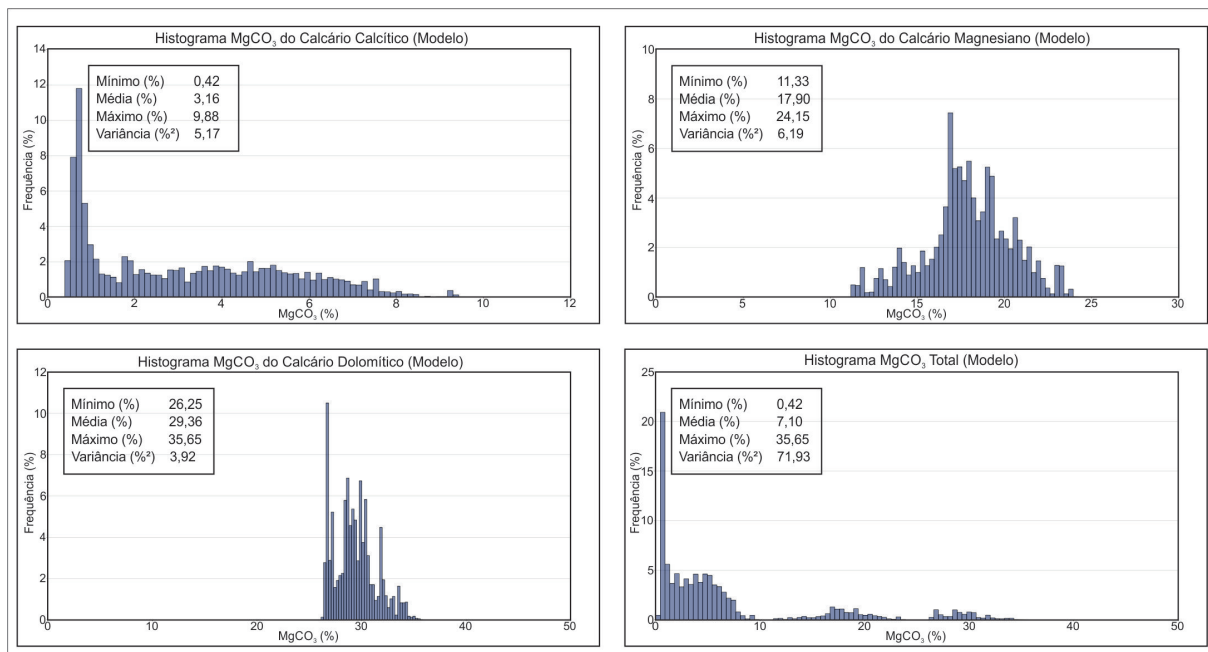
Fonte: O autor (2017)

A análise estatística das variáveis geológicas no modelo das reservas lavráveis mostrou que os teores de CaCO_3 (Figura 5.34) e de MgCO_3 (Figura 5.35) possuem um comportamento similar aos teores de CaO e MgO do modelo econômico, já que são calculados a partir de tais valores, respectivamente.

De acordo com a Figura 5.34 os teores mais elevados de CaCO_3 estão associados ao calcário calcítico, já que este domínio litológico também possui os teores mais elevados CaO . Nos demais domínios litológicos estimados os teores de CaCO_3 são menores, particularmente no domínio do calcário dolomítico. Já a variável MgCO_3 (Figura 5.35) apresentou um comportamento inverso ao observado na variável CaO , atingindo valores da ordem de 35% no domínio do calcário dolomítico e 9,8% no calcário calcítico.

Figura 5.34 – Histogramas e resumo descritivo da variável CaCO_3 classificados por domínio litológico.

Fonte: O autor (2017)

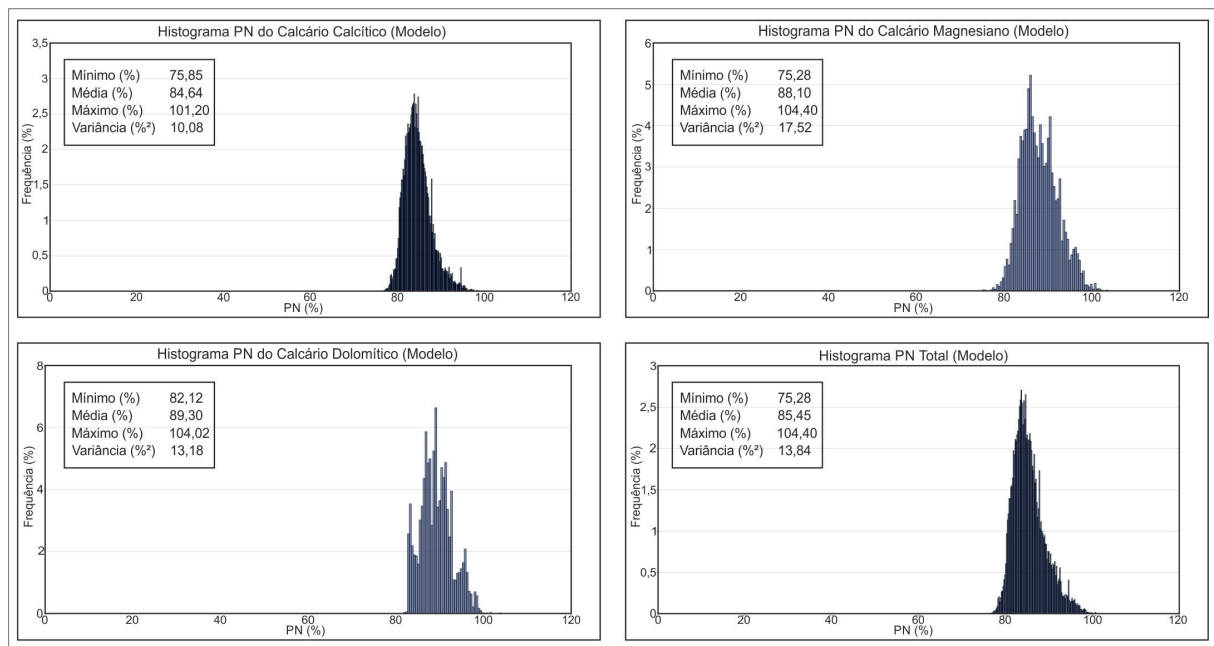
Figura 5.35 – Histogramas e resumo descritivo da variável MgCO_3 classificados por domínio litológico.

Fonte: O autor (2017)

Os resultados estatísticos do Potencial Neutralizador (PN) do calcário (Figura 5.36) mostraram que os maiores valores estiveram associados aos calcários magnesiano e dolomítico, onde este apresentou os maiores valores dessa variável, com uma média de 89,30% e

valor mínimo de 82,12%, enquanto o calcário magnesiano apresentou uma média de 88,10% e um mínimo de 75,28%. Já o calcário calcítico apresentou valores de PN concentrados entre 80% e 90%, com um rápido decaimento das frequências relativas em valores de PN acima de 90%. Tal fato é atribuído à composição mineralógica dos calcários. Enquanto o calcário calcítico é constituído predominantemente por calcita (CaCO_3) os calcários magnesiano e dolomítico possuem uma proporção maior de dolomita ($(\text{Ca, Mg})(\text{CO}_3)_2$), e sabendo-se que o MgO possui um valor equivalente em CaCO_3 maior que o CaO (Eq. 4.6), a dolomita, em relação à calcita, possui uma participação maior no aumento do PN do calcário. Conseqüentemente, o Potencial Neutralizador dos calcários magnesiano e dolomítico, particularmente deste, dado que os maiores valores de MgO estão atribuídos a este domínio, é naturalmente maior que do calcário calcítico.

Figura 5.36 – Histogramas e resumo descritivo do Potencial Neutralizador (PN) classificados por domínio litológico.



Fonte: O autor (2017)

A partir dos resultados estatísticos das variáveis geológicas, particularmente do PN (Figura 5.36), e do inventário de toneladas por domínio litológico (Tabela 5.15), vê-se que, dado à ocorrência expressiva de calcário calcítico na cava ótima, tem-se que o PN da reserva lavrável está concentrado notadamente em valores entre 80% e 90%, reproduzindo o comportamento desta variável no domínio do calcário calcítico, além das participação dos valores dos demais domínios, que possuem valores de PN neste intervalo. Os valores mais elevados de PN, associados a um produto de maior qualidade/mais apropriado para o mercado de calcário agrícola, estão atribuídos aos calcários magnesiano e dolomítico, os quais ocorrem, de acordo com o modelo contido na cava, em pequena quantidade em relação ao calcítico, o que conseqüentemente leva a se considerar o uso do calcário para outros fins,

com exceção do magnesiano e dolomítico, e/ou a realização de uma moagem que produza partículas finas (passante na peneira ABNT n° 50), aumentando o grau de liberação das mesmas, e conseqüentemente a Reatividade do calcário (100%).

Capítulo 6

CONCLUSÕES

Os resultados da modelagem geológica mostraram que houve um deslocamento significativo do modelo em relação à realidade observada (amostras), particularmente nos domínios litológicos com uma quantidade menor de amostras. Tais desvios podem ser consequência da forma como a amostragem foi conduzida (malha muito espaçada e presença de suportes amostrais muito diferentes entre si). Aliado a isto, o fato de que as amostras de calcário calcítico ocorrem em uma quantidade muito maior em relação aos demais domínios, contribui para o aumento dos desvios, principalmente naqueles domínios caracterizados por possuírem uma pequena quantidade de amostras (MAG, DOL, CLI e VMV), o que pode explicar a ocorrência dos maiores desvios nestes domínios.

A modelagem geológica por abordagem geoestatística evidenciou a ocorrência de valores elevados de incertezas, da ordem de 60%, mesmo na área de extração atual, o que eventualmente é consequência do espaçamento amostral e quantidade de amostras coletadas. Os níveis elevados de incerteza explicam os desvios observados entre o modelo e a realidade, já que a aderência entre os mesmos tende a ser menor quanto maior for o espaçamento entre as amostras.

As estimativas dos teores de CaO e MgO em cada categoria litológica de rocha calcária apresentou estatísticas compatíveis com os respectivos dados amostrais, já que a média e a variância dos modelos estimados estiveram contidas nos limites inferior e superior dos intervalos de confiança, com uma diminuição da variância do modelo em relação à variância amostral devido ao efeito de suavização do próprio processo de estimativa por krigagem. Entretanto, notou-se a ocorrência de sobrestimativas (CaO) e de subestimativas (MgO), esta muito pronunciada.

Os mapas de ocorrência dos desvios (sobrestimativa e subestimativa) mostraram que as respectivas áreas (em X e Y) para os óxidos CaO e MgO são coincidentes, ou seja, as áreas de ocorrência de sobrestimativa para o óxido CaO, em cada direção, são basicamente as mesmas onde há ocorrência de subestimativa para o MgO. Tal comportamento reforça a

tese de que há problemas na amostragem, particularmente no que tange ao espaçamento da malha de amostragem e à presença de amostras com suportes muito diferentes (furos de sondagem e canaletas). Portanto, recomenda-se que sejam realizadas coletas de amostras adicionais em uma malha com menor espaçamento entre amostras que a atual, com a obtenção destas somente a partir de furos de sondagem rotativa e com comprimentos amostrais (suportes) padronizados.

A superfície ótima de extração (cava ótima) obtida pelo processo de otimização (maximização) do VPL por Lerchs-Grossmann resultou em uma cava com massa total de aproximadamente 109,44 milhões de toneladas, sendo, destas, 96,91 milhões de toneladas atribuídas ao minério e 12,53 milhões de toneladas ao estéril, o que indica, a princípio, um elevado potencial para a lavra, particularmente pela baixa relação estéril-minério total (0,13), devendo-se subsequentemente realizar os devidos estudos econômicos associados a tal reserva.

Adicionalmente aos resultados obtidos quanto à superfície ótima de extração, foi observado que os valores de PN, os quais são importantes indicadores de qualidade do calcário agrícola, apresentaram valores concentrados entre 80% e 90%, consequência da presença expressiva do calcário calcítico conforme previsto no modelo, o qual representaria 73,9% da massa total contida na cava ótima. Portanto, pode-se eventualmente considerar o uso deste calcário (calcítico) para outras finalidades, o que faz com que seja importante e até necessário o conhecimento de outras variáveis químicas tais como Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , etc. Tais informações, além de permitirem uma classificação geológica mais bem fundamentada, a partir de critérios mineralógicos e não puramente químicos, proporcionariam um controle mais rígido dos produtos.

A partir dos resultados obtidos vê-se que os objetivos do trabalho foram cumpridos, visto que foi possível, por métodos geoestatísticos, notadamente consagrados como mais confiáveis que os métodos tradicionais de modelagem geológica e de estimativas, avaliar a situação atual e indicar melhorias à empresa a fim de tornar tal modelo cada vez mais compatível com a realidade. Além disso, como estipulado previamente como o resultado final deste trabalho, foi possível obter a superfície ótima de extração, fornecendo subsídios para um futuro planejamento da extração, este baseado na maximização do VPL do empreendimento. Importante constatar ainda que refinamentos e ajustes devem ser conduzidos, notadamente com o acréscimo de informações geológicas ao banco de dados.

Dado as evidências de erros de estimativas ocasionados pela configuração da atual malha de amostragem (espaçamento entre amostras e diferenças de suporte), a inclusão de novas informações amostrais, com suportes o mais padronizados possível, aumentará a qualidade do modelo geológico, e, portanto, resultará em uma melhor reconciliação (comparação entre planejado e realizado) durante a extração (lavra).

Pretende-se em trabalhos futuros verificar a capacidade da kriagem indicadora em prever a ocorrência de estruturas geológicas, particularmente falhas, e realizar estudos com o propósito de estipular potenciais locais para coleta de amostras, o que servirá de suporte para tal atividade.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, H. *Optimum Ultimate Pit Limit (UPL) Design by Graph Theory*. Tese (Doutorado) — Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 53.

ABDELSALAM, M. G.; LIÉGEOIS, J. P.; STERN, R. J. The saharan metacraton. *Journal of African Earth Sciences*, v. 34, p. 119–136, 2002. Citado na página 81.

ACKROYD, B.; GUZMAN, C.; ALEXANDER, R. *Feasibility Study (FS) - Santana Phosphate Project, Pará State, Brazil*. [S.l.], 2013. Citado na página 54.

ADIBI, N.; ATAEE-POUR, M.; RAHMANPOUR, M. Integration of sustainable development concepts in open pit mine design. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 1037–1049, ago. 2015. Citado na página 49.

AKBARI, A. D.; OSANLOO, M.; SHIRAZI, M. A. Determination of ultimate pit limits in open mines using real option approach. *IUST International Journal of Engineering Science*, v. 19, n. 5-1, p. 23–38, 2008. Citado na página 27.

AMANKWAH, H. *Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining*. Dissertação (mathesis) — Linköping University, Linköping, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 53.

AÇÃO SONDAGENS LTDA. *Sondagem Rotativa*. 2013. Disponível em: <<<http://www.acaoengenharia.com.br/o-que-fazemos/sondagem-rotativa/>>>. Citado na página 36.

ARAÚJO, C. E. G. de *et al.* Tracing neoproterozoic subduction in the borborema province (ne-brazil): Clues from u-pb geochronology and sr-nd-hf-o isotopes on granitoids and migmatites. *Lithos*, v. 202-203, p. 167–189, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 81 e 82.

ARAÚJO, V. A. *et al.* *Projeto Pontalina - Fase 1*. Goiânia, 1980. Citado na página 80.

ASAD, M. W. A.; QURESHI, M. A.; JANG, H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations. *Resources Policy*, v. 49, p. 142–152, maio 2016. Citado na página 50.

BAILLY, P. A.; STILL, A. R. Exploration for mineral deposits – purpose, procedures, methods, management. In: _____. New York: SME-AIME, 1973. (SME Mining Engineering Handbook), cap. 5.2, p. 5.2–5.12. Citado na página 32.

- BARBOSA, P. A. R. *Geologia e Recursos Minerais das Sequências Supracrustais a Leste de Mossâmedes-GO*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, 1987. Citado na página 79.
- BARNES, M. P. Drill-hole interpolation: Estimating mineral inventory. In: _____. [S.l.]: SME-AIME, 1979. (Open Pit Mine Planning and Design), p. 65–80. Citado na página 60.
- BESSA JÚNIOR, E. C. *Plano de Aproveitamento Econômico*. Belo Horizonte, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 102, 104 e 105.
- BORGES, F. R. *et al.* Recursos minerais e metalogenia. In: _____. Goiânia: CPRM, 1999. (Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal), cap. 6, p. 102–151. Citado na página 79.
- BRASIL. *Instrução Normativa N° 35*. Brasília, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 74, 75 e 106.
- DNPM (Ed.). *Anuário Mineral Brasileiro*. 2010. (Anuário Mineral Brasileiro, v. 35). Citado 3 vezes nas páginas 16, 75 e 76.
- CACCETTA, L.; GIANNINI, L. M. An application of discrete mathematics in the design of an open pit mine. *Discrete Applied Mathematics*, v. 21, n. 1, p. 1–19, set. 1988. Citado na página 51.
- CALCAGNO, P. *et al.* Geological modelling from field data and geological knowledge part i. modelling method coupling 3d potential-field interpolation and geological rules. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 171, p. 147–157, jun. 2008. Citado na página 39.
- CARMO, F. A. R. do; CURI, A.; SOUZA, W. T. de. Otimização econômica de explorações a céu aberto. *Revista da Escola de Minas*, v. 59, n. 3, p. 317–321, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 51.
- CARVALHAES, C. *et al.* *Desempenho do Setor Mineral - Goiás e Distrito Federal*. [S.l.], 2015. Citado na página 77.
- CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012. Citado 2 vezes nas páginas 64 e 67.
- CIM. *CIM Definition Standards for Mineral Resources and Mineral Reserves*. [S.l.], 2014. Citado na página 45.
- CORDANI, U. G. *et al.* The significance of the transbrasiliiano-kandi tectonic corridor for the amalgamation of west gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, n. 3, p. 583–597, set. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 81.
- CRAWFORD, J. T.; DAVEY, R. K. Case study in open pit limit analysis. In: _____. [S.l.]: SME-AIME, 1979. (Computer Methods for the 80's in the Mineral Industry), p. 310–318. Citado na página 42.
- CRESSIE, N. Fitting variogram models by weighted least squares. *Mathematical Geology*, v. 17, n. 5, p. 563–586, 1985. Citado na página 62.
- DAGDELEN, K. Open pit optimization - strategies for improving economics of mining projects through mine planning. In: CONGRESS, . I. M.; (IMCET2001), E. of T. (Ed.). *17° International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET2001)*. [S.l.: s.n.], 2001. Citado na página 48.

- DAYA, A. A. Application of median indicator kriging in the analysis of an iron mineralization. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 8, n. 1, p. 367–377, jan. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 71.
- DNPM. *Sumário Mineral*. 2011. (Sumário Mineral, v. 31). Citado 2 vezes nas páginas 102 e 103.
- _____. _____. 2012. (Sumário Mineral, v. 32). Citado 2 vezes nas páginas 102 e 103.
- _____. _____. 2013. (Sumário Mineral, v. 33). Citado 3 vezes nas páginas 77, 102 e 103.
- _____. _____. 2014. (Sumário Mineral, v. 34). Citado 3 vezes nas páginas 77, 102 e 103.
- _____. _____. 2015. (Sumário Mineral, v. 35). Citado 4 vezes nas páginas 77, 78, 102 e 103.
- DUKE, J. H.; HANNA, P. J. Geological interpretation for resource modelling and estimation. In: _____. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001. (Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice), cap. 3.6, p. 147–156. Citado na página 42.
- EMERY, X.; GONZÁLEZ, K. E. Probabilistic modelling of lithological domains and its application to resource evaluation. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 107, n. 12, p. 803–809, dez. 2007. Citado 4 vezes nas páginas 28, 42, 70 e 71.
- EMERY, X.; ORTIZ, J. M. Estimation of mineral resources using grade domains: critical analysis and a suggested methodology. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 105, p. 247–256, abr. 2005. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 42.
- ERICKSON JÚNIOR, A. J. Geologic data collection and recording. In: _____. 2. ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1992. (SME Mining Engineering Handbook, v. 1), cap. 5.2, p. 288–313. Citado na página 27.
- FLORES, B. A.; CABRAL, I. E. Análise de sensibilidade na otimização econômica de uma cava. *Revista da Escola de Minas*, v. 61, n. 4, p. 449–454, 2008. Citado na página 51.
- FUMES, R. A. *Caracterização Petrográfica, Estrutural e Metamórfica das Rochas da Região de Indiara (GO)*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014. Citado na página 80.
- GLACKEN, I. M.; SNOWDEN, D. V. Mineral resource estimation. In: _____. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001. (Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice), cap. 4.1, p. 189–198. Citado na página 44.
- HALDAR, S. K. *Mineral Exploration Principles and Applications*. Republic of China: Elsevier, 2013. Citado 7 vezes nas páginas 31, 33, 34, 35, 39, 40 e 41.
- HASUI, Y. Sistema orogênico tocantins. In: _____. São Paulo: Beca, 2012. (Geologia do Brasil), cap. 14a, p. 289–325. Citado na página 79.
- HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. Orebody description. In: _____. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. (Open Pit Mine Planning & Design, v. 1), cap. 3, p. 186–289. Citado 8 vezes nas páginas 35, 39, 42, 43, 45, 48, 52 e 60.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. Citado 4 vezes nas páginas 62, 63, 66 e 68.

- JORC. *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code)*. [S.l.], 2012. Citado 3 vezes nas páginas 45, 46 e 47.
- KITANIDIS, P. K. *Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 65 e 66.
- LACY, W. C. Introduction. In: _____. 2. ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1992. (SME Mining Engineering Handbook, v. 1), cap. 4, p. 205–209. Citado na página 32.
- LAMGHARI, A.; DIMITRAKOPOULOS, R. A diversified tabu search approach for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty. *European Journal of Operational Research*, v. 222, p. 642–652, maio 2012. Citado na página 49.
- LAURENT, M.; PLACET, J.; SHARP, W. Optimum design of open-pit mines. *Gecamines Report*, 1977. Citado na página 52.
- LAUX, J. H. *Evolução do Arco Magmático de Goiás com base em dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd*. Tese (phdthesis) — Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 79 e 80.
- LAUX, J. H.; PIMENTEL, M. M.; DANTAS, E. L. Preliminary nd isotopic data for the anicuns-itaberaí sequence, associated orthogneisses, and granite intrusions, goiás, brazil. In: *South American Symposium on Isotope Geology*. Pucon, Chile: [s.n.], 2001. p. 79–82. Citado na página 79.
- LAUX, J. H. *et al.* O arco magmático de goiás na região de anicuns: Novos dados de sm-nd e u-pb. In: *SBG*. João Pessoa: [s.n.], 2002. (Congresso Brasileiro de Geologia, v. 41), p. 496. Citado na página 79.
- _____. Two neoproterozoic crustal accretion events in the brasília belt, central brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 18, p. 183–198, 2005. Citado na página 80.
- _____. The anicuns-itaberaí volcano-sedimentary sequence, goiás magmatic arc: new geochemical and nd-s isotopic data. *Geochimica Brasiliensis*, v. 24, p. 13–28, 2010. Citado na página 79.
- LEMON, A. M.; JONES, N. L. Building solid models from boreholes and user-defined cross-sections. *Computers & Geosciences*, v. 29, p. 547–555, 2003. Citado na página 40.
- LERCHS, H.; GROSSMANN, L. F. Optimum design of open pit mines. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, LXVIII, p. 17–24, 1965. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 52.
- MACHADO, F. B. *Calcário*. 2016. Disponível em: <<<http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/sedimentares/calcarios.html>>>. Citado 6 vezes nas páginas 73, 74, 87, 88, 90 e 91.
- MARCOTTE, D.; CARON, J. Ultimate open pit stochastic optimization. *Computers & Geosciences*, v. 51, p. 238–246, fev. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 27, 50 e 51.
- MARJORIBANKS, R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. 2. ed. Berlim: Springer, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 31, 33 e 34.
- MARTINS JÚNIOR, F. L. Calcário agrícola. In: DNPM (Ed.). *Sumário Mineral*. [S.l.]: DNPM, 2015, (Sumário Mineral, v. 35). cap. Calcário Agrícola, p. 38–39. Citado na página 77.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, v. 58, p. 1246–1266, 1963. Citado 6 vezes nas páginas 45, 54, 55, 56, 65 e 66.

_____. *The Theory of Regionalized Variables and its Applications*. Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971. v. 5. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, v. 5). Citado 8 vezes nas páginas 28, 54, 55, 56, 57, 58, 66 e 67.

MOON, C. J.; WHATELEY, M. K. G. Reconnaissance exploration. In: _____. 2. ed. India: Blackwell Publishing, 2006. (Introduction to Mineral Exploration), cap. 4, p. 52–69. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 32.

NAVARRO, G. R. B. *et al.* Petrografia e geoquímica das rochas metamáficas intercaladas em gnaisses do arco magmático de goiás na região de indiará (go). *Revista do Instituto de Geociências – USP Série Científica*, v. 15, n. 1, p. 29–44, mar. 2015. Citado na página 79.

NETO, M. T. d. O. C.; ROCHA, A. M. R. d. Sondagem geológica. In: _____. Natal: Editora do IFRN, 2010. (Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração), cap. 7, p. 197–234. Citado na página 34.

ORTIZ, J. M.; EMERY, X. Geostatistical estimation of mineral resources with soft geological boundaries: a comparative study. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 106, n. 8, p. 577–584, ago. 2006. Citado na página 41.

PATTERSON, J. A. Estimating ore reserves follows logical steps. *Engineering and Mining Journal*, v. 160, p. 111–115, set. 1959. Citado na página 44.

PICARD, J. C.; SMITH, B. T. Parametric maximum flows and the calculation of optimal intermediate contours in open pit mine design. *Information Systems and Operational Research*, v. 42, n. 2, p. 143–153, 2004. Citado na página 50.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the neoproterozoic Brasília belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, n. 1, p. 67–82, jun. 2016. Citado na página 80.

PIMENTEL, M. M. *et al.* The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. In: CORDANI, U. G. *et al.* (Ed.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 2000. p. 195–229. Citado 3 vezes nas páginas 79, 80 e 81.

RAO, V. K.; NARAYANA, A. C. Application of nonlinear geostatistical indicator kriging in lithological categorization of an iron ore deposit. *Current Science*, v. 108, n. 3, p. 413–421, fev. 2015. Citado na página 70.

ROSSI, M. E.; DEUTSCH, C. V. *Mineral Resource Estimation*. Dordrecht: Springer, 2014. Citado 22 vezes nas páginas 28, 32, 33, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 67, 68, 70 e 71.

SAD, J. H. G. *et al.* *Guia Prático para Cálculo de Recursos e Reservas Minerais*. 2003. Disponível em: <<http://www.geologo.com.br/JORC.ASP>>. Citado na página 46.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, L. M. de. Calcário e dolomito. In: _____. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. (Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações), cap. 16, p. 363–388. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.

- SATTARVAND, J. *Long-Term Open-Pit Planning by Ant Colony Optimization*. Tese (phdthesis) — RWTH Aachen University, Germany, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 53.
- SELLEY, R. C. *Applied Sedimentology*. 2. ed. [S.l.]: Elsevier, 2000. Citado na página 73.
- _____. Sedimentary rocks: Mineralogy and classification. In: _____. [S.l.]: Elsevier, 2005. (Encyclopedia of Geology, IV), p. 25–37. Citado na página 72.
- SILVA, J. O. da. *Produto RT 38: Perfil do Calcário*. [S.l.], 2009. Citado 3 vezes nas páginas 73, 74 e 77.
- SINCLAIR, A. J.; BLACKWELL, G. H. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Citado 16 vezes nas páginas 33, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 55, 56, 59, 61, 62, 67, 70 e 71.
- SME. *The SME Guide for Reporting Exploration Results, Mineral Resources, and Mineral Reserves (The 2014 SME Guide)*. Englewood, 2014. Citado na página 45.
- SOARES, A. *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 63.
- SOUZA, L. E. de. *Estimativa de incertezas e sua aplicação na classificação de recursos minerais*. Dissertação (mathesis) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 45.
- SOUZA, L. E. de; COSTA, J. F. C. L. Sample weighted variograms on the sequential indicator simulation of coal deposits. *International Journal of Coal Geology*, v. 112, p. 154–163, 2013. Citado na página 70.
- TOMÁS, M. R. *Dossiê Técnico: Cal e Calcário*. [S.l.], 2007. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.
- WHATELEY, M. K. G.; SCOTT, B. C. Evaluation techniques. In: _____. 2. ed. India: Blackwell Publishing, 2006. (Introduction to Mineral Exploration), cap. 10, p. 199–252. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.
- XU, X. *et al.* Ultimate pit optimization with ecological cost for open pit metal mines. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, v. 24, p. 1531–1537, 2014. Citado na página 51.
- YAMAMOTO, J. K. *Comparação de Métodos Computacionais para Avaliação de Reservas: Um Estudo de Caso na Jazida de Cobre de Chapada, GO*. Tese (Doutorado) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. Citado 3 vezes nas páginas 55, 56 e 58.
- YAMAMOTO, J. K. *Avaliação e classificação de reservas minerais*. São Paulo: Edusp, 2001. Citado 7 vezes nas páginas 45, 58, 59, 60, 61, 62 e 63.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: Conceitos e Aplicações*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 43, 54 e 69.
- YAMAMOTO, J. K. *et al.* Post-processing of sequential indicator simulation realizations for modeling geologic bodies. *Computers & Geosciences*, v. 19, p. 257–266, 2015. Citado na página 71.

____. Mapping an uncertainty zone between interpolated types of a categorical variable. *Computers & Geosciences*, v. 40, p. 146–152, 2012. Citado na página [71](#).

