

Estudo do campo magnético terrestre em função dos diferentes materiais geológicos da região de Santa Maria (RS-Brasil)

João Eduardo da Silva Pereira¹, Adelir José Strieder², José Luiz Silvério da Silva³, Carlos Alberto da Fonseca Pires⁴

¹Doutorando pelo PPGEM/UFRGS, Prof., Adj., Dep. Estatística, CCNE/ UFSM
e-mail: jesp61@gmail.com

²Prof. Adj. Laboratório de Modelagem Geológica e Ambiental (MODELAGE), EE/UFRGS

³Prof. Associado Dep. Geociências, Laboratório de Hidrogeologia CCNE/ UFSM
e-mail: silverio@smail.ufsm.br

⁴Prof. Adj. Dep. Geociências, Laboratório de Hidrogeologia CCNE/UFSM

Resumo

O presente trabalho foi realizado na região de Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul, extremo Sul do Brasil. Com o objetivo de avaliar o comportamento do campo magnético total, em função dos diferentes materiais geológicos da região e do comportamento espacial em função das coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM). Foi utilizado o suporte computacional *Statistica 7.1*, licenciado para o departamento de estatística da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para analisar os dados magnetométricos, oriundos do projeto Camaquã Área 1 do Serviço Geológico do Brasil/CPRM (1972) associados a distintos agrupamentos de rochas sedimentares, pertencentes à Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Nessas formações encontram-se também rochas vulcânicas (básicas e ácidas) pertencentes à Formação Serra Geral. A área do estudo situa-se na borda sul da Bacia do Paraná. Dentro desse contexto, foi possível definir-se valores característicos de média, erro padrão e intervalos de confiança, em cada uma das formações geológicas estudadas. Através do Teste de Tuckey concluiu-se que a Formação Rio do Rasto não apresenta diferença significativa apenas no contraste com a média da Formação Botucatu. As médias dos Depósitos Aluvionares atuais e Grupo Rosário do Sul não diferem da média da zona urbana; porém, diferem entre si. A média da Formação Serra Geral β_1 (básicas) difere da média da Formação Botucatu. Nesse contexto foi possível definir valores ca-

racterísticos e intervalos de confiança para o campo magnético em função das formações geológicas. O comportamento da variável magnetometria, quando analisada em relação as coordenadas geográficas, apresentou uma dependência espacial que mostra um gradiente regional em direção Norte, onde estava localizado o baixo magnético terrestre.

Palavras-chave: Estatística Aplicada, magnetometria

Abstract

The present work was prepared in Santa Maria region, southern Brazil, *Rio Grande do Sul* State. It presents one study to evaluate the behavior of magnetic field in function of different geologic rocks present in the region and their spatial behavior in function of the Universal Transverse Mercator coordinates system (UTM). With the employ of software Statistica 7.1 were analyzed the data set of original work executed by Geological Survey of Brazil/*Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais* named *Camaquã* Project. Where were tested the relationship with sedimentary formations belonged to *Depressão Central do Rio Grande do Sul* and/or volcanic rocks belonged to *Planalto da Serra Geral* at *Paraná* Basin border and uranium concentration. The statistics estimated were: the mean, the standard error, and the trust limits for each kind of geological units. In order to compare the mean values was used the Tukey's Test. The results were able to conclude that the Rio do Rasto Formation don't show significant difference only in the mean contrast with the *Botucatu* Formation. The means of the *Depósitos Aluvionares* and *Grupo Rosário do Sul* don't show significant difference in contrast with to urban zone mean, but are different between then. The mean of *Serra Geral* Formation was different of the *Botucatu* Formation mean. Inside this context was possible to define characteristic values from magnetic field and their trust ranges in function to geologic units. The magnetic field when evaluated in relation to geographic coordinates using one Geographic Information System presented a regional gradient to north, where is located the low magnetic of Earth.

Keywords: Applied Statistic, magnetometry

1. Introdução

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, por meio do Projeto AERO (CPRM, 2006), promoveu a transformação dos dados dos levantamentos geofísicos mais antigos do Brasil (desde 1952) do padrão analógico para o digital. O processamento e utilização desses dados no formato digital têm permitido novas linhas de investigação, tanto pelos pro-

fissionais de geofísica da própria CPRM, quanto por instituições de pesquisa brasileiras. Ao mesmo tempo, novas técnicas de processamento e de análise estão sendo empregadas e desenvolvidas. Os levantamentos aerogeofísicos brasileiros, em sua maioria, utilizaram e utilizam os métodos gamaespectrométricos e magnetométricos (ver: <http://www.cprm.gov.br>).

Os dados obtidos por levantamentos magnetométricos têm sido utilizados intensamente em pesquisa mineral (Quadros, 2000; Quadros *et al.*, 2006). Para o caso dos dados de magnetometria, cujos resultados brutos representam a interação do campo potencial (magnético) terrestre com o campo potencial das rochas que compõem a crosta, uma série de informações pode ser extraída a partir da aplicação de distintas técnicas de processamento. A avaliação conjunta das informações derivadas do processamento desse tipo de dados potenciais pode ser feita por meio de processos de integração de dados (p.ex.: Boham-Carter, 1996; Quadros, 2000; Sirotinskaya & Strieder, 2006 a e b) para as mais distintas finalidades: pesquisa mineral, mapeamento geológico, meio ambiente, etc..

As técnicas matemáticas ligadas à análise estatística têm tido uma larga aplicação nas Geociências (p.ex.: Albarède, 1995; Goovaerts, 1997; Deutsch, 2002; Andriotti, 1999, 2004). O potencial das técnicas estatísticas aplicadas aos dados aerogeofísicos, porém, ainda está em investigação, principalmente para a discriminação de unidades geológicas para efeitos de mapeamento geológico.

O presente estudo tem por objetivo analisar o comportamento espacial da intensidade magnética total na região de Santa Maria (RS) a partir dos dados do levantamento aerogeofísico Projeto Camaquã (Área I, Projeto 1010), adquiridos em 1972. A partir desta análise, pretende-se testar estatisticamente a possibilidade de discriminar as diferentes formações geológicas presentes em parte da Folha Santa Maria (RS) e avaliar o potencial das ferramentas estatísticas estimarem a continuidade das unidades geológicas na extremidade NW da área, a qual não foi mapeada pela CPRM (1998).

Estudos prévios da composição geológica das litologias aflorantes e de subsuperfície na região de Santa Maria podem ser observadas em Gamerman (1979), Maciel Filho *et al.* (1990 a, b), Silvério da Silva (1997), CPRM (1995 e 1998), Silvério da Silva e Menegotto (2002, 2005), Menegotto (2005), Strieder & Heeman (2006), Silvério da Silva *et al.* (2006).

Pereira (2007) e Pereira *et al.* (2007 a, b) vem realizando uma série de estudos buscando encontrar relações numéricas multivariadas e espaciais entre os resultados geofísicos obtidos pela CPRM (1972) com os materiais geológicos aflorantes na região de Santa Maria. Seus estudos tratam de concentrações de Potássio, Urânio, Tório, contagem total e ainda, neste artigo, da magnetometria.

2. Caracterização da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de cunho quantitativo. Segundo Triviños, (1987), as pesquisas de natureza quantitativa demonstram a intenção de garantir a precisão dos resultados, evitando distorções de análise e de interpretação. Elas possibilitam, em consequência, uma margem de segurança quanto às interferências (Richardson, 1996). O estudo quantitativo, no entanto, pode gerar questões para serem aprofundadas qualitativamente, e vice-versa.

Os dados utilizados neste estudo são partes do Projeto Camaquã (1010, Área I) executado pela CPRM em 1972. A Divisão de Geofísica (DIGEOF/DEGEO) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais digitalizou, em 1997, os dados magnéticos e gamaespectrométricos do projeto a partir das listagens de computador, bem como as coordenadas geográficas (UTM) das fiduciais dos perfis, de forma a compor o “arquivo de dados XYZ” do projeto.

A Figura 1 mostra a localização da Folha de Santa Maria (SH-22-V-C), situada entre as coordenadas de vértices 29°00' e 30°00' de latitude Sul e 54°00' e 52°00' de longitude Oeste do Meridiano de Greenwich. A Figura 2 mostra o mapa geológico da região de abrangência do estudo, com destaque para as formações geológicas e descritas na Tabela 1 (CPRM, 1998).

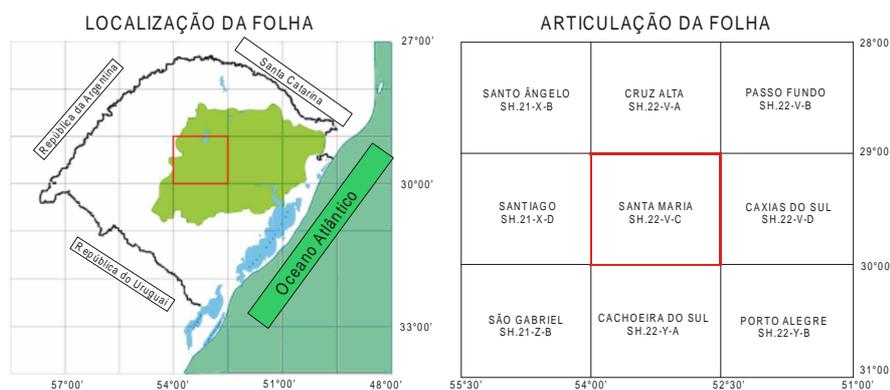


Figura 1. Localização da região de estudo na articulação de folhas em escala 1:250.000 (CPRM, 1998).

O mapa geológico da Folha Santa Maria (RS) apresentado na Figura 2 está sobreposto por linhas pontilhadas que representam as linhas de vôo do aerolevante geofísico (Projeto Camaquã, Área I, 1972). Os parâmetros deste levantamento aerogeofísico (Tabela 2) podem ser encontrados *on-line*.

Linhas de vôo

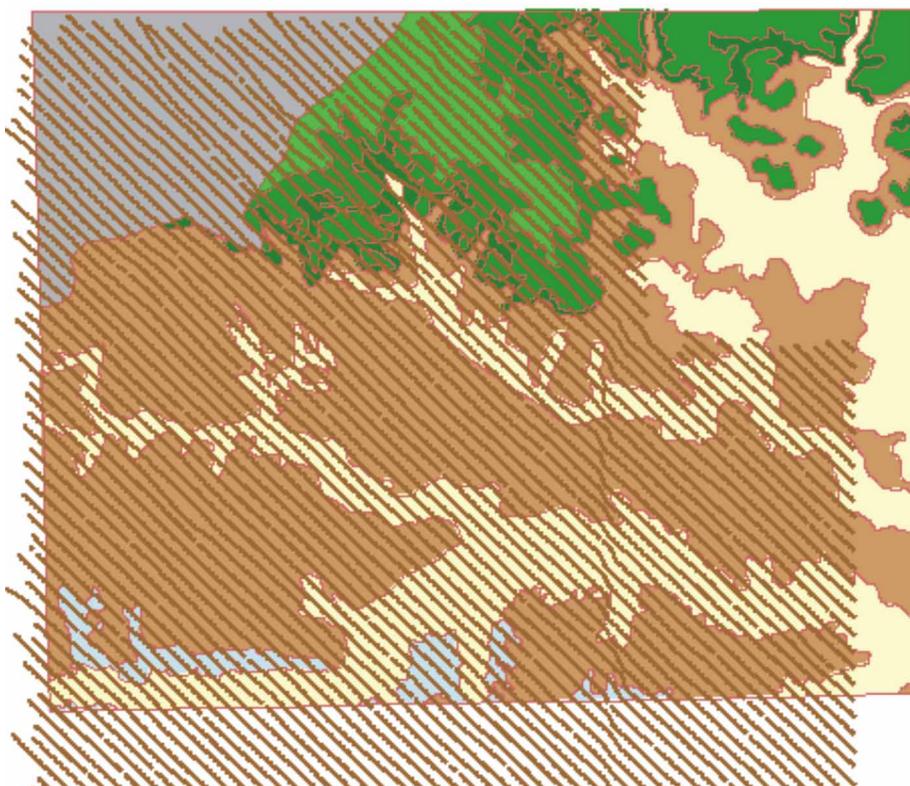


Figura 2. Mapa geológico da região de abrangência do estudo na Folha Santa Maria (1:250.000). Referência: UTM Datum Horizontal SAD-69 MG.
Fonte: Brasil- CPRM (1998).

Tabela 1. Coluna estratigráfica simplificada da área de estudo (Brasil CPRM, 1998).

Cor	Código	Origem	Composição
Branco	Qf4	Cenozóico, Quaternário	Depósitos aluvionares atuais – cascalhos, areias grossas e finas e sedimentos siltico-argilosos, inconsolidados que preenchem calhas de rios e suas planícies de inundação.
Verde Claro	Ksg α_1	Mesozóico, Cretáceo	Formação Serra Geral – predomínio de vulcânicas ácidas do tipo Palmas/Caxias (α_1).
Verde Médio	Ksg β_1	Mesozóico, Cretáceo	Formação Serra Geral – basaltos tipo Gramado (β_1), intercalados na base com arenitos eólicos intertraps.
Verde Escuro	JKb	Mesozóico, Jurássico	Formação Botucatu – arenitos finos a médios, róseo-avermelhados, bem selecionados, bimodais, com estratificações cruzadas tangencial e plano-paralela de médio à grande porte.
Marrom	Rrs	Mesozóico, Triássico	Grupo Rosário do Sul – arenitos arcossianos, siltitos e lamitos, com níveis de conglomerados intraformacionais, preservados como blocos abatidos em estruturas do tipo graben, arenitos avermelhados finos a médios com estratificações; paralela e cruzada acanalada.
Azul	Prr	Paleozóico, Permiano	Formação Rio do Rasto – arenitos finos, bem selecionados, lenticulares, argilitos e siltitos esverdeados, bordos ou avermelhados, com laminações paralela e cruzada acanalada.
	Zu		Zona urbana

Tabela 2. Principais parâmetros do Projeto Camaquã, Área I (Projeto AERO 1010).

Parâmetros	Unidades
Intervalo de Amostragem	1 segundo
Altura de voo	150 metros
Direção e espaçamento das linhas de voo (LV)	NW-SE, 1 km
Direção e espaçamento das linhas de controle (LC)	NE-SW, 18 km
Tempo de Integração Gama	2 segundos
Cristais de Iodeto de Sódio (NaI), (TI)	2491,59 polegadas cúbicas

3. Estudo descritivo estatístico da variável magnetometria

A partir da superposição dos pontos amostrais (em linhas de voo) sobre o mapa geológico (Figura 2), os dados de intensidade magnética total foram separados por unidade geológica (Tabela 3). Os pontos amostrais localizados junto aos contatos entre as unidades geológicas do mapa da CPRM (1998) foram eliminados do arquivo de forma a minimizar os efeitos de borda e permitir uma avaliação mais apropriada dos parâmetros estatísticos da variável em cada unidade. Deve ficar claro, no entanto, que os dados de intensidade magnética total são dados de campo potencial e que,

portanto, há influência da magnetização das unidades geológicas subjacentes sobre os resultados medidos sobre unidades superiores da coluna estratigráfica. Apesar disso, como se poderá verificar, o estudo estatístico conduzido para a área de investigação demonstra o seu potencial.

A Tabela 3 apresenta a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança para média da intensidade magnética total (variável Magnetometria) em cada uma das formações geológicas presentes na região de estudo. A variável Magnetometria tem um comportamento bastante homogêneo, apresentando um coeficiente de variação de 0,26% em torno da média (Tabela 3). A sua distribuição é levemente assimétrica à esquerda, como pode ser evidenciado pelo valor do coeficiente de assimetria levemente negativo (-0,18); além disso, apresenta um perfil mesocúrtico, coeficiente de curtose de 1,17 (Tabela 3). A distribuição de freqüências desta variável pode ser visualizada na Figura 3. A Figura 4 mostra a dispersão das médias da variável Magnetometria para as diferentes formações geológicas e para a zona urbana de Santa Maria (RS).

Tabela 3. Medidas descritivas da Variável Magnetometria para as diferentes formações geológicas e para a zona urbana de Santa Maria (RS). n= número de observações.

Formações Geológicas	Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	n
Zona urbana	238,1948	0,0751	238,048	238,342	56
Depósitos aluvionares atuais	238,1582	0,01118	238,136	238,18	2528
Formação Serra Geral α_1	238,4785	0,02208	238,435	238,5 22	648
Formação Serra Geral β_1	238,5693	0,02066	238,529	238,61	740
Formação Botucatu	238,645	0,04514	238,557	238,734	155
Grupo Rosário do Sul	238,1937	0,00709	238,18	238,208	6289
Formação Rio do Rasto	238,6555	0,01834	238,62	238,691	939
Geral	238,4136	0,028513	238,3579	238,4696	11355

Apesar das diferenças entre as médias serem aparentemente pequenas, devido ao alto valor base da intensidade magnética (23000 nT), estas diferenças são estatisticamente significativas ($P < 0,01$), como pode ser observado na Tabela 4. Esta análise de significância das diferenças entre as médias da intensidade magnética de cada unidade geológica foi realizada por meio do Teste de Tuckey da biblioteca ANOVA do programa *Statistica* 7.1, (2005).

A Tabela 4 mostra que a média da intensidade magnética da Formação Rio do Rasto não apresenta diferença significativa apenas na comparação com a média da Formação Botucatu; com relação às demais unidades geológicas, a média da Formação Rio do Rasto é perfeitamente discernível. As médias da intensidade magnéticas das unidades geológicas Depósitos aluvionares atuais, Grupo Rosário do Sul e Formação Serra Geral (α_1) são estatisticamente diferentes entre si e das médias das outras formações. Por outro lado, a média da intensidade magnética da Formação Serra Geral (β_1) não difere da média da intensidade magnética da Formação Botucatu.

A intensidade magnética total medida no Projeto Camaquã em 1972 (Área I, Projeto AERO 1010) mostra um gradiente regional em direção Norte, onde estava localizado o baixo magnético terrestre, conforme pode ser visto na Figura 5. A Figura 5B foi construída para uma data próxima daquela da aquisição dos dados magnetométricos pelo Projeto Camaquã e mostra que a região alvo deste estudo está localizada numa zona em que a intensidade magnética diminui fortemente na direção NNE.

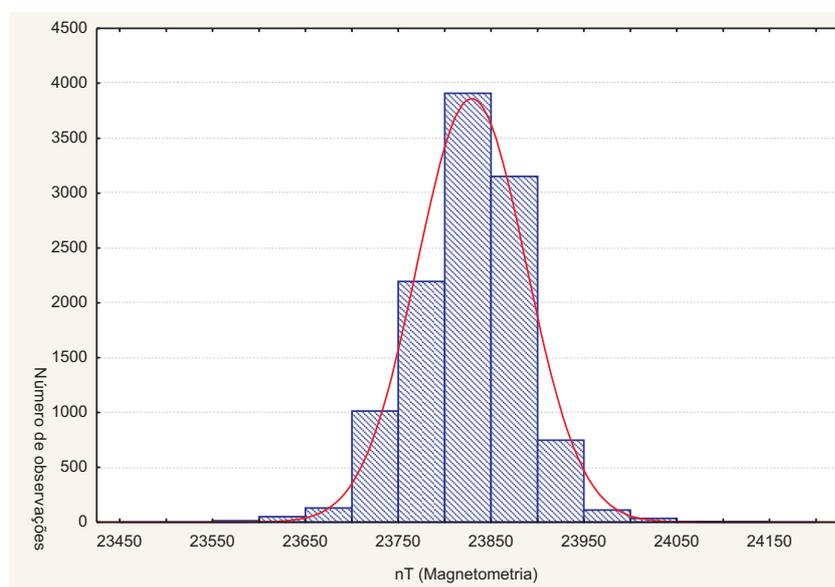


Figura 3. Histograma de frequência da variável Magnetometria (nanoTesla=nT).

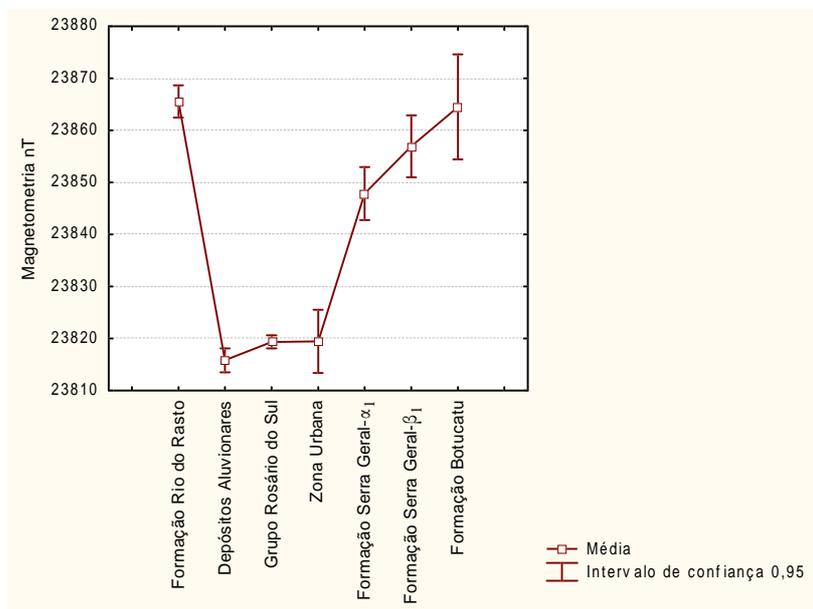


Figura 4. Dispersão das médias da intensidade magnética total nas diferentes formações geológicas e na zona urbana de Santa Maria (RS).

Tabela 4. Comparação e significância entre as médias da variável Magnetometria para as diferentes unidades geológicas e para a zona urbana de Santa Maria (RS).

Unidades Geológicas	Formação Rio do Rasto	Depósitos aluvionares atuais	Grupo Rosário do Sul	Zona Urbana	Fm. Serra Geral (α)	Fm. Serra Geral (β_1)	Formação Botucatu
Formação Rio do Rasto		0,00002	0,00002	0,000000	0,001806	0,001806	0,830154
Depósitos aluvionares	0,000000		0,007347	0,629863	0,000000	0,000000	0,000000
Grupo Rosário do Sul	0,000000	0,007347		0,988292	0,000000	0,000000	0,000002
Zona urbana	0,000000	0,629863	0,988292		0,000002	0,000000	0,002703
Fm. Serra Geral (α)	0,000000	0,000000	0,000291			0,042973	0,000000
Fm. Serra Geral (β_1)	0,001806	0,000000	0,000002	0,002703	0,042973		0,126960
Formação Botucatu	0,830154	0,000000	0,000000	0,000925	0,126960	0,000000	

A Figura 5B mostra que os basaltos (β_1) e os dacitos (α_1) da Formação Serra Geral localizam-se em zona de menor intensidade magnética total do que as formações sedimentares subjacentes (Formação Rio do Rasto, Formação Rosário do Sul e Formação Botucatu). Neste sentido, deve-se notar que a discriminação estatística das formações (unidades) geológicas foi promovida com base nos dados de medidas de intensidade magnética total (Campo Magnético Terrestre/CMT de 1972 + Campo Magnético Remanescente das rochas/CMR). Essa situação pode sugerir que a não distinção estatística de algumas das unidades geológicas presentes na área de estudo deve-se ao efeito do gradiente decrescente da intensidade magnética total em direção ao Norte. Nesta porção encontram-se as rochas ígneas extrusivas, constituídas por vários derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, parte da Bacia do Paraná IBGE (1986). Estes derrames cobrem mais de 50% do Estado do Rio Grande do Sul e ainda ocorrem em parte de mais sete estados brasileiros (SC, PR, SP, GO, MG, MT, MS) cobrindo cerca de 1.200 km².

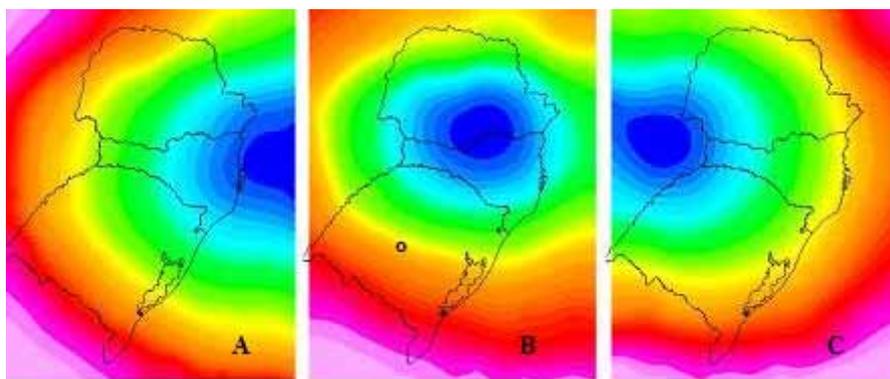


Figura 5. Variação secular da localização do baixo magnético terrestre e da Intensidade do Campo Magnético Total para os anos de 1945 (A), (B) 1975 e (C) 2005. As cores azuis indicam os menores valores de intensidade magnética (22000 nT), enquanto as cores rosa indicam os valores máximos de intensidade magnética (25000 nT). Mapa construído por meio do programa GEOSOFT com base no modelo do IGRF (International Geomagnetic Reference Field). O, o indica a posição da região alvo deste estudo (Santa Maria, RS, Brasil) no centro da imagem B.

A intensidade do campo magnético terrestre, dada a sua magnitude, pode mascarar, por vezes, diferenças sutis de magnetização remanescente entre as rochas ou unidades geológicas. Desta forma, o mesmo estudo estatístico descritivo realizado para os valores de intensidade magnética

total medida no aerolevanteamento da CPRM em 1972 (Projeto Camaquã 1010, Área I) foi executado sobre os valores de magnetização remanescente (remoção do IGRF: International Geomagnetic Reference Field) e sobre o resultado da aplicação do filtro Sinal Analítico (Figura 6). A análise estatística, então, mostra que a intensidade magnética remanescente é capaz de discriminar mais adequadamente as unidades geológicas da região de Santa Maria (RS); somente não são estatisticamente discerníveis a Formação Serra Geral (β_1 basaltos) da Formação Botucatu (Figura 6A). Por outro lado, a aplicação do filtro Sinal Analítico mostra que todas as unidades geológicas da região são estatisticamente distintas. Deve-se salientar que na região em estudo ocorrem arenitos intertrápicos ou interderrames (Silvério da Silva et al., 2006) os quais podem influir nos valores de intensidade magnética total.

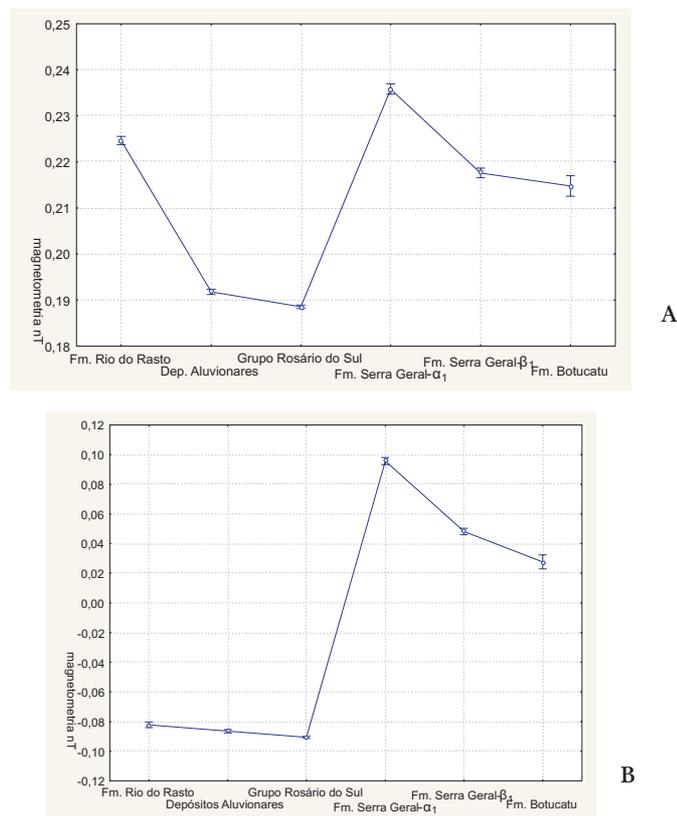


Figura 6. Dispersão das médias da intensidade de magnetização remanescente (imagem A) e resíduo de filtragem de Sinal Analítico (imagem B) nas diferentes unidades geológicas na região de Santa Maria (RS).

4. Análise e discussão dos resultados

A Formação Rio do Rasto está aflorando na porção mais sul da área de estudo (Figura 2), onde a intensidade do Campo Magnético Terrestre foi maior. No entanto, este fator único não explica a forte distinção magnética existente entre esta formação e a Formação Rosário do Sul, que também está aflorando desde o limite sul da área estudada.

Estas duas formações (Rio do Rasto e Rosário do Sul) possuem uma constituição litológica muito parecida, são rochas sedimentares clásticas, arenosas, oriundas do intemperismo, transporte, deposição e diagênese de rochas pré-existentes. Notou-se que aparentemente não justificaria uma distinção tão clara em termos de valores de intensidade magnética total (Figura 4). Porém, depois de removido o IGRF, a Formação Rio do Rasto mantém altos valores de magnetização remanescente e é claramente distinguida da Formação Rosário do Sul (Figura 6A). A alta intensidade magnética da Formação Rio do Rasto sugere que os minerais responsáveis por tal característica não foram degradados intempericamente durante os processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos que lhe deram origem associados a um paleoclima de características redutoras. Ao contrário, os minerais primários magnéticos devem ter sido quase que totalmente degradados nos arenitos do Grupo Rosário do Sul, depositados no Período Permo-Triássico, em paleoambiente flúvio-eólico de características mais quentes. O que deveria ter produzido condições de atuação de intemperismo químico produzindo uma maior abertura química, conferindo-lhe uma intensidade magnética mais baixa, semelhante àquela dos sedimentos aluvionares atuais (areias inconsolidadas).

A Formação Botucatu, por sua vez, é constituída granulometricamente por um arenito fino a médio, de natureza arcoseana, derivado predominantemente do intemperismo físico de rochas granito-gnáissicas e/ou vulcânicas ácidas do embasamento cristalino (Escudo Sul-Riograndense). Este teria evoluído em condições paleoclimáticas áridas a semi-áridas (provavelmente quentes), portanto com baixa quantidade de água no sistema. Assim haveria possibilidade de preservação dos minerais primários magnéticos, os quais lhe conferem uma alta e variável intensidade magnética total. Porém, tais condições não justificam uma magnetização mais intensa dos arenitos da Formação Botucatu, uma vez que as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral apresentam um conteúdo mais elevado do mineral Ti-magnetita, conforme descrito em vários trabalhos (p.ex.: Bellieni et al., 1984). A remoção do Campo Magnético Terrestre pelo modelo IGRF e a aplicação do filtro Sinal Analítico mudam drasticamente a posição relativa da Formação Botucatu em relação à Formação Serra Geral (comparar as Figuras 4 e 6).

As médias da magnetização remanescente (Figura 6A) ainda não permitem distinguir a Fm. Serra Geral (β_1) e a Fm. Botucatu, mas mostram que as rochas vulcânicas ácidas da Fm. Serra Geral (α_1) estão mais magnetizadas do que as rochas basálticas. A discriminação entre a Fm. Serra Geral (β_1) e a Fm. Botucatu ocorre a partir da aplicação do filtro Sinal Analítico (Figura 6B). Em qualquer dos casos, os basaltos (β_1) e os dacitos (α_1) são claramente distinguíveis entre si (Figuras 4 e 6). Os basaltos (β_1) possuem uma intensidade magnética total mais elevada do que os dacitos (α_1), (Figura 4), que é função do gradiente decrescente de Sul para Norte do Campo Magnético Terrestre. Isto fica claro a partir da remoção do IGRF (Figura 6A) e da aplicação do filtro Sinal Analítico (Figura 6B), cujos resultados mostram que os dacitos (Fm. Serra Geral α_1) possuem valores estatisticamente diferentes dos apresentados pela Fm. Serra Geral (β_1) e desta com a Formação Botucatu.

Conclusões

O presente estudo mostrou que os níveis de intensidade magnética das diferentes unidades geológicas da região de Santa Maria (RS, Brasil) diferem significativamente entre si, o que permite distingui-las por meio de métodos estatísticos. As assinaturas de intensidade magnética total das unidades presentes na área de estudo também se mostram compatíveis com as suas características composicionais. Neste sentido, as rochas magmáticas vulcânicas e as rochas sedimentares clásticas, as quais não passaram por um alto grau de intemperismo, apresentaram valores mais elevados de intensidade magnética, enquanto que os sedimentos aluvionares e as rochas sedimentares clásticas, que resultaram de processos mais vigorosos de intemperismo, apresentaram baixos valores de intensidade magnética.

As distintas assinaturas de intensidade magnética reconhecidas na área de estudo permitem a expansão do mapeamento geológico para áreas não cobertas por levantamentos de campo, mas coberta por levantamento aeromagnetométrico (extremidade NW, Figura 2 em coordenadas aproximadas E=220000m e N=620000m).

Referências bibliográficas

- ALBARÉDE F. (1995) *Introduction to Geochemical Modeling*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- ANDRIOTTI, J.L.S. 1999. *Interpretação e Modelamento de Dados Geoquímicos e de Sensoriamento Remoto por meio da Análise de Componentes Principais: Implicações na Exploração de Depósitos de Metais no Escudo Sul-rio-grandense*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre (RS), 227pp.
- ANDRIOTTI, J.L.S. 2004. *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. 1a. ed. São Leopoldo (RS), Ed. UNISINOS, 2004, 168 p.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J.; NARDY, A.J.R.; C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A. 1984. *High and low-TiO₂ flood basalts from the Parana Plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin*. N.J. Mineral. ; Abhl., 150: 273-306.
- BONHAM-CARTER, G. F. 1996 *Geographical information systems for Geocientists: Modelling with GIS*. Pergamon, 398 p.
- BRASIL- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINEIRAIS/CPRM/ *Mapa Hidrogeológico da Folha de Santa Maria, na escala de 1:250.000*.1995.
- BRASIL- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINEIRAIS/CPRM/FEPAM/PRÓ-GUAÍBA 1998. *Projeto Mapeamento Integrado da Bacia Hidrográfica do Guaíba, Folha de Santa Maria, escala de 1: 250.000, agosto*. Módulo I- Projeto Monitoramento do Solo.
- BRASIL- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINEIRAIS/CPRM. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/aero/1000/aero1000.htm>>. Acesso em 5 de julho de 2007.
- BUFFON, S. A. 2002. *Integração de dados geofísicos e geológicos na avaliação ambiental e epidemiológica de radiações naturais (Radônio) no Escudo Sul-Riograndense (Rio Grande do Sul-Brasil)*. Dissertação de Mestrado. PPGEM, UFRGS, p.150.
- CARMELO, A. C. e MENEZES, P. R. *Metodologia para integração de Imagens Gamaespectométricas e TM/LANDSAT-5 através do IHS*. Anais VIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 1996, INPE, p.615-620.
- CRUZ, A.C. J. R. & REMACRE, A. Z.2001. *Impacto de efeito suporte e do efeito informação sobre a recuperação de reservas*. Revista da Escola de

Minas, 54, n.2: 137-142.

DEUTSCH, C. V. 2002 *Geostatistical reservoir modeling*. New York: Oxford University Press, 2002. 376p.

ELIANSON, PT.; DONAVAN, T. J.; CHAVES JR., PS. 1983. *Integration of geologic, geochemical and geophysical data of the cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing*. Geophysics, 48(10): 1305-1317.

GAMERMAN, N. 1979. *Contribution a l'étude de la diagênese des grès: couleur rouge, argiles authigènes et induration. Formations d'Estrada Nova, De Rosário do Sul et de Botucatu (Brésil) et Buntsandstein des Vosges (France)*. Thèse Docteur-Ingénieur, Memórie 59, Centre National de la Recherche Scientifique Université Louis Pasteur de Strasbourg Institut de Géologie, p.121 et planches XXI.

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for natural resources evaluation New York: Oxford University Press, 1997. 483p.*

GREEN, A. A. AND CRAIG, M. 1984. *Integrated analysis of image data for mineral exploration*. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment. In: Third Thematic Conference. Remote Sensing for Exploration Geology. Anais. Colorado Springs, p. 131-134.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/IBGE- Projeto RADAMBRASIL. Volume 33, 1986.

MENEGOTTO, E. 2005. *Intemperismo*. Notas de aula Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Geociências, inédito. p. 107.

MIRANDA, F. P.; FONSECA, L. E. N.; NUNES, K. C.; COSTA, A.; ALMEIDA FILHO, R.; FELGUEIRA, C. A. 1992. *Integração digital de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural da região do Rio Uatumã (Bacia do Amazonas)*. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, 1992, São Paulo. Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992. v. 1. p. 159-160.

PARADELLA, W. R.; VITORELLO, I.; LUI, C. C.; MATTOS, J. T.; DUTRA, L. V.; MENESES, P. R. 1990. *Imagens do Satélite SPOT-1 em Mapeamento Geológico: um estudo comparativo com vários produtos de sensores no vale do Rio Curaçá, Bahia*. Revista Brasileira de Geociências; 20(1-4): 282-292.

PEREIRA, J. E. S. 2007. *Aplicação de técnicas matemáticas não determinísticas na integração de dados geológicos, geofísicos e de geoquímica de solo para geração de mapas de uso e ocupação na região do município de*

Santa Maria, RS, Brasil. Exame de Qualificação de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 66.

PEREIRA, J. E. S.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; STRIEDER, A. J. e PIRES, C. A. F. 2007 a. *Análise Estatística da Concentração de potássio obtida por aerolevantamentos geofísicos em diferentes formações geológicas na região de Santa Maria (RS)*. Revista Pesquisas em Geociências, UFRGS, (em fase de publicação).

PEREIRA, J. E. S.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; STRIEDER, A. J. e PIRES, C. A. F. 2007b. *Integração de dados de decaimento radiométrico de Urânio: Estudo de caso na região de Santa Maria*. Revista Brasileira de Geociências (submetido).

QUADROS, T. F. P. 2000. *Integração de dados em mapeamento de favorabilidade mineral para ouro na Ilha Cristalina de Rivera/Uruguai*. Tese de doutoramento, PPGEMM, DEMIN, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 260p.

QUADROS, T. F. P.; KOPPE, J. C. ; ADELIR J. S.; LEITE, J. F. C. 2006 *Mineral Potential Mapping: a comparison of Weight-of-evidence and Fuzzy methods*. Natural Resources Research (New York).

RICHARDSON, S. 1996. *Statistical methods for geographical correlation studies*. In: P. Elliot, J. Cuzick, D. English, R. Stern (eds.). Geographical and Environmental Epidemiology: Methods for Small-Area Studies. Oxford University Press, Oxford, p. 181-204.

ROLIM, S. B. A.; PARADELLA, W.R.; VASCONCELLOS, R. M.; AZEVEDO, M. L. V. 1993. *Metodologia para sensores no vale do Rio Curaçá, Bahia*. Revista Brasileira de Geociências, 20, 1-4: 282-292.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. 1997. *Estudo dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares Mesozóicas do Rio Grande do Sul, Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS. p. 157, pranchas XLV e 106 figuras.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L., e MENEGOTTO, E. 2002. *Aspectos mineralógicos de silicificação em rochas sedimentares Mesozóicas no Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Geociências 32 (3): 317-326.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. e MENEGOTTO, E. 2005. *Aspectos Geoquímicos de silicificações em rochas sedimentares no Rio Grande do Sul, Brasil*. PESQUISAS, UFRGS, Instituto de Geociências, 32, 2. pdf.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. 2006. *Mapeamento dos aspectos físicos com sistema de informações geográficas para monitoramento e gestão integrada no Município de Toropi-Estado do Rio Grande do Sul*. Relatório Final de projeto. p. 51, ilustrado com mapa geológico e mapas temáticos na escala de 1:50.000. Inédito, relatório restrito.

StatSoft, Inc. (2005). *STATISTICA (data analysis software system), version 7.1*. www.statsoft.com.

STRIEDER, A. J. & HEEMAN, R. 2006. *Structural constraints on Paraná basalt volcanism and their implications on agate geode mineralization (Salto do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brazil)*. Revista Pesquisas em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 33, n°1, pdf.

SIROTINSKAYA, S.; STRIEDER, A.J. 2006 a. *Lógica matemática na integração e modelagem de dados: métodos aplicados em geologia e ciências ambientais*. 1. ed. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS. v. 1, 299 p.

SIROTINSKAYA, S.; STRIEDER, A. J. 2006 b. *Lógica matemática na integração de dados e na modelagem: elementos e métodos básicos*. 1. ed. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS. v. 1, 172 p.

TRIVIÑOS, A. N. S. 1987. *Introdução a pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas, p. 175.

WILFORD, J.R.; BIERWIRTH, P. N.; Craig, M. A. 1997. *Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology*. AGSO. Journal of Australian Geology & Geophysics. 17(2): 201-216.

