

Razões Isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ como Traçadores de Proveniência de Rochas Sedimentares Siliciclásticas: Exemplos no Grupo Camaquã (Paleozóico inferior, RS, Brasil)

ANDRÉ WEISSHEIMER DE BORBA, ANA MARIA PIMENTEL MIZUSAKI, DIOGO RODRIGUES ANDRADE DA SILVA & KOJI KAWASHITA

Laboratório de Geologia Isotópica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, awborba.voy@poa.terra.com.br, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 09/03. Aceito para publicação em 01/04)

Abstract - The Rb-Sr and Sm-Nd isotopic systems are ideal in constraining the provenance of fine-grained clastic rocks. This is particularly true for continental, fluvio-lacustrine, sedimentary units deposited under semi-arid climate conditions, where mechanical desintegration of source rocks dominates the weathering processes. Three sets of red-colored, continental siltstones of the Camaquã Group (Early Paleozoic, southern Brazil) were analyzed for these isotopic systems, providing important data for the understanding of the provenance pattern of the Santa Bárbara (lower) and Guaritas (upper) formations. The results of six samples from the finer-grained portion of Sequence I of Santa Bárbara Formation (SEI samples) suggest provenance predominantly from the adjacent volcanic units (Hilário and Acampamento Velho formations), with subordinated contribution of monzonites (Arroio do Jaques) and metamorphic rocks (Cambaizinho), reflecting eastward paleoflow. Three samples from the outcrop area of the Santa Bárbara Formation east of Caçapava do Sul (SBG samples) reveal a similar provenance pattern, with a more effective contribution of felsic ignimbrites of the Acampamento Velho Formation as source rock. On the other hand, eight samples from the Guaritas Formation, obtained near Santana da Boa Vista (GUA samples), show anomalously high $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, suggesting more potassic source rocks. The values find correspondence mainly in the syn-transcurrent metagranites Quitéria, Arroio Francisquinho and Cordilheira (older than 600Ma), felsic lavas of the Acampamento Velho Formation (poorly exposed in the area), orogenic (Pinheiro Machado) and post-orogenic (Encruzilhada do Sul) intrusive suites. Other presently exposed units, such as the Encantadas Gneiss (older and more mafic) and the Porongos metasedimentary rocks (also older Nd signature) would have been buried or unavailable for erosion during the deposition of the Guaritas samples.

Keywords - Rb-Sr system, Sm-Nd system, provenance, Camaquã Group.

INTRODUÇÃO

Estudos de proveniência desempenham papel fundamental na análise de sucessões sedimentares siliciclásticas, permitindo a reconstrução dos parâmetros tectônicos, geográficos e climáticos de uma porção da crosta terrestre ao longo do processo evolutivo de uma bacia sedimentar (Basu, 1985). Este diálogo entre a composição do arcabouço detrítico de uma rocha sedimentar e as rochas que compunham suas áreas-fonte à época de deposição pode ser obtido através de variadas escalas de observação. Contagem estatística de fragmentos detríticos em conglomerados (Howard, 1993) ou arenitos (Zuffa, 1985; Dickinson, 1985; Marenssi *et al.*, 2002) e análises geoquímicas de rochas

sedimentares (Taylor & McLennan, 1985; van de Kamp & Leake, 1995; Ugidos *et al.*, 1997) são técnicas freqüentemente utilizadas para estudos de proveniência. Análises isotópicas de Sr (Eisenhauer *et al.*, 1999; Asahara *et al.*, 1999) e Nd (McLennan *et al.*, 1990; Gleason *et al.*, 1995; Ball & Farmer, 1998) em sedimentos recentes e sucessões sedimentares antigas também constituem importante ferramenta para a inferência das rochas-fonte dos detritos.

O Grupo Camaquã (Robertson, 1966) é composto de rochas sedimentares siliciclásticas, depositadas por sistemas aluviais, lacustres, fluviais e eólicos, com subordinada contribuição vulcânica. São reconhecidas, formalmente, as Formações Santa Bárbara (Robertson, 1966) e Guaritas (Goñi *et al.*,

1962). A sedimentação, processada em ambiente continental sob condições climáticas semi-áridas (De Ros *et al.*, 1994), foi dominada por fluxos torrenciais de alta energia e pouca duração que adentravam lagos rasos periodicamente expostos a ressecamento (Paim *et al.*, 2000; Borba & Mizusaki, 2003). O presente trabalho relata a aplicação preliminar dos sistemas isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd a siltitos de origem flúvio-lacustre pertencentes ao Grupo Camaquã, com vistas à inferência das possíveis áreas-fonte de detritos disponíveis durante o Paleozóico inferior para aquela sedimentação.

GRUPO CAMAQUÃ - TECTÔNICA, ESTRATIGRAFIA E IDADE DEPOSICIONAL

O Grupo Camaquã (Robertson, 1966) aflora na região centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, que constitui o Escudo Sul-rio-grandense (ou cinturão Dom Feliciano). Este cinturão corresponde à porção meridional da Província Mantiqueira (Hasui *et al.*, 1975), cujas rochas ígneas e metamórficas foram geradas ou deformadas durante o Ciclo Brasileiro/Pan-africano (Porada, 1979). Este conjunto de eventos orogênicos afetou o sul do Brasil ao final do Neoproterozóico, durante os processos de convergência e colisão de massas continentais que, amalgamadas, formaram a região sul-ocidental do supercontinente Gondwana. Estes eventos teriam envolvido subducção para leste, em ambiente de arco de ilhas (900-800Ma) e arco continental (800-700Ma), seguida de subducção para oeste (650-595Ma) e colisão final (595-540Ma) das placas Rio de La Plata (oeste) e Kalahari (leste) (Chemale Jr., 2000). Bacias de antepaís, em posição de retroarco, e bacias do tipo rifte teriam se desenvolvido nos estágios tardios e imediatamente posteriores à colisão continental, e seus depósitos (considerados molássicos por Almeida, 1969) são reunidos no conceito de “Bacia do Camaquã” (Gresse *et al.*, 1996; Paim *et al.*, 2000).

Utilizando conceitos de alostratigrafia, Paim *et al.* (2000) dividem o preenchimento da “Bacia do Camaquã” em cinco grandes unidades, separadas por discordâncias. O alogrupo Maricá é formado por depósitos fluviais, deltaicos e marinhos, com subordinada contribuição vulcânica ácida (Leites *et al.*, 1990). O alogrupo Bom Jardim compreende uma espessa (3-4Km) unidade vulcânica (Formação Hilário), de composição andesítica, afinidade shoshonítica (Lima & Nardi, 1998) e idade

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ em torno de 580Ma (Remus *et al.*, 1999), intercalada a outra unidade (Formação Arroio dos Nobres) composta por rochas sedimentares alúvio-lacustres. O alogrupo Cerro do Bugio contém rochas vulcânicas e piroclásticas ácidas e, subordinadamente, básicas (vulcanismo bimodal) da Formação Acampamento Velho (Almeida *et al.*, 2002), além de conglomerados aluviais de proveniência predominantemente vulcânica (Paim *et al.*, 2000). O alogrupo Santa Bárbara é composto por depósitos continentais de leques aluviais, lacustres e fluviais entrelaçados, organizados em três seqüências deposicionais (Borba & Mizusaki, 2003). O alogrupo Guaritas contém depósitos aluviais, lacustres, fluviais e eólicos e, em sua base, rochas vulcânicas basáltico-andesíticas de afinidade alcalina (membro Rodeio Velho), datadas (U/Pb SHRIMP em zircão) preliminarmente em $470 \pm 19\text{Ma}$ (Hartmann *et al.*, 1998).

Na estratigrafia formal das unidades do Paleozóico inferior do Rio Grande do Sul, o Grupo Camaquã se divide nas Formações Santa Bárbara (Robertson, 1966) e Guaritas (Goñi *et al.*, 1962). A primeira corresponde à parte superior do alogrupo Cerro do Bugio (conglomerados da aloformação Santa Fé) e à integralidade do alogrupo Santa Bárbara, enquanto a última corresponde ao alogrupo Guaritas. O Grupo Camaquã é considerado, no presente trabalho, como tendo sido depositado no Paleozóico inferior, com base nas datações disponíveis para as rochas do embasamento e nas relações estratigráficas: a Formação Acampamento Velho, sotoposta ao Grupo Camaquã, foi datada em $549 \pm 5\text{Ma}$ pelo método U/Pb SHRIMP em zircão (Sommer *et al.*, 2003); além disso, conglomerados vinculados ao alogrupo Santa Bárbara contém blocos e matacões de rochas metavulcânicas, metassedimentares e granitóides (Borba, 2001; Borba & Mizusaki, 2002; 2003), cuja idade de cristalização e metamorfismo (em grande profundidade) está igualmente em torno de 550Ma (Sartori & Kawashita, 1985; Leite *et al.*, 1995).

METODOLOGIA E AMOSTRAGEM

Sistema Rb-Sr

O sistema Rb-Sr baseia-se no decaimento radioativo (emissão de partícula β) do isótopo de Rubídio (Rb) de massa 87, que se transforma no isótopo de Estrôncio (Sr) de massa 87 segundo uma

meia-vida de 48,8Ba. (Faure, 1986). Durante a cristalização fracionada dos magmas, Sr tende a se concentrar nos plagioclásios (substituindo o Cálcio [Ca], de raio iônico e carga semelhante), enquanto Rb tende a permanecer no líquido residual, por sua afinidade com o Potássio (K). Portanto, quanto mais diferenciada (ácida) for a rocha, maior será a razão Rb/Sr. A temperaturas superiores a 300-350°C (cristalização de magmas ou eventos metamórficos), ocorre a migração de Sr entre as fases minerais, em um processo chamado homogeneização isotópica de Sr. Abaixo desta temperatura de bloqueio, o sistema volta a se comportar de maneira fechada, impossibilitando novas trocas. Essas propriedades tornam o sistema Rb-Sr ideal para a datação de eventos de cristalização ou metamorfismo a temperaturas superiores a 350°C. A idade pode ser obtida através de diagrama isocrônico, no qual o eixo X representa as razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e o eixo Y as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas. Para amostras cogenéticas e de diferentes teores de K (e, portanto, de Rb), as razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ são diferentes. Ao tempo de cristalização, a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ seria uniforme (homogeneização), e o aumento desta razão é proporcional ao teor de Rb da amostra. A inclinação da reta que melhor se ajusta às razões obtidas, plotadas neste diagrama, corresponde à idade de cristalização ou metamorfismo (Faure, 1986).

Quando as rochas ígneas ou metamórficas são expostas às condições de superfície e aos processos intempéricos, desagregam-se e são química e fisicamente alteradas. Os minerais portadores de Sr (plagioclásio, piroxênios, anfibólios e calcita) são mais facilmente alterados, tornando este elemento livre para novas trocas. Enquanto isso, micas e K-feldspatos (portadores de Rb) são mais resistentes, preservando sua composição. Isto é demonstrado pela tendência ao progressivo aumento da razão Rb/Sr em perfis de intemperismo, acompanhando o aumento do grau de alteração (Dasch, 1969). O Sr liberado pelo intemperismo termina concentrando-se nos oceanos, onde seu tempo de residência é da ordem de 10^7 anos, um período longo em comparação com a taxa de mistura das águas oceânicas (10^3 anos). Assim, em sedimentos marinhos, de granulometria fina, ricos em argilominerais expansivos e que tenham experimentado o processo de halmirólise (primeiras trocas físico-químicas na interface sedimento/águas marinhas, Drever, 1971), pode ocorrer uniformização isotópica de Sr, permitindo a obtenção de isócronas representativas da idade deposicional para estas condições (Kawashita, 1972; Thomaz-Filho, 1976; Mizusaki, 1992; Mizusaki *et al.*, 1998).

Em alguns casos, porém, o sistema Rb-Sr pode ser utilizado para inferir a proveniência de sedimentos ou rochas sedimentares. Asahara *et al.* (1999), por exemplo, descrevem dois tipos de pseudo-isócronas Rb-Sr para os sedimentos do Oceano Pacífico norte: um tipo apresenta altas razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, refletindo fontes mais potássicas presentes no continente asiático, e o outro possui razões isotópicas muito baixas, sugerindo proveniência a partir de rochas vulcânicas de arco de ilhas. Da mesma forma, Eisenhauer *et al.* (1999) reconhecem pseudo-isócronas diferentes refletindo áreas-fonte distintas em sedimentos do Oceano Ártico e sistemas fluviais adjacentes: a composição isotópica total consiste de mistura entre uma fonte basáltica, de origem mantélica, e uma fonte sedimentar, derivada da erosão de crosta continental. Outros fatores que poderiam favorecer a obtenção de dados relativos à proveniência referem-se ao clima e ao tipo de depósito sedimentar analisado: rochas sedimentares siliciclásticas, cujos fragmentos foram desagregados da fonte sob influência de clima árido e depositados através de fluxos torrenciais de curta duração ou sistemas fluviais, como ocorre nas bacias Terciárias do Novo México (Nelson & DePaolo, 1988) e no caso do Grupo Camaquã, favoreceriam a preservação da assinatura isotópica das rochas-fonte.

Sistema Sm-Nd

Os elementos Samário (Sm) e Neodímio (Nd) pertencem ao grupo dos Lantanídeos, ou elementos terras raras (ETR), e possuem características muito semelhantes, tanto em termos da carga (+3) quanto em relação ao raio iônico (1,08 Å para o Nd e 1,04 Å para o Sm). Estas características atribuem a ambos os elementos comportamento muito parecido frente à grande maioria dos processos geológicos, tanto que a razão Sm/Nd em rochas e minerais varia apenas de 0,1 a 0,5 (Faure, 1986). A importância do sistema Sm-Nd para os estudos geocronológicos reside no fato de que um dos isótopos de Sm, de massa 147, decai para Nd de massa 143 (estável) por emissão de partícula alfa (α), segundo meia-vida muito longa (106Ba). Os teores de Sm e Nd em rochas e minerais (da ordem de ppm) e o valor elevado da meia-vida fazem com que as variações de abundância entre os isótopos sejam muito sutis, dificuldade superada apenas nas últimas décadas com a construção de espectrômetros de massa mais modernos e precisos (DePaolo, 1988).

Assim como para o sistema Rb-Sr, pode ser utilizado o diagrama isocrônico, considerando que no momento da cristalização os minerais de uma rocha ígnea possuem a mesma razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, mas diferentes razões $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$. Com o início dos processos de decaimento radioativo, a idade do evento magmático seria representada pela inclinação da reta que melhor se ajusta aos valores encontrados para diferentes minerais (granada, piroxênio, plagioclásio). Este método isocrônico é ideal para a datação de rochas máficas e ultramáficas do Arqueano e Paleoproterozóico, devido ao valor muito alto da meia-vida deste sistema. Além disso, o caráter refratário e imóvel dos ETR frente à maioria dos processos geológicos não permite a abertura subsequente do sistema Sm-Nd: as idades obtidas refletem, em geral, os processos de extração, a partir do manto, dos magmas originais dos quais se derivam as rochas ígneas (idades-modelo). Modelos diferentes de evolução do manto consideram-no um reservatório uniforme, de composição condrítica (CHUR), ou um manto empobrecido ou depletado (DM) pelos processos de diferenciação e crescimento da crosta continental (DePaolo, 1988).

O caráter imóvel dos ETR também favorece a aplicação deste sistema aos processos sedimentares, principalmente no que diz respeito à proveniência das rochas siliciclásticas. Os processos de erosão, transporte e deposição praticamente não afetam o sistema Sm-Nd, e as razões medidas e parâmetros calculados em rochas sedimentares refletem com fidelidade as características das rochas-fonte dos detritos (Nelson & DePaolo, 1988; McLennan *et al.*, 1990). Assim, razões isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, idades-modelo (T_{DM}) e parâmetros como ϵ_{Nd} (que compara composição isotópica obtida com a composição teórica do CHUR) têm sido utilizados como traçadores de proveniência em sedimentos recentes (McLennan *et al.*, 1990), turbiditos paleozóicos (Gleason *et al.*, 1994; 1995), siltitos e arenitos neoproterozóicos (Farmer *et al.*, 2001), e até mesmo em sucessões metamorfasadas em baixo a médio grau, como na faixa Brasília (Pimentel *et al.*, 2001).

Amostragem e procedimentos analíticos

Foram coletadas, para o presente trabalho, dezessete amostras de siltitos, de três diferentes pontos de afloramento de rochas sedimentares de granulometria fina do Grupo Camaquã (Fig. 1). A amostragem seguiu o esquema sugerido por Thomaz-Filho & Lima (1979), Mizusaki (1992) e Mizusaki *et al.* (1998) para a obtenção de amostras

com boa dispersão da razão $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e conseqüente possibilidade de construção de diagramas isocrônicos.

As amostras SEI (b até i) foram coletadas no vale do Arroio Seival, em corte de estrada ao longo da rodovia Caçapava-Lavras (Fig. 1). São seis amostras de siltitos arenosos de coloração castanha-avermelhada, localmente com porções mais argilosas e com alguns grânulos dispersos. O intervalo amostrado corresponde, no arcabouço proposto por Borba (2001) e Borba & Mizusaki (2003), à superfície de máxima inundação da Seqüência I da Formação Santa Bárbara.

As amostras SBG (1, 2 e 3) foram coletadas a leste de Caçapava do Sul (Fig. 1), na porção sul da faixa de afloramentos da Formação Santa Bárbara naquela área. No local aflora um pacote de aproximadamente 30 metros de espessura, que possui na base arenitos conglomeráticos e conglomerados de grânulos e apresenta granodecrescência ascendente, chegando no topo a siltitos argilosos de cor castanha-avermelhada e algumas porções cinza-esverdeadas. Apenas os níveis (cerca de 1cm de espessura) de granulometria mais fina e coloração avermelhada foram amostrados e preparados para análise.

Por fim, as amostras GUA (1 até 4 A) foram coletadas na porção leste da faixa de afloramentos da Formação Guaritas, próximo à cidade de Santana da Boa Vista (Fig. 1). Correspondem a siltitos argilosos, de cor castanha-avermelhada e cinza-esverdeada pertencentes a uma camada de cerca de 2 a 3cm de espessura que recobre arenitos maciços ou com estratificação plano-paralela, depositados por fluxos subaquosos torrenciais (*flash-floods*). Tais depósitos estão lateralmente associados a fácies diagnósticas de atividade eólica, dentro do panorama de clima semi-árido dominante durante a sedimentação da Formação Guaritas (De Ros *et al.*, 1994; Paim *et al.*, 2000; Scherer *et al.*, 2003).

Para o reconhecimento dos argilominerais presentes nas amostras, foi utilizada a técnica da difratometria de raios-X (DRX). Foram seguidos os procedimentos descritos por Alves (1987), nos quais a pulverização das amostras é realizada com pistilo, em gral de ágata. Aproximadamente 5g do pó resultante foram dispersos em 50mL de água destilada e submetidos a ultra-som, na presença de pirofosfato de sódio como defloculante. Com auxílio de centrífuga, foi separada a fração de granulometria inferior a $2\mu\text{m}$ ($\text{FF}<2\mu\text{m}$), a qual é depositada em duas lâminas onde os argilominerais são orientados segundo a técnica do esfregaço (Gibbs, 1965). As lâmi-

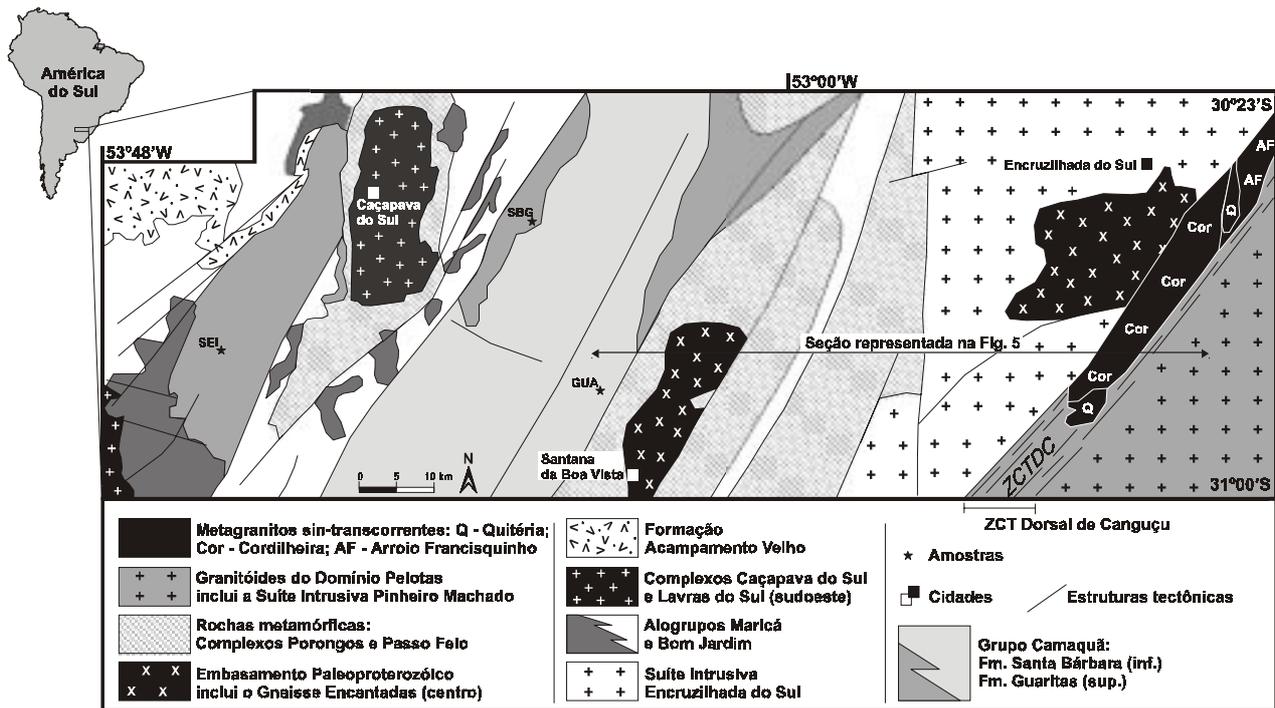


Figura 1 - Mapa geológico esquemático de parte do Escudo Sul-rio-grandense, mostrando as áreas de afloramento das rochas sedimentares do Grupo Camaquã, as possíveis rochas-fonte da sedimentação e a localização das amostras analisadas no presente trabalho (modif. de Caravaca, 1998; Borba, 2001).

nas, assim preparadas, são secas em condições naturais. As amostras foram analisadas em difratômetro Siemens D5000 Diffraktometer Kristalloflex, com radiação KaCu nas condições de 40kV e 30mA de corrente no filamento e intervalo de 2 a 28° (2θ), no Laboratório de DRX do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Analisou-se a lâmina seca ao natural, e a outra foi submetida a uma atmosfera de etilenoglicol por aproximadamente 15 horas (glicolada). Após análise desta segunda lâmina no difratômetro, procedeu-se o seu calcinação por 5 horas em mufla, entre 490-500°C (calcinação). A interpretação dos difratogramas seguiu os critérios de Brown & Brindley (1980).

Os procedimentos para a aplicação dos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd às amostras do Grupo Camaquã foram realizados no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do CPGq/UFRGS. Inicialmente, pesou-se entre 0,1 e 0,2g de cada amostra (rocha total), previamente pulverizada. Foram adicionados 0,1mL de cada um dos traçadores (*spikes*) RS-5 ($^{87}\text{Rb}/^{84}\text{Sr}$) e RS-1 ($^{149}\text{Sm}/^{150}\text{Nd}$) nas amostras rotuladas SBG e GUA. Nas amostras SEI foi adicionado apenas o traçador RS-5, conforme apresentado por Borba (2001). A digestão (ou abertura) das amostras foi efetuada através da adição de ácido nítrico

(HNO_3) e ácido fluorídrico (HF) concentrados, em frascos de Savilex, com secagem em chapa quente. As amostras secas foram diluídas em ácido clorídrico (HCl) 6N, secando-se novamente. Após este procedimento, adicionou-se 3mL de HCl 2,5N e a solução foi transferida para um tubo de ensaio, o qual foi submetido a centrifugação por 15 minutos em centrífuga Excelsa Baby I modelo 206.

A primeira fase de separação química foi realizada em colunas de resina catiônica AG-50W-X8 de 200 a 400 mesh. Foram coletadas alíquotas de Rb, Sr e elementos terras raras (ETR, somente para as amostras SBG e GUA). A separação das alíquotas de Sm e Nd, a partir do Savilex contendo os ETR, foi efetuada em colunas de resina aniônica LN-B50-A de 100 a 200 μm . As razões isotópicas foram determinadas através de espectrômetro de massa VG SECTOR 54, com sistema multi-coletor e feixe de íons de intensidade da ordem de 1 volt ou 10^{-11}A . As análises Rb-Sr foram ajustadas através do padrão NBS-987 (carbonato de estrôncio), para o qual foi determinada média de $0,710260 \pm 0,000014$, compatível com o valor de consenso $0,710250$ (Kawashita *et al.*, 1997). As análises de Sm-Nd foram calibradas a partir do padrão La Jolla Nd, cujo valor da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ é de $0,511856$. Os valores dos brancos foram inferiores a 150pg (Sr e Sm) e 750pg (Rb e Nd).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das amostras ($FF < 2\mu\text{m}$) de siltitos coletadas no Grupo Camaquã, com auxílio da técnica de DRX, permitiu a identificação dos argilominerais illita (mica detritica?), caulinita, interestratificado illita-esmectita (I-S), além de quartzo e óxidos de ferro e de titânio. Os resultados dos teores de Rb, Sr, Sm, Nd, das razões isotópicas obtidas e demais parâmetros calculados estão listados na tabela I.

As amostras da região do Arroio Seival (SEI), da Formação Santa Bárbara, apresentam teores de Rb entre 106 e 125ppm, enquanto Sr varia de 163 a 192ppm. As razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ variam entre 1,731 e 2,179 e as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ficam entre 0,72046 e 0,72410. Estes dados foram utilizados por Borba (2001) para a construção de diagrama isocrônico, considerando cinco destas amostras, cuja inclinação da linha de melhor ajuste corresponde a uma idade de $575 \pm 54\text{Ma}$, com razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7063 (Fig. 2). A homogeneidade dos valores e a baixa razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ obtida foram os argumentos considerados para a proposição de significativa participação das áreas-fonte dos sedimentos na composição isotópica das amostras analisadas. Rochas vulcânicas intermediárias do Grupo Bom Jardim (Formação Hilário), estudadas por Nardi (1984) e Lima (1995), forneceram isócrona Rb-Sr de $653 \pm 23\text{Ma}$, com razão inicial de cerca de 0,704. As rochas vulcânicas e piroclásticas ácidas da Formação Acampamento

Velho permitiram a construção de isócronas de $545 \pm 13\text{Ma}$ (razão inicial de 0,7093) e $546 \pm 13\text{Ma}$ (razão inicial de 0,7067), respectivamente (Almeida *et al.*, 1996). Ambas as unidades estão claramente representadas no arcabouço de arenitos e conglomerados da Formação Santa Bárbara (Paim *et al.*, 1995; Borba & Mizusaki, 2002; 2003). Como áreas-fonte mais afastadas, com possibilidade de haverem contribuído para a sedimentação durante a deposição do intervalo analisado, apenas os monzonitos Arroio do Jaques (dados apresentados por Cordani *et al.*, 1974) e as rochas metamórficas da região do Cambaizinho (Soliani Jr., 1986) possuem valores de razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ compatíveis com aqueles obtidos no presente trabalho. Considerando-se ainda aporte proveniente de oeste, unidades atualmente bem expostas, como os gnaisses, tonalitos, trondhjemitos e dioritos do Complexo Vila Nova, possuem razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ muito baixas e, apesar de seus elevados teores absolutos de Sr, provavelmente não contribuiram de maneira significativa para a sedimentação do Grupo Camaquã.

As amostras coletadas na área de afloramentos da Formação Santa Bárbara a leste de Caçapava do Sul (amostras SBG, Tab. I) correspondem a depósitos alúvio-lacustres possivelmente oriundos de oeste (do "paleoalto de Caçapava"). Seus teores de Rb (entre 185 e 194 ppm) são comparáveis aos de Sr (159 a 223ppm), suas razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ se posicionam entre 2,539 e 3,397, enquanto suas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variam de 0,7335 a 0,7395, portanto mais altas em relação àquelas obtidas para as amos-

Tabela I - Dados isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd de amostras do Grupo Camaquã.

Unidade/amostra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}_{(0)}$	$\epsilon\text{Nd}_{(480\text{Ma})}$	T_{DM} (Ma)
<i>Formação Santa Bárbara</i>										
SEI - b	118,36	163,03	2,104	0,72361	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SEI - d	114,77	192,14	1,731	0,72046	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SEI - f	124,93	166,17	2,179	0,72410	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SEI - g	106,89	178,94	1,738	0,72205	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SEI - h	122,56	176,40	1,987	0,72272	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SEI - i	116,42	175,15	1,926	0,72221	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Formação Santa Bárbara</i>										
SBG - 1	194,73	223,81	2,539	0,733593	23,72	163,46	0,511881	-14,76	-8,1	1399
SBG - 2	185,62	159,53	3,398	0,739523	19,39	127,00	0,511895	-14,49	-8,1	1433
SBG - 3	187,02	172,38	3,168	0,738573	21,00	138,37	0,511913	-14,15	-7,7	1406
<i>Formação Guaritas</i>										
GUA - 1	245,16	74,03	9,723	0,793590	6,94	41,31	0,511972	-13,00	-7,2	1448
GUA - 1A	237,16	71,81	9,694	0,790522	6,81	41,97	0,511936	-13,69	-7,6	1451
GUA - 2	239,09	83,09	8,436	0,779781	13,48	80,47	0,511984	-12,76	-6,9	1428
GUA - 2A	226,80	82,51	8,058	0,777791	6,57	39,04	0,512028	-11,90	-6,1	1376
GUA - 3	236,99	73,25	9,496	0,789392	13,89	84,71	0,512008	-12,30	-6,3	1370
GUA - 3A	226,23	70,09	9,474	0,790491	6,86	41,89	0,511964	-13,15	-7,2	1427
GUA - 4	228,42	77,29	8,669	0,783435	6,80	41,33	0,511940	-13,61	-7,6	1463
GUA - 4A	238,74	80,48	8,699	0,781028	6,89	41,53	0,511978	-12,87	-6,9	1425

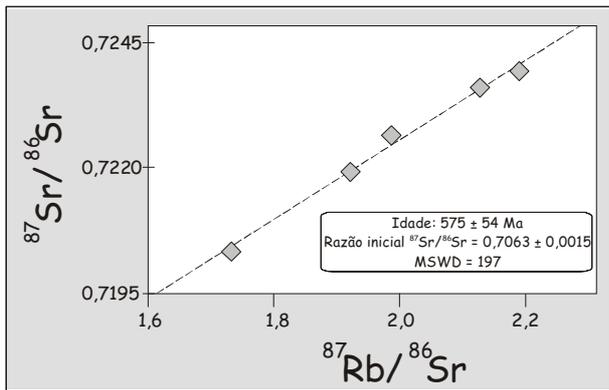


Figura 2 - Diagrama isocrônico construído com as amostras SEI (losangos de cor cinza), correspondendo à idade de 575 ± 54 Ma, refletindo grande influência de áreas-fonte vulcânicas adjacentes (modif. de Borba, 2001).

tras do Arroio Seival. É muito provável que, à época de deposição destas rochas, o “paleoalto de Caçapava” estivesse recoberto por rochas vulcânicas (unidades Bom Jardim e Acampamento Velho) e metamórficas (o complexo Passo Feio de Bitencourt, 1983), como durante a maior parte da evolução da Formação Santa Bárbara (Borba & Mizusaki, 2002, 2003). No caso das amostras SBG, uma maior contribuição proporcional dos tufos, tufos soldados e ignimbritos da Formação Acampamento Velho, de razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ entre 4,0 e 7,0 e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,74 e 0,77 (dados de Almeida *et al.*, 2003; Almeida *et al.*, em prep.) poderia ser responsável pelo aumento relativo das razões medidas. Favorece esta interpretação a comparação entre os dados de Sm-Nd das amostras SBG (Tab. I) e aqueles obtidos por Almeida *et al.* (2003; em prep.) em amostras da Formação Acampamento Velho (tufos e ignimbritos): razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ entre 0,51180 e 0,51206, $\epsilon\text{Nd}_{(0)}$ entre -11,9 e -16,4 e idades-modelo T_{DM} variando entre 1,3 e 2,0 Ga (Fig. 3).

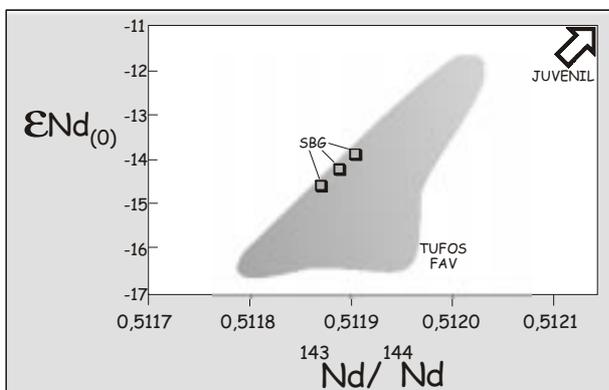


Figura 3 - Diagrama $\epsilon\text{Nd}_{(0)}$ versus razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, mostrando correspondência entre o campo dos tufos e ignimbritos da Formação Acampamento Velho (dados de Almeida *et al.*, 2003; em prep.) e as amostras SBG (Formação Santa Bárbara).

Outras unidades aflorantes no oeste do Escudo Sul-rio-grandense, e que poderiam constituir possíveis fontes dessas rochas sedimentares, apresentam dados incompatíveis com aqueles obtidos no presente trabalho. As rochas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, por exemplo, além de mostrarem razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e teores de Sr muito baixos, fornecem idades-modelo T_{DM} muito antigas, em torno de 2,49 Ga (granulitos ácidos) e entre 2,60 e 2,67 Ga (granulitos básicos) (Hartmann, 1987; Mantovani *et al.*, 1987). As rochas graníticas das suítes Santo Afonso e Saibro, intrusivas nos granulitos, também apresentam idades-modelo antigas entre 2,12 e 2,04 Ga, além de valores de ϵNd fortemente negativos (Chemale Jr., 2000). Por outro lado, as rochas de acreção juvenil brasileira, reunidas sob a designação de Terreno de Acreção Palma (Chemale Jr., 2000), mostram valores baixos de Sr e de razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, além de ϵNd positivos e idades T_{DM} quase sempre inferiores a 1,0 Ga (Chemale Jr., 2000).

Por sua vez, as amostras de siltitos da Formação Guaritas (GUA, Tab. I) apresentam razões anormalmente altas para o sistema Rb-Sr: as razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ficam entre 8,057 e 9,723, enquanto as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se situam entre 0,777791 e 0,793590, para valores muito altos de Rb (cerca de 240 ppm) quando comparados ao Sr (máximo 83,1 ppm). Estes dados sugerem áreas-fonte muito ricas em potássio e, conseqüentemente, em rubídio, para estas rochas sedimentares (altas razões Rb/Sr). Esta inferência é coerente com a predominância de K-feldspato (média original 13%) sobre plagioclásio (5%) nos arenitos da Formação Guaritas, estudados por De Ros *et al.* (1994). Os dados obtidos, tanto em termos de teores absolutos quanto nas altas razões isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, encontram correspondência principalmente no domínio oriental do Escudo Sul-rio-grandense, o Domínio (ou Batólito) Pelotas, a leste da zona de cisalhamento transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC). Os metagranitos expostos ao longo desta zona de cisalhamento (metagranitos Quitéria, Arroio Francisquinho e Cordilheira), estudados por Koester *et al.* (1997), apresentam dados Rb-Sr muito similares àqueles obtidos neste trabalho para as frações finas da Formação Guaritas (Fig. 4 A). Diagramas isocrônicos construídos a partir dos resultados Rb/Sr das amostras da Formação Guaritas forneceram linhas de melhor ajuste com valores centrais de 648 Ma (para todas as amostras) e 652 Ma (para as amostras 1, 2 A, 3 A e 4 A) e erros muito elevados.

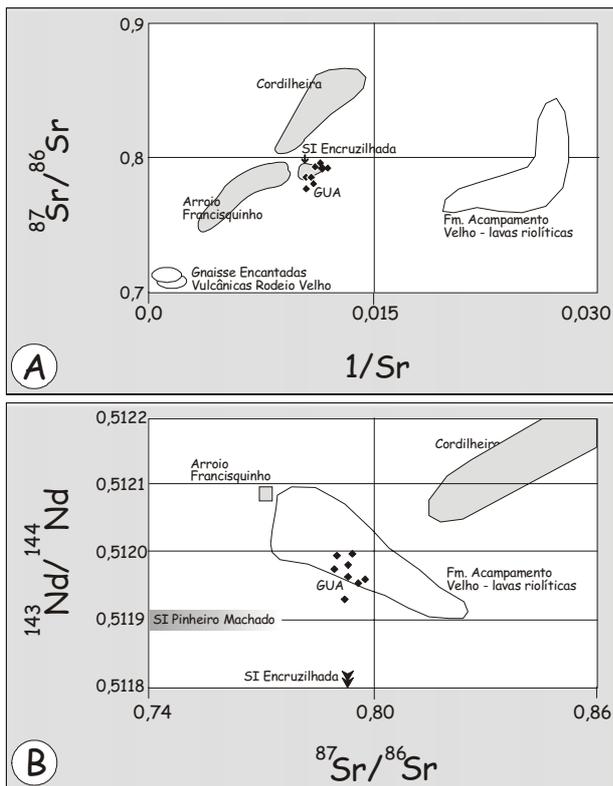


Figura 4 - (A) Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus $1/\text{Sr}$, ilustrando a correspondência entre os valores obtidos para o sistema Rb-Sr nas amostras GUA e os campos dos metagranitos sin-transcorrentes (dados de Koester *et al.*, 1997), algumas amostras da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul (dados de Soliani Jr., 1986) e o campo das lavas riolíticas da Formação Acampamento Velho (dados de Almeida *et al.*, 2003; em prep.); (B) diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, igualmente representando os valores plotados das amostras GUA e os campos correspondentes às possíveis rochas-fonte da sedimentação (dados de Babinski *et al.*, 1997; Koester *et al.*, 1997; Frantz *et al.*, 1999; Almeida *et al.*, 2003).

Estes valores centrais, porém, são muito similares àqueles obtidos por Koester *et al.* (1997) nos metagranitos Quitéria ($672 \pm 22\text{Ma}$), Arroio Francisquinho ($629 \pm 23\text{Ma}$) e Cordilheira ($617 \pm 48\text{Ma}$). As mesmas rochas possuem parâmetros do sistema Sm-Nd (apresentados por Frantz *et al.*, 1999) muito coerentes com os das rochas sedimentares (Fig. 4B), apesar das idades-modelo T_{DM} mais antigas obtidas no metagranito Quitéria (em torno de $2,0\text{Ga}$). De fato, a contribuição destes metagranitos sin-transcorrentes à ZCTDC para o arcabouço de conglomerados pertencentes ao Grupo Camaquã (sub-bacia Rincão dos Mouras) foi apontada por Caravaca (1998), para quem estas unidades contribuem com 51% dos clastos (34% de metagranitos com turmalina e 17% de metagranitos com muscovita).

Amostras das rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho, especialmente dos fluxos de lava riolíticos da associação félsica superior

(Almeida *et al.*, 2002, 2003) também apresentam dados muito semelhantes aos da Formação Guaritas, para os sistemas Rb-Sr e Sm-Nd (Fig. 4 A e B). Esta unidade, que atualmente aflora em exposições muito restritas na região da borda leste da “bacia Guaritas”, apresenta altas razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e idades-modelo T_{DM} entre 1,3 e 1,6Ga (Almeida *et al.*, 2003). A presença de fragmentos riolíticos no arcabouço dos arenitos da Formação Guaritas (máximo de 11,8%) foi citada por De Ros *et al.* (1994). Algumas amostras da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul (SIES), cujos resultados foram publicados por Cordani *et al.* (1974) e Teixeira (1982), apresentam dados Rb-Sr similares aos da Formação Guaritas. Uma amostra de sienogranito da SIES foi analisada por Babinski *et al.* (1997) para o sistema Sm-Nd, fornecendo valor significativamente mais baixo para a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (0,511449) e idade-modelo mais antiga (2,08Ga). Ainda assim, a contribuição da SIES para a sedimentação estudada não pode ser descartada, uma vez que esta unidade apresenta grande variedade textural e composicional (Vasquez, 1997), que poderia ser traduzida em diversidade isotópica. Em termos de parâmetros de Nd, amostras da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado apresentam valores aproximados aos das rochas sedimentares analisadas, incluindo idades T_{DM} de 1,37, 1,41 e 1,69Ga (Babinski *et al.*, 1997).

Desta forma, sugere-se que os sistemas fluviais desconfiados da Formação Guaritas, lateralmente associados a fácies eólicas, teriam origem em áreas-fonte localizadas a leste, no Domínio (ou Batólito) Pelotas, em áreas próximas à ZCTDC (Fig. 5). Estes fluxos certamente não teriam uma área-fonte composta por um único tipo de rocha, mas drenariam uma região composta predominantemente por metagranitos sin-transcorrentes (Quitéria, Arroio Francisquinho e Cordilheira) e, subordinadamente, por rochas vulcânicas félsicas (Fm. Acampamento Velho) e suítes intrusivas orogênicas (Pinheiro Machado) e pós-orogênicas (Encruzilhada do Sul).

Sugere-se que outras unidades atualmente expostas na área estariam soterradas ou não-disponíveis para erosão (Fig. 5), não tendo contribuído para a composição isotópica das rochas sedimentares de origem fluvial da Formação Guaritas. Por exemplo, as rochas metamórficas do Complexo Porongos apresentam idades T_{DM} muito antigas, entre 2,01 e 2,22 para metavulcânicas e metavulcanoclásticas e entre 1,92 e 2,06 para xistos pelíticos. Por sua vez, o Gnaise Encantadas fornece dois grupos de ida-

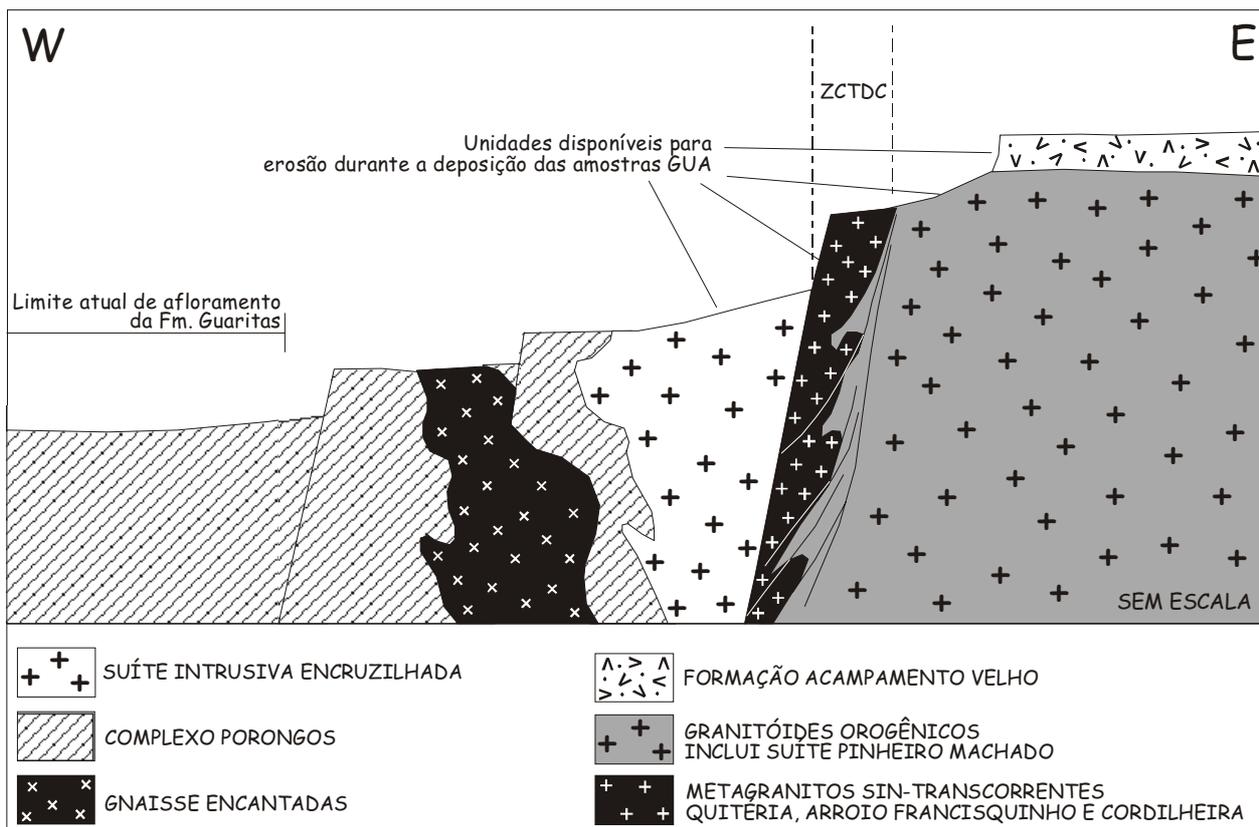


Figura 5 - Panorama geológico sugerido para o Paleozóico inferior na região próxima à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC, seção indicada na Fig. 1). A principal área-fonte para os sedimentos fluviais da Formação Guaritas (amostras GUA) estaria nas proximidades da ZCTDC, compreendendo metagranitos sin-transcorrentes (Quitéria, Arroio Francisquinho e Cordilheira), suítes intrusivas orogênicas (Pinheiro Machado) e pós-orogênicas (Encruzilhada do Sul) e rochas vulcânicas ácidas, hoje expostas de forma muito subordinada na região. As rochas metamórficas do Complexo Porongos e o Gnaisse Encantadas teriam estado provavelmente encobertos durante a sedimentação das porções analisadas da Formação Guaritas.

des-modelo, um entre 1,81 e 2,22 Ga e outro entre 2,47 e 3,14Ga (Chemale Jr., 2000). A idade-modelo mais antiga (3,14Ga) foi obtida exatamente em gnaisses aflorantes ao sul da Mina do Camaquã (Chemale Jr., 2000), adjacente a afloramentos da Formação Guaritas, e muito provavelmente não estava aflorante ou disponível para erosão durante a deposição do intervalo analisado.

CONCLUSÕES

A análise de três intervalos de rochas sedimentares siliciclásticas do Grupo Camaquã (Paleozóico inferior) através dos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd permitiu a inferência das áreas-fonte mais prováveis e que mais teriam contribuído para a sedimentação considerada. Os siltitos analisados teriam sido depositados em ambiente continental, sob condições climáticas semi-áridas, por meio de fluxos subaquosos de alta energia e curta duração (*flash-floods*). Neste contexto, os sedimentos depositados constituem fragmentos pouco alterados das

rochas-fonte, preservando suas características mineralógicas, geoquímicas e isotópicas.

Efetivamente, foram obtidas três assinaturas isotópicas distintas, sobretudo em termos de isótopos de Sr. Siltitos da Formação Santa Bárbara, coletados no vale do Arroio Seival possuem valores compatíveis com proveniência a partir das rochas vulcânicas adjacentes (formações Hilário e Acampamento Velho), e possível contribuição de fontes mais afastadas (monzonitos Arroio do Jaques e metamórficas do Cambaizinho). Amostras da Formação Santa Bárbara coletadas a leste do “paleoalto de Caçapava” mostram razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativamente mais altas, sugerindo a predominância dos tufos e ignimbritos da Formação Acampamento Velho sobre as demais rochas-fonte. Enquanto isso, amostras da Formação Guaritas, coletadas próximo a Santana da Boa Vista, apresentam valores anormalmente altos das razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (entre 0,77 e 0,79), sugerindo fontes mais potássicas, como metagranitos sin-transcorrentes (Quitéria, Arroio Francisquinho e Cordilheira), rochas vulcânicas áci-

das e suítes intrusivas orogênicas (Pinheiro Machado) e pós-orogênicas (Encruzilhada do Sul), abundantemente expostos a leste da atual borda da bacia, nas imediações da zona de cisalhamento transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC).

A aplicação conjunta dos sistemas isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd a rochas sedimentares siliciclásticas, especialmente em depósitos continentais e de clima semi-árido, aliada a um controle estratigráfico, geológico e isotópico das áreas adjacentes, permite a inferência das possíveis áreas-fonte disponíveis para a sedimentação, conforme demonstrado pelos dados do presente trabalho. Tais estudos, integrados a análises petrográficas de arenitos em lâminas delgadas e contagem de clastos de conglomerados, contribuem de forma decisiva para a reconstrução dos parâmetros tectônicos, geográficos e climáticos de uma bacia sedimentar, que constitui o objetivo principal dos estudos de proveniência.

Agradecimentos - Os autores agradecem ao Prof. Dr. Farid Chemale Jr. pela disponibilização da estrutura do Laboratório de Geologia Isotópica (LGI/CPGq) da UFRGS, ao Prof. Dr. Rommulo V. Conceição e ao Dr. Edinei Koester pelo auxílio laboratorial e por proveitosas discussões sobre o assunto abordado. Agradecemos também à Dr^a. Daisy Barbosa Alves (PETROBRAS) pelo auxílio no reconhecimento dos argilominerais em DRX. Parte dos dados constantes neste trabalho foi apresentada na Dissertação de Mestrado do autor sênior (Borba, 2001), o qual agradece à CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado e ao CNPq (Processo nº 140141/2002-2) pela concessão de bolsa de Doutorado. Os autores agradecem, ainda, a dois revisores anônimos por sua inestimável contribuição ao texto original, bem como ao Prof. Dr. Lauro Nardi pelo excelente trabalho editorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., 1969, **Anais.**, p. 29-46.
- Almeida, D.P.M.; Zeffass, H. & Basei, M.A.S. 1996. Mineralogia, geoquímica e novas idades para o vulcanismo ácido da Bacia do Camaquã. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996, **Anais.**, SBG, v. 2, p. 19-21.
- Almeida, D.P.M.; Zeffass, H.; Basei, M.A.S.; Petry, K. & Gomes, C.H. 2002. The Acampamento Velho Formation, a Lower Cambrian Bimodal Volcanic Package: Geochemical and stratigraphic studies from the Cerro do Bugio, Perau and Serra de Santa Bárbara (Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil). **Gondwana Research**, 5 (3): 721-733.
- Almeida, D.P.M.; Borba, A.W.; Chemale Jr., F.; Conceição, R.V.; Koester, E. 2003. Sr - Nd isotopic signature of the Acampamento Velho (Cambrian) and Rodeio Velho (Ordovician) volcanic successions of the Camaquã Basin, southern Brazil. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, 4., 2003, Salvador, **Short papers**, v. II, p. 491-494.
- Alves, D.B. 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobras. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 1 (2): 157-175.
- Asahara, Y.; Tanaka, T.; Kamioka, H.; Nishimura, A. & Yamazaki, T. 1999. Provenance of the north Pacific sediments and process of source material transport as derived from Rb-Sr isotopic systematics. **Chemical Geology**, 158: 271-291.
- Babinski, M.; Chemale Jr., F.; Van Schmus, W.R.; Hartmann, L.A. & Silva, L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 10 (3-4): 263-274.
- Ball, T. T. & Farmer, G.L. 1998. Infilling history of a Neoproterozoic intracratonic basin: Nd isotope provenance studies of the Uinta Mountain Group, Western United States. **Precambrian Research**, 87: 1-18.
- Basu, A. 1985. Influence of climate and relief on compositions of sands released at source area. In: Zuffa, G.G. (Ed.) **Provenance of Arenites**, NATO ASI Series (C), v. 148, p. 1-18.
- Bitencourt, M.F.A.S. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS - Geologia e relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1., Porto Alegre, 1983, **Atas.**, SBG, p. 37-49.
- Borba, A.W. 2001. **Formação Santa Bárbara (Eo-Paleozóico da região de Caçapava do Sul, RS): uma nova visão através de técnicas estratigráficas e geocronológicas**. Porto Alegre, 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Borba, A.W. & Mizusaki, A.M.P. 2002. Significado tectônico dos depósitos de leques aluviais da Formação Santa Bárbara (Eo-Paleozóico) na região de Caçapava do Sul (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, 29 (1): 31-41.
- Borba, A.W. & Mizusaki, A.M.P. 2003. Santa Bárbara Formation (Caçapava do Sul, southern Brazil): depositional sequences and evolution of an Early Paleozoic post-collisional basin. **Journal of South American Earth Sciences**, 16 (5): 365-380.
- Brown, G. & Brindley, G.W. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brindley, G.W. & Brown, G. (Eds.) **Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification**. London, Mineralogical Society, p. 305-359.
- Caravaca, G. 1998. **Estratigrafia, faciologia e proveniência dos alogrupos Bom Jardim e Santa Bárbara na região de Encruzilhada do Sul, RS: uma contribuição à análise da Bacia do Camaquã**. Porto Alegre, 139p., Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-riograndense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**, CIGO-UFRGS, p. 13-52.
- Cordani, U.G.; Halpern, M. & Berenholc, M. 1974. Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre. In: **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**, texto explicativo das folhas de Porto Alegre e Lagoa Mirim, DNPM, Brasília, p. 70-77.
- Dasch, E.J. 1969. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 33: 1521-1552.
- DePaolo, D.J. 1988. **Neodymium Isotope Geochemistry, an introduction**. Springer-Verlag, 187 pp.
- De Ros, L.F.; Morad, S. & Paim, P.S.G. 1994. The role of detrital composition and climate on the diagenetic evolution of continental molasses: evidence from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. **Sedimentary Geology**, 92: 197-228.
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (Ed.) **Provenance of Arenites**, NATO ASI Series (C), v. 148, p. 333-361.
- Drever, J.I. 1971. Early diagenesis of clay minerals, Rio Ameca Basin, Mexico. **Journal of Sedimentary Petrology**, 41(4): 982-984.
- Eisenhauer, A.; Meyer, H.; Rachold, V.; Tütken, T.; Wiegand, B.; Hansen, B.T.; Spielhagen, R.F.; Lindemann, F. & Kassens, H. 1999. Grain size separation and sediment mixing in Arctic Ocean sediments: evidence from the strontium isotope systematics. **Chemical Geology**, 158: 173-188.
- Farmer, G.L.; Espinoza, G.; Morales, M.; Martin, M.W. & Bowring, S.A. 2001. Nd isotope constraints on sources of Neoproterozoic to Early Cambrian siliciclastic sedimentary rocks in northern Sonora. **Journal of South American Earth Sciences**, 14: 437-446.

- Faure, G. 1986. **Principles of Isotope Geology**. New York, John Wiley & Sons, 587 pp.
- Frantz, J.C.; Botelho, N.F.; Pimentel, M.M.; Potrel, A.; Koester, E. & Teixeira, R.S. 1999. Relações isotópicas Rb-Sr e Sm-Nd e idades do magmatismo granítico brasileiro da região leste do Cinturão Dom Feliciano no Rio Grande do Sul: evidências de retrabalhamento de crosta continental paleoproterozóica. **Revista Brasileira de Geociências**, **29** (2): 227-232.
- Gibbs, R.J. 1965. Error due to segregation in quantitative clay mineral X-ray diffraction mounting technique. **American Mineralogist**, **50**: 741-751.
- Gleason, J.D.; Patchett, P.J.; Dickinson, W.R. & Ruiz, J. 1994. Nd isotopes link Ouachita turbidites to Appalachian sources. **Geology**, **22**: 347-350.
- Gleason, J.D.; Patchett, P.J.; Dickinson, W.R. & Ruiz, J. 1995. Nd isotope constraints on sediment sources of the Ouachita-Marathon fold belt. **Geological Society of America Bulletin**, **107** (10): 1192-1210.
- Goñi, J.C.; Goso, H. & Issler, R.S. 1962. Estratigrafia e geologia econômica do Pré-Cambriano e Eo-Paleozóico Uruguaio e Sul-riograndense. **Avulso da Escola de Geologia da UFRGS**, **3**: 1-105.
- Gresse, P.G.; Chemale Jr., F.; Silva, L.C.; Walraven, F. & Hartmann, L.A. 1996. Late- to post-orogenic basins of the Pan-African-Brazilian collision orogen in southern Africa and southern Brazil. **Basin Research**, **8**: 157-171.
- Hartmann, L.A. 1987. Isócrona Sm-Nd de $2,1\text{Ga}$ em minerais de duas amostras do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, **1**, **Anais.**, v. 1: 105-111.
- Hartmann, L.A.; Silva, L.C.; Remus, M.V.D.; Leite, J.A.D. & Phillip, R.P. 1998. Evolução geotectônica do Sul do Brasil e Uruguai entre $3,3\text{Ga}$ e 470Ma . In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, **2.**, Punta del Este, 1998, **Actas.**, p. 277-284.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R. & Coimbra, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, **5** (4): 257-266.
- Howard, J.L. 1993. The statistics of counting clasts in rudites: a review, with examples from the upper Palaeogene of southern California, USA. **Sedimentology**, **40**: 157-174.
- Kawashita, K. 1972. **O método Rb-Sr em rochas sedimentares**. São Paulo, 111p. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo.
- Kawashita, K.; Pinto, M.S.; Soares, E. & Marques, F. 1997. Proposal for consensus Sr-87/Sr-86 values for reference samples NBS-987 and SrN (E&A). In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, Campos do Jordão, Brazil, 1997, **Extended.**, p. 154-156.
- Koester, E.; Soliani Jr., E.; Fernandes, L.A.D.; Kraemer, G. & Tommasi, A. 1997. Geocronologia Rb/Sr e K/Ar dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu na região de Encruzilhada do Sul (RS). **Pesquisas**, **24** (1/2): 67-77.
- Leite, J.A.D.; McNaughton, N.J.; Hartmann, L.A.; Chemale Jr., F. & Remus, M.V.D. 1995. SHRIMP U/Pb zircon dating applied to the determination of tectonic events: the example of the Caçapava do Sul Batholith, Pedreira Inducal, Caçapava do Sul, Brazil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, **5.**, Gramado, 1995. **Boletim.**, p. 389-390.
- Leites, S.R.; Lopes, R.C.; Wildner, W.; Porcher, C.A. & Sander, A. 1990. Divisão litofaciológica da Bacia do Camaquã na Folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul, RS, e sua interpretação paleoambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **36.**, Natal, 1990, **Boletim.**, p. 300-312.
- Lima, E. F. 1995. **Petrologia das rochas vulcânicas e hipabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS**. Porto Alegre, Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 1998. O vulcanismo shoshonítico e alcalino da Bacia do Camaquã: Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, **2.**, Punta del Este, 1998, **Actas.**, p. 263-268.
- Mantovani, M.S.M.; Hawkesworth, C.J. & Basei, M.A.S. 1987. Nd and Pb isotope studies bearing on crustal evolution of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, **17** (3): 263-268.
- Marensi, S.A.; Net, L.I. & Santillana, S.N. 2002. Provenance, environmental and paleogeographical controls on sandstone composition in an incised-valley system: the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. **Sedimentary Geology**, **150**: 301-321.
- McLennan, S.M.; Taylor, S.R.; McCulloch, M.T. & Maynard, J.B. 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate-tectonic associations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **54**: 2015-2050.
- Mizusaki, A.M.P. 1992. **Comportamento do Rb e do Sr em sedimentos recentes: implicação na datação radiométrica de rochas sedimentares**. São Paulo, 140p., Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo.
- Mizusaki, A.M.P.; Kawashita, K. & Thomaz-Filho, A. 1998. Razão Isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em Sedimentos Recentes – Implicações na Datação Radiométrica de Rochas Sedimentares. **Pesquisas**, **25** (1): 75-88.
- Nardi, L.V.S. 1984. **Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil**. 268 p. Tese de Doutorado, University of London (UK).
- Nelson, B.K. & DePaolo, D.J. 1988. Comparison of isotopic and petrographic provenance indicators in sediments from Tertiary continental basins of New Mexico. **Journal of Sedimentary Petrology**, **58** (2): 348-357.
- Paim, P.S.G.; Chemale Jr., F. & Lopes, R.C. 1995. Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã – Vendiano superior/Ordoviciano inferior do RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **4.**, Porto Alegre, 1995, **Atas.**, p. 39-50.
- Paim, P.S.G.; Chemale Jr., F. & Lopes, R.C. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**, CIGO-UFRGS, p. 231-274.
- Pimentel, M.M.; Dardenne, M.A.; Fuck, R.A.; Viana, M.G.; Junges, S.L.; Fischel, D.P.; Seer, H.J. & Dantas, E.L. 2001. Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, **14**: 571-585.
- Porada, H. 1979. The Damara-Ribeira Orogen of the Pan-African/Brazilian Cycle in Namibia (southwest Africa) and Brazil as interpreted in terms of continental collision. **Tectonophysics**, **57**: 237-265.
- Remus, M.V.D.; Hartmann, L.A.; McNaughton, N.J. & Fletcher, I.R. 1999. SHRIMP U/Pb zircon ages of volcanism from the São Gabriel Block, southern Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, **1.**, 1999, Gramado, **Boletim.**, Porto Alegre, UFRGS, p. 83.
- Robertson, J.F. 1966. Revision of the stratigraphy and nomenclature of rock units in the Caçapava-Lavras region, State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Notas e Estudos – IG/UFRGS**, **1** (2): 41-54.
- Sartori, P.L.P. & Kawashita, K. 1985. Petrologia e geocronologia do Batólito granítico de Caçapava do Sul, RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **2.**, Florianópolis, 1985, **Atas.**, SBG, p. 102-115.
- Scherer, C.M.S.; Paim, P.S.G.; Melo, M.A. 2003. Estratigrafia de alta resolução em sucessões flúvio-eólicas: o exemplo do Alogruppo Guaritas (Bacia do Camaquã) na localidade da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, **1.**, Porto Alegre, 2003, **Anais.**, p. 99-104.
- Soliani Jr., E. 1986. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e suas implicações de ordem geotectônica**. São Paulo, 239p., Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D.; Piersan, R. & Waichel, B.L. 2003. Stratigraphy of the Acampamento Velho Alloformation in the Ramada Plateau, Vila Nova do Sul region,

- RS. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, 1., Porto Alegre, 2003, **Anais.**, p. 105-110.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M. 1985. **The continental crust: its composition and evolution.** Blackwell Scientific, Oxford.
- Teixeira, W. 1982. **Folhas SH.22 – Porto Alegre, SI.22 – Lagoa Mirim e SH.21 – Uruguiana. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica.** Projeto RADAMBRASIL, Florianópolis (relatório interno).
- Thomaz-Filho, A. 1976. **Potencialidades do método Rb-Sr para datação de rochas sedimentares.** São Paulo, 124p. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo.
- Thomaz-Filho, A. & Lima, V.Q. 1979. Datação radiométrica de rochas sedimentares pelíticas pelo método Rb-Sr. Rio de Janeiro, Petrobras, Cenpes, 1979, **Relatório interno**, nº 14.
- Ugidos, J.M.; Valladares, M.I.; Recio, C.; Rogers, G.; Fallick, A.E. & Stephens, W.E. 1997. Provenance of Upper Precambrian – Lower Cambrian shales in the Central Iberian Zone, Spain: evidence from a chemical and isotopic study. **Chemical Geology**, **136**: 55-70.
- van de Kamp, P.C. & Leake, B.E. 1995. Petrology and geochemistry of siliciclastic rocks of mixed feldspathic and ophiolitic provenance in the Northern Apennines, Italy. **Chemical Geology**, **122**: 1-20.
- Vasquez, M.L. 1997. **Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul-RS.** Porto Alegre, 195p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Zuffa, G.G. 1985. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: Zuffa, G.G. (Ed.) **Provenance of Arenites**, NATO ASI Series (C), v. 148, p. 165-189.