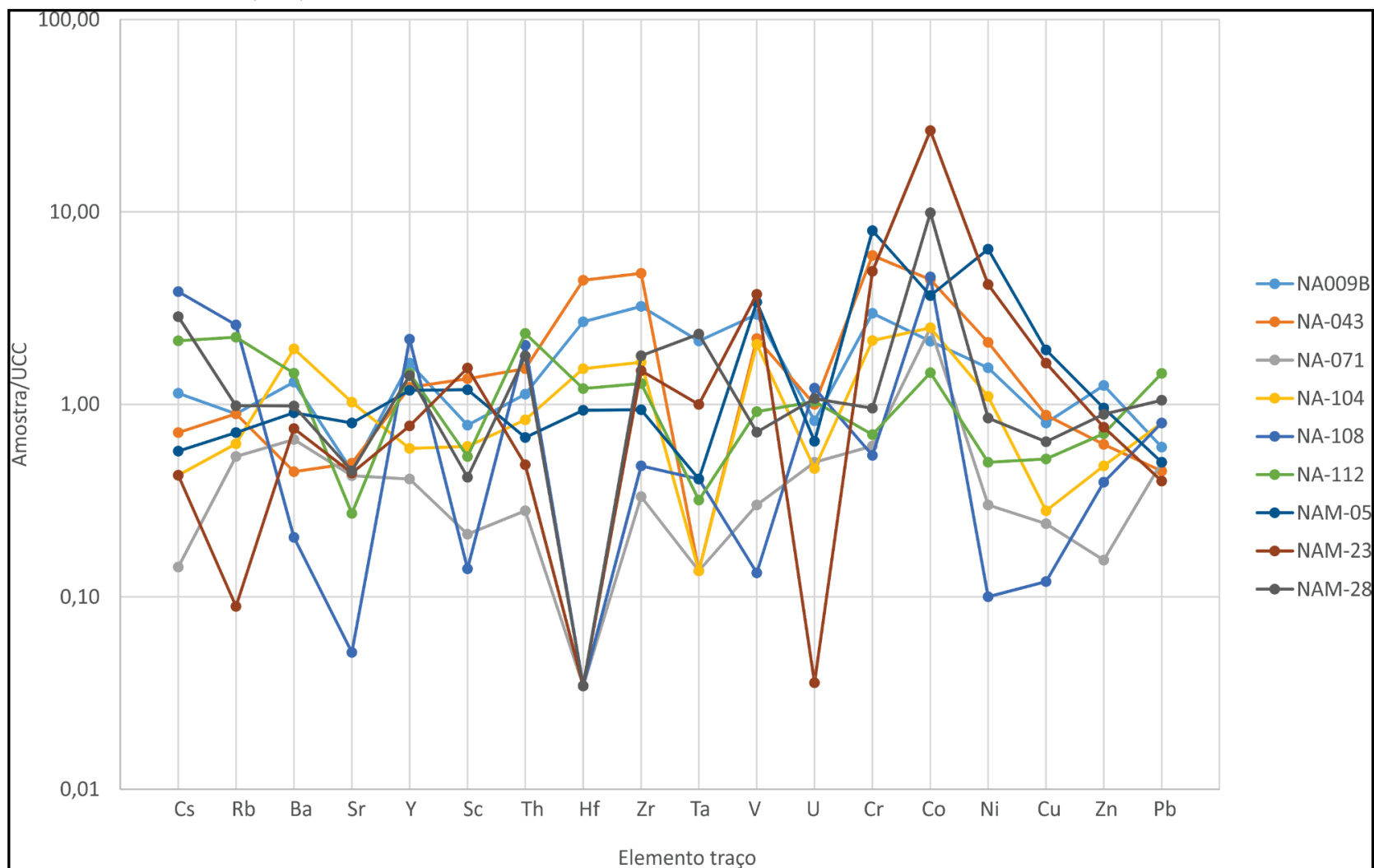


Figura 34 - Diagrama *Spiderplot* de elementos menores das amostras de RT normalizados pela Crosta Continental Superior (CCS) de TAYLOR E McLENNAN (1995)



Legenda Elementos estão dispostos no diagrama em ordem decrescente de raio iônico.

Fonte: A autora, 2018.

A composição química dos elementos maiores da fração silte grosso é apresentada na tabela 9, com as amostras exibidas em ordem crescente de SiO<sub>2</sub>, onde foram comparados com a composição média dos folhelhos australianos PAAS (*Post Archean Australian Shale*) de McLENNAN (1989).

Tabela 10 - Composição química da fração silte grosso das amostras estudadas e da média da dos folhelhos australianos PAAS (*Post Archean Australian Shale*).

AMOSTRA (%)	NA- 043H	NAM- 23H	NA- 009BH	NAM- 05H	NAM- 28H	PAAS
SiO <sub>2</sub>	45,4	60,9	62,3	62,4	67,9	62,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,1	11,0	12,5	12,8	14,0	18,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	11,4	11,9	10,3	9,6	5,5	7,2
MnO	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
MgO	10,3	3,5	3,6	4,5	2,3	2,2
CaO	16,2	5,8	4,1	4,9	3,9	1,3
Na <sub>2</sub> O	1,4	2,0	2,4	1,7	2,3	1,2
K <sub>2</sub> O	2,1	1,6	2,2	2,1	3,0	3,7
TiO <sub>2</sub>	2,5	3,0	2,1	1,6	0,9	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2

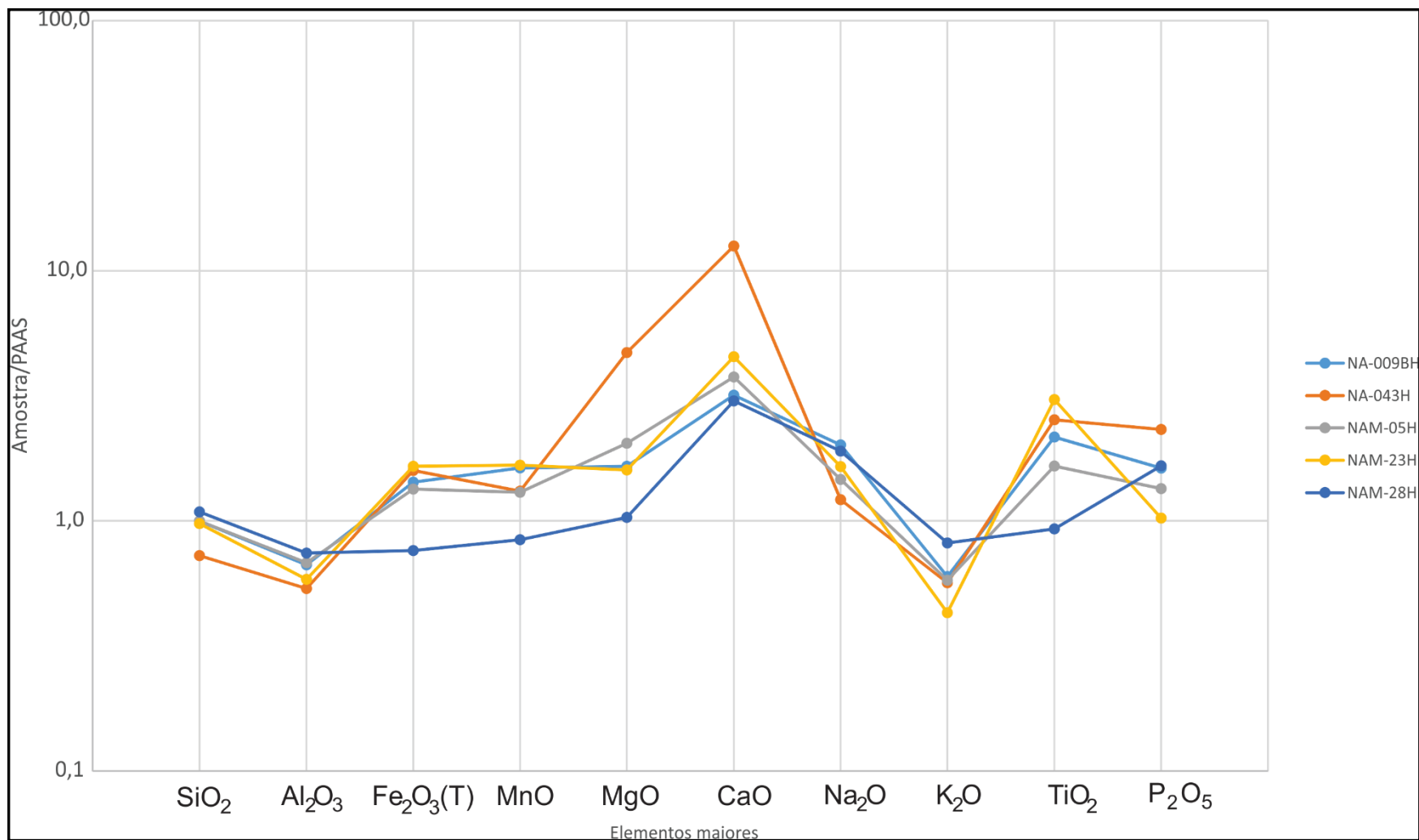
Legenda: Fração silte grosso (36-64 µm) e PAAS. Valores em vermelho são superiores aos da mediada de PAAS (*Post Archean Australian Shale*) de McLENNAN (1989) Amostra em ordem crescente de SiO<sub>2</sub>.

Fonte: A autora, 2018.

Os *Spiderplot* com os elementos maiores da fração silte grosso (36-64 µm), normalizado por PAAS (Figura 35), exibem anomalias negativas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O sugerindo perda de feldspato potássico e anomalias positivas de MgO, CaO (enriquecimento carbonatos), Na<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, indicando possível enriquecimento plagioclásio e apatita, além de anomalias positivas de TiO<sub>2</sub> (exceto na amostra NAM-28H) sugerindo possível enriquecimento de ilmenita.

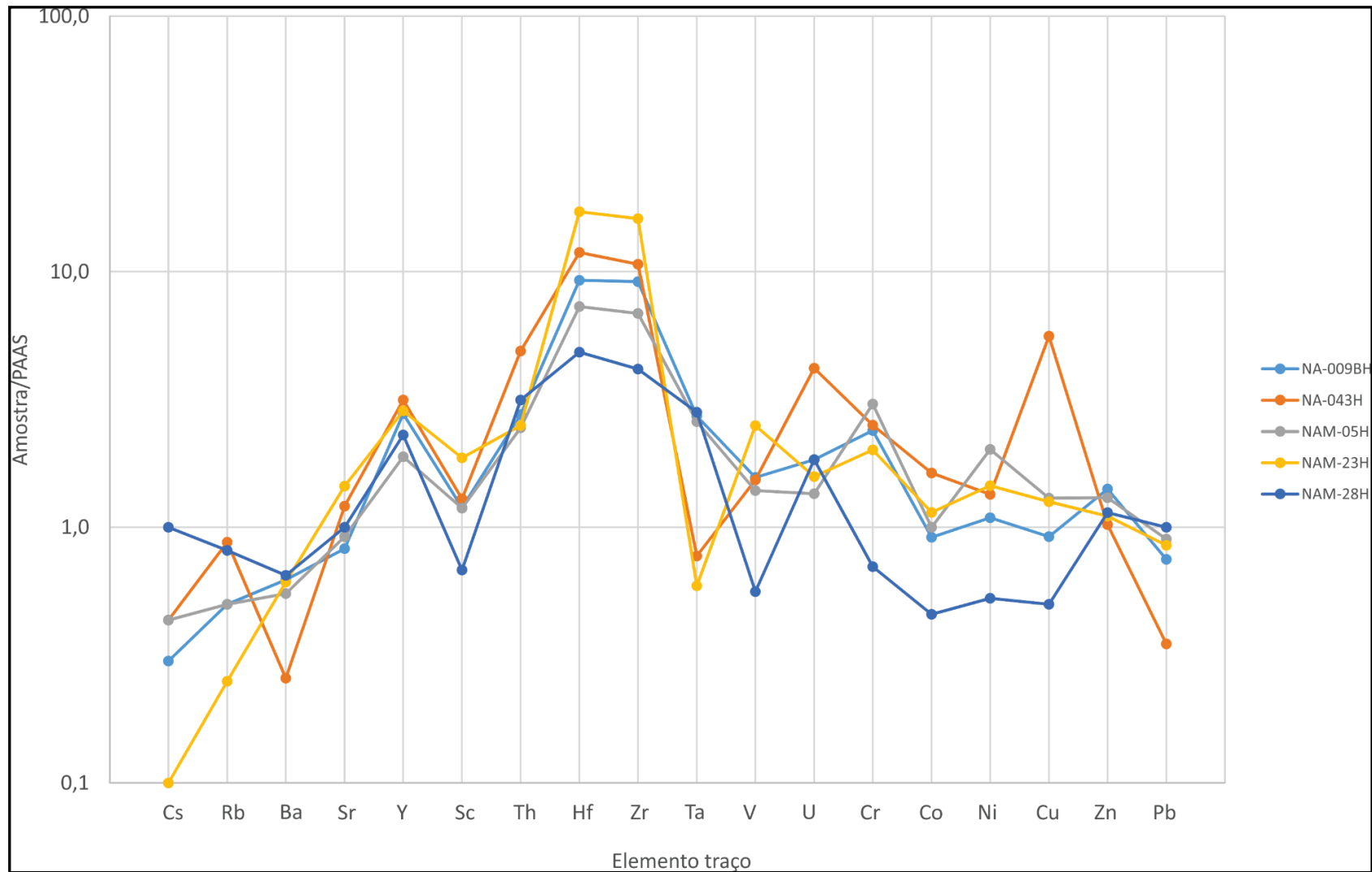
No *Spiderplot* para os elementos traços da fração silte grosso (36-64 µm), normalizado por PAAS (Figura 36), é possível observar anomalias positivas de Y (Ítrio), Hf (Háfênio), Zr (Zircônio), Tório (Th) e Urânio (U) em todas as amostras, sugerindo aumento de minerais como zircão na fração mais fina.

Figura 35 - Diagrama *Spiderplot* de elementos maiores das amostras da fração silte grosso normalizados por PAAS de McLENNAN (1989).



Fonte: A autora, 2018.

Figura 36 - Diagrama *Spiderplot* nde elementos menores das amostras da fração silte grosso normalizados por PAAS de McLENNAN (1989)



Legenda: Elementos estão dispostos no diagrama em ordem decrescente de raio iônico.

Fonte: A autora, 2018.

A análise dos elementos terras raras, normalizadas pelo condrito (BOYTON, 1984), mostra forte fracionamento dos ETR's leves e moderado nas terras raras pesadas em relação ao condrito (Figura 37).

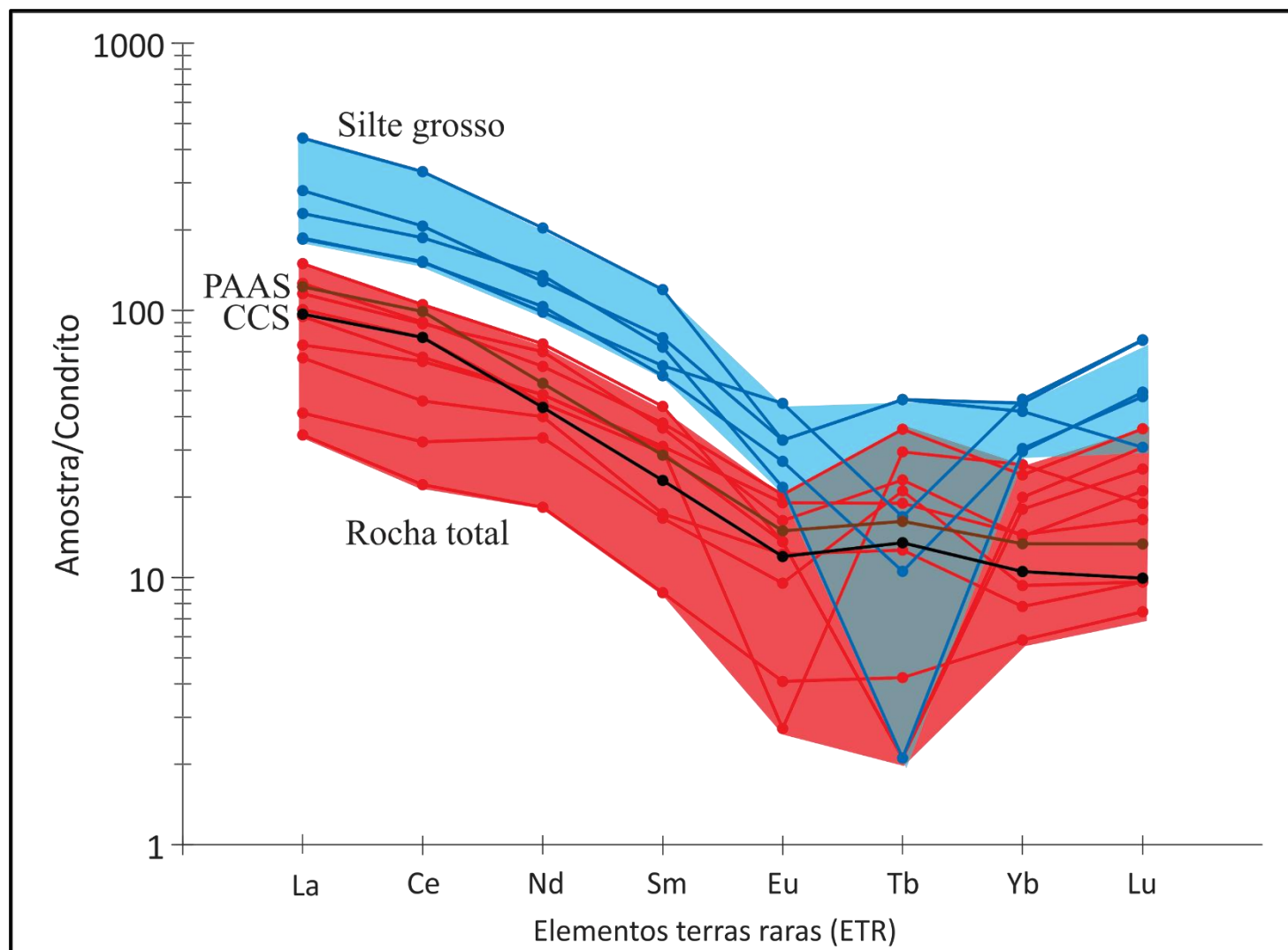
A razão  $La_{(N)}/Yb_{(N)}$  medida no sedimento é 5,7 enquanto que na fração silte grosso (36-64  $\mu\text{m}$ ) é 6,8, sendo que a correlação entre as razões  $La_{(N)}/Yb_{(N)}$  (rocha total) /  $La_{(N)}/Yb_{(N)}$  (fração silte grosso) igual a 1,2 mostrando fracionamento semelhantes entre as frações.

Em relação ao fracionamento entre ETR's leves e pesados quando comparados com a rocha total e a fração silte grosso, é possível observar que a fração silte grosso é mais enriquecida em ETR's leves, mas fraciona pouco, sendo sua razão  $La_{(N)}/Sm_{(N)}$  igual a 3,4 e também enriquece em ETR's pesados e não fraciona ( $Tb_{(N)}/Yb_{(N)} = 0,6$ ). Nas amostras de sedimentos de rocha total, o fracionamento dos ETR's leves é praticamente igual ao fracionamento da fração silte,  $La_{(N)}/Sm_{(N)}$  igual a 3,4 e não fraciona para os ETR's pesados ( $Tb_{(N)}/Yb_{(N)} = 1,1$ ). Os valores dos ETR's normalizados encontram-se no Apêndice D.

Os valores da média dos ETR's da CCS e PAAS normalizados pelo condrito situam-se no campo das amostras de rocha deste trabalho (Figura 37).

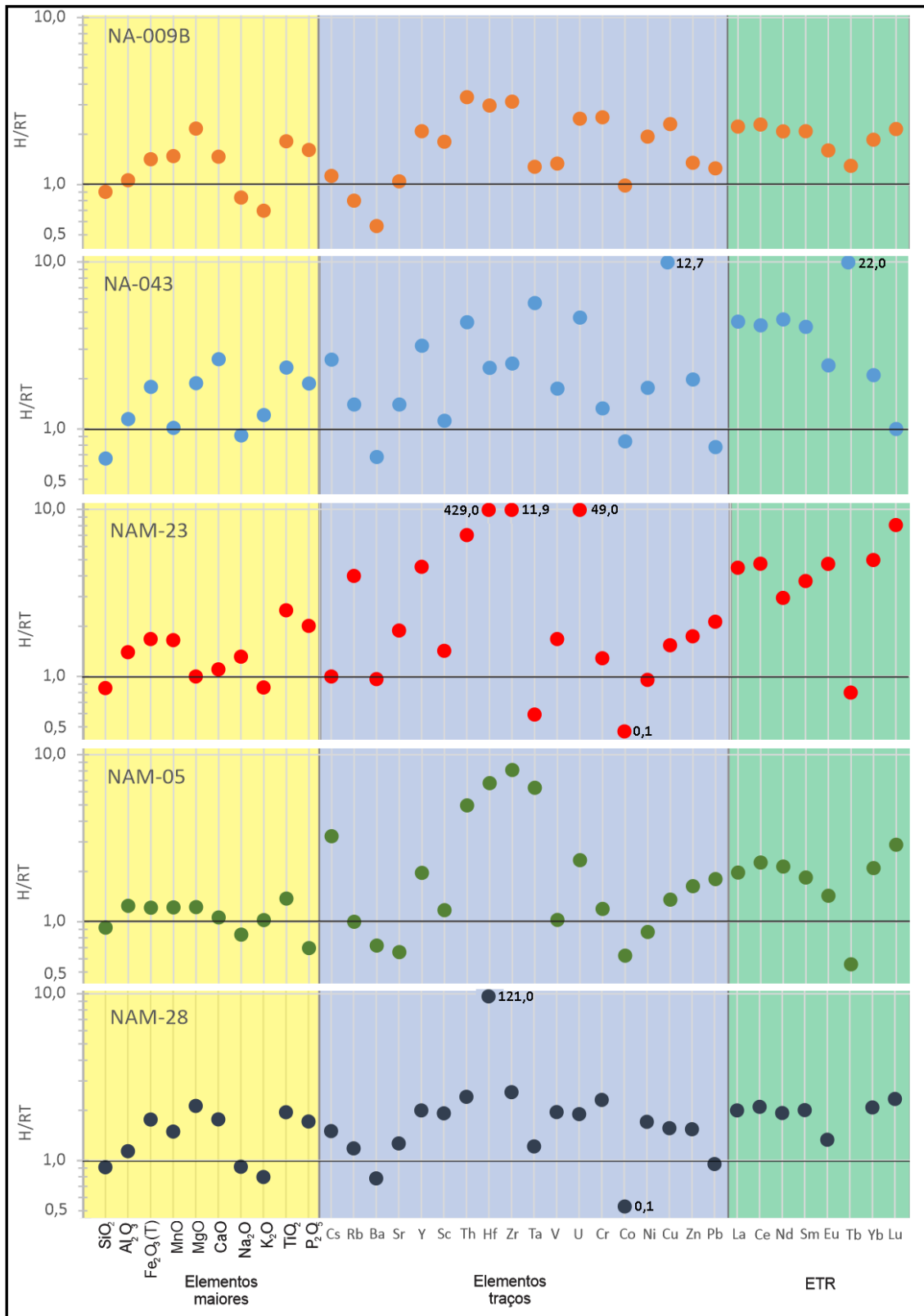
O fracionamento químico entre as análises de rocha total e a fração silte grosso (36-64  $\mu\text{m}$ ) é significativo (Figura 38). A  $SiO_2$  diminui de rocha total para fração silte em todas as amostras e o  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3(T)$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$  (exceto NAM-05H) aumentam. O  $Na_2O$  diminui para as amostras com exceção da NAM-23H e o  $K_2O$  aumenta somente para as amostras NA-043H e NAM-05H. Em relação aos elementos traços, todos (exceto Ba, Co e Tb) tendem a aumentar da rocha total para a fração silte grosso.

Figura 37- Diagrama de elementos terras raras na fração normalizado pelo condrito (BOYTON, 1984).



Fonte: A autora, 2018.

Figura 38 - Diagrama do fracionamento dos elementos químicos das amostras.



Legenda: fração silte grosso (36-64  $\mu\text{m}$ ) normalizado em relação a rocha total.

Fonte: A autora, 2018.

#### 5.4.1 Aplicação da geoquímica no estudo de proveniência sedimentar

Dados de geoquímica possuem grande importância para os estudos de proveniência e caracterização de sedimentos reconstruindo a história do aporte sedimentar, erosão da rocha-fonte e as características da área-fonte (NESBITT et al., 1990; COX et al., 1995).

### 5.5 Composição isotópica

As razões isotópicas  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 9 amostras de sedimento rocha total, 8 amostras da fração H (entre 36-64  $\mu\text{m}$ ), 8 amostras da fração KN (entre 1,8-18  $\mu\text{m}$ ) e 8 amostras da fração OT (abaixo de 1,8  $\mu\text{m}$ ) são mostrados na tabela 10.

O diagrama da figura 39 apresenta os dados de  $\epsilon \text{Nd}(0) \times ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0)$  de assinaturas isotópicas dos principais terrenos geológicos da área de estudo a partir de um banco de dados (Apêndice E) construído a partir da literatura.

As razões obtidas das amostras rocha total e silte grosso H (entre 36-64  $\mu\text{m}$ ) foram plotadas no diagrama  $\epsilon \text{Nd}(0) \times ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0)$ , dos polígonos representativos de cada terreno com base nos dados da literatura (Figura 40).

Tabela 11 - Razões isotópicas (continua).

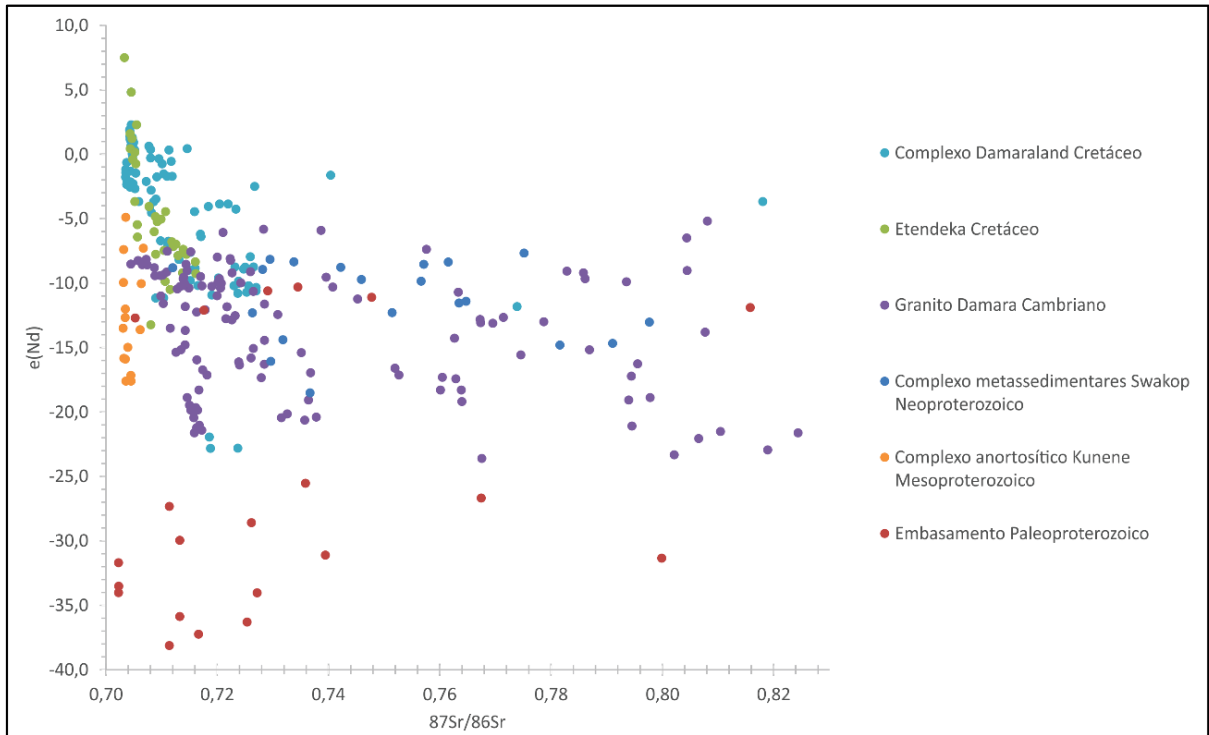
<b>Amostra</b>	<b><math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math></b>	<b>Erro absoluto (2<math>\sigma</math>)</b>	<b><math>^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}</math></b>	<b>Erro absoluto (2<math>\sigma</math>)</b>	<b><math>\epsilon(\text{Nd})</math></b>
<b>NA-009B</b>	0,714559	0,000008	0,512405	0,000005	-4,5
<b>NA-009BH</b>	0,717638	0,000009	0,512168	0,000009	-9,2
<b>NA-009BKN</b>	0,721962	0,000005	0,512177	0,000005	-9,0
<b>NA-009BOT</b>	0,721631	0,000005	0,512214	0,000009	-9,3
<b>NAM-05</b>	0,709580	0,000004	0,512360	0,000004	-5,4
<b>NAM-05H</b>	0,717258	0,000007	0,512211	0,000004	-8,3
<b>NAM-05KN</b>	0,717722	0,000008	0,512173	0,000009	-9,1
<b>NAM-05OT</b>	0,716644	0,000004	0,512240	0,000004	-7,8
<b>NA-112</b>	0,741151	0,000012	0,512114	0,000005	-10,2
<b>NA-112H</b>	0,739351	0,000010	0,512102	0,000005	-10,5



<b>Amostra</b>	<b><math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math></b>	<b>Erro absoluto (2<math>\sigma</math>)</b>	<b><math>^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}</math></b>	<b>Erro absoluto (2<math>\sigma</math>)</b>	<b><math>\epsilon(\text{Nd})</math></b>
<b>NA-112KN</b>	0,738965	0,000011	0,512096	0,000003	-10,6
<b>NA-112OT</b>	0,732411	0,000008	0,512035	0,000011	-11,8
<b>NAM-28</b>	0,732330	0,000005	0,512184	0,000004	-8,9
<b>NAM-28H</b>	0,727845	0,000010	0,512142	0,000003	-9,7
<b>NAM-28KN</b>	0,726585	0,000008	0,512109	0,000003	-10,3
<b>NAM-28OT</b>	0,724678	0,000011	0,512226	0,000010	-8,0
<b>NA-108</b>	0,822664	0,000010	0,512237	0,000006	-7,8
<b>NA-108 H</b>	0,754773	0,000006	0,512193	0,000003	-8,7
<b>NA-108 KN</b>	0,749100	0,000007	0,512158	0,000009	-9,4
<b>NA-108 OT</b>	0,740245	0,000006	0,512147	0,000007	-9,6
<b>NAM 23</b>	0,719553	0,000005	0,512094	0,000005	-10,6
<b>NAM-23H</b>	0,722588	0,000010	0,511848	0,000009	-15,4
<b>NAM-23KN</b>	0,723006	0,000008	0,511871	0,000004	-15,0
<b>NAM-23OT</b>	0,721146	0,000012	0,511855	0,000010	-15,3
<b>NA-071</b>	0,726994	0,000004	0,512022	0,000005	-12,0
<b>NA-043</b>	0,718384	0,000010	0,512004	0,000006	-12,4
<b>NA-043H</b>	0,716456	0,000007	0,512014	0,000007	-12,2
<b>NA-043KN</b>	0,716093	0,000007	0,511936	0,000009	-13,7
<b>NA-043OT</b>	0,714646	0,000008	0,512065	0,000009	-11,2
<b>NA-104</b>	0,716381	0,000007	0,511806	0,000007	-16,2
<b>NA-104H</b>	0,714680	0,000007	0,511788	0,000003	-16,6
<b>NA-104KN</b>	0,715147	0,000005	0,511761	0,000005	-17,1
<b>NA-104OT</b>	0,716027	0,000010	0,511447	0,000032	-23,2

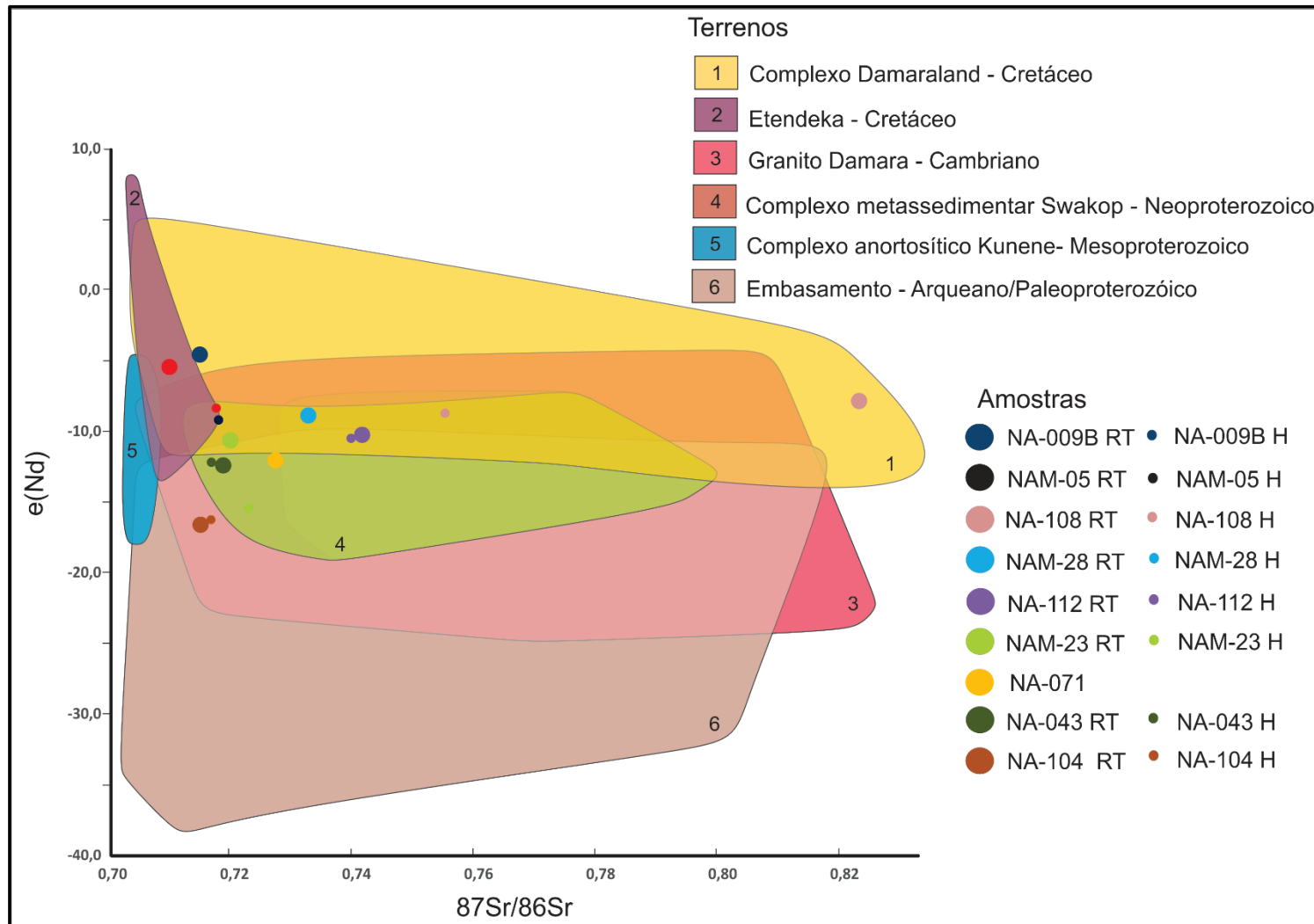
Legenda: Amostras ordenadas pelo  $\epsilon(\text{Nd})$  crescente da rocha total.

Fonte: A autora, 2018

Figura 39 - Diagrama de  $\epsilon(\text{Nd}) \times 87\text{Sr}/86\text{Sr}$  de dados da literatura das principais unidades litoestratigráficas.

Fonte: Referências no Apêndice E.

Figura 40 - Composição de Nd e Sr das amostras estudadas. Rocha total (RT) e fração silte grosso H (36-64  $\mu\text{m}$ ) em relação a dados da literatura para as diferentes unidades litoestratigráficas.



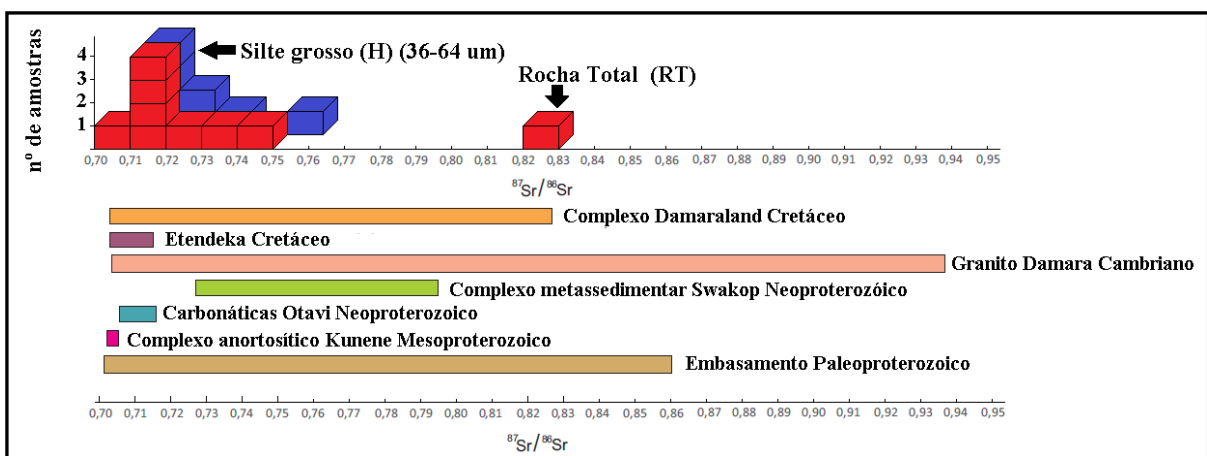
Legenda: Compilação de dados da literatura no Apêndice E.

Fonte: A autora, 2018

Os resultados sugerem que a assinatura de cada amostra, como esperado, reflete aquela das associações litológicas próximas, ou com indicações isotópicas de mistura isotópica de duas ou mais áreas fontes próximas.

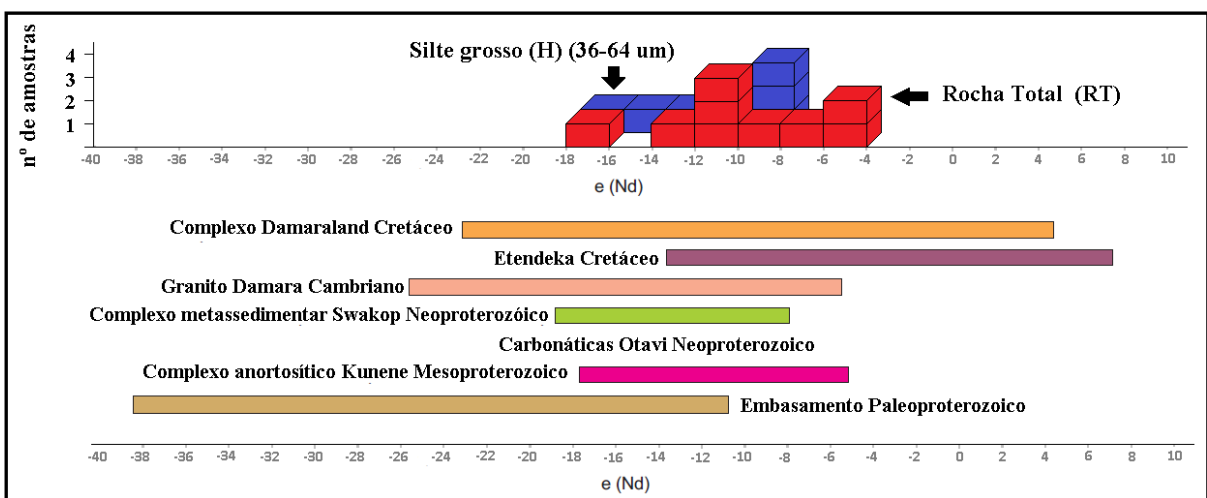
Outra forma de representar em quais terrenos compilados as amostras de sedimentos estão inseridas, é no gráfico de barras das figuras 41 e 42. Nestes gráficos foi possível acrescentar o terreno da sucessão carbonática Otavi para valores de Sr. Os valores de  $\epsilon$  (Nd) dessa sucessão não foram encontrados na literatura.

Figura 41 - Gráfico de colunas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  da rocha total e fração silte grosso das amostras de sedimentos versus gráfico de barras dos principais terrenos geológicos.



Legenda: Cubo vermelho, amostras rocha total. Cubo azul, amostra em fração silte grosso H (36-64  $\mu\text{m}$ ).  
Fonte: A autora, 2018.

Figura 42 - Gráfico de colunas  $\epsilon$  (Nd) da rocha total e fração silte grosso das amostras de sedimentos versus gráfico de barras dos principais terrenos geológicos.



Legenda: Cubo vermelho, amostras rocha total. Cubo azul, amostra em fração silte grosso H (36-64  $\mu\text{m}$ ).  
Fonte: A autora, 2018.

### 5.5.1 Fracionamento isotópico X tamanho do grão

Neste trabalho foram realizadas análises isotópicas para a rocha total e para as 3 frações granulométricas: H (entre 36-64  $\mu\text{m}$ ), KN (entre 1,8-18  $\mu\text{m}$ ) e OT (menor que 1,8  $\mu\text{m}$ ), exceto para amostra NA-071, devido falta de massa nas frações descritas.

Diversos trabalhos publicados na literatura já haviam verificado o efeito do tamanho do grão nas assinaturas isotópicas de Sr e Nd: ABOUCHAMI et al., (2013), AARONS et al., (2013), GAIEIRO (2007), GROUSSET E BISCAYE, (2005) e BISCAYE, et al., (1997). Esses autores defendem que a razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  aumenta quando o tamanho do grão diminui, enquanto que para a razão  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  não observaram tendência linear aparente. Geoquimicamente essa proposta é válida, pois as frações mais finas tendem a concentrar mais argilominerais que são ricos em Rb (K) com maior concentração de Sr radiogênico gerado pelo Rb, aumentando a razão isotópica.

Nos resultados do fracionamento das amostras de sedimentos razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e  $\epsilon$  (Nd) em relação ao tamanho do grão são mostrados nas figuras 43 e 44.

Conforme visto nesses diagramas, a fração granulométrica dos sedimentos estudados não possuem a mesma tendência sistemática em todas as amostras para a razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  com a diminuição da granulometria, conforme esperado. A razão  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  também não mostra nenhuma tendência linear nas amostras.

A razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  das amostras NA108, NA-112, NA-043, NAM-28 diminui com a diminuição da granulometria, enquanto que na amostra NA-104 aumenta. As amostras NA-009B, NAM-05 e NAM-23 são inconclusivas.

Para a razão  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , observa-se sua diminuição em função das classes granulométricas para as amostras NA-108, NA-112 e NA-104 e aumento para a amostra NA-009B. Os dados foram inconclusivos para as amostras NA-043, NAM-28, NAM-05 e NAM-23.

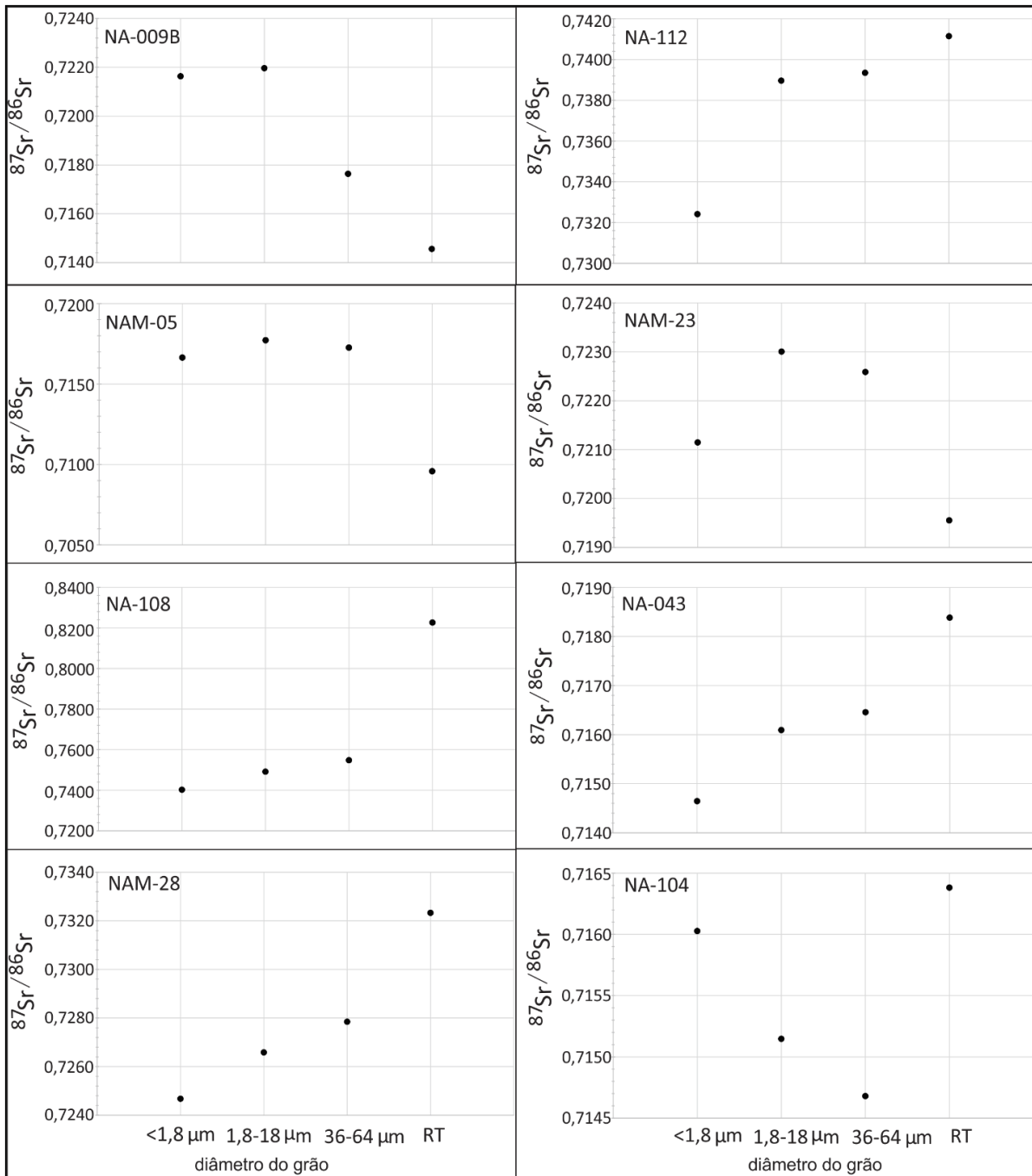
KUMAR, et al., (2014) também não encontraram padrão sistemático para a relação das razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e a granulometria em seu estudo.

Já SVENSSON, et al., (2000), WELDEAB, et al., (2002), AARONS, et al., (2013), LUPKER, et al., (2010), KROM, et al., (1999), GROUSSET, et al., (1988) NAKAI, et al., (1993), COLE, et al., (2009), ROLLAND, et al., (2006) defendem que para os estudos das amostras de poeira e de suas possíveis SA (*Source Area*) necessitam de pré-tratamento para

lixiviação da parte carbonática garantindo que somente o produto silicático deve ser comparado com amostras de poeira encontradas em outros continentes.

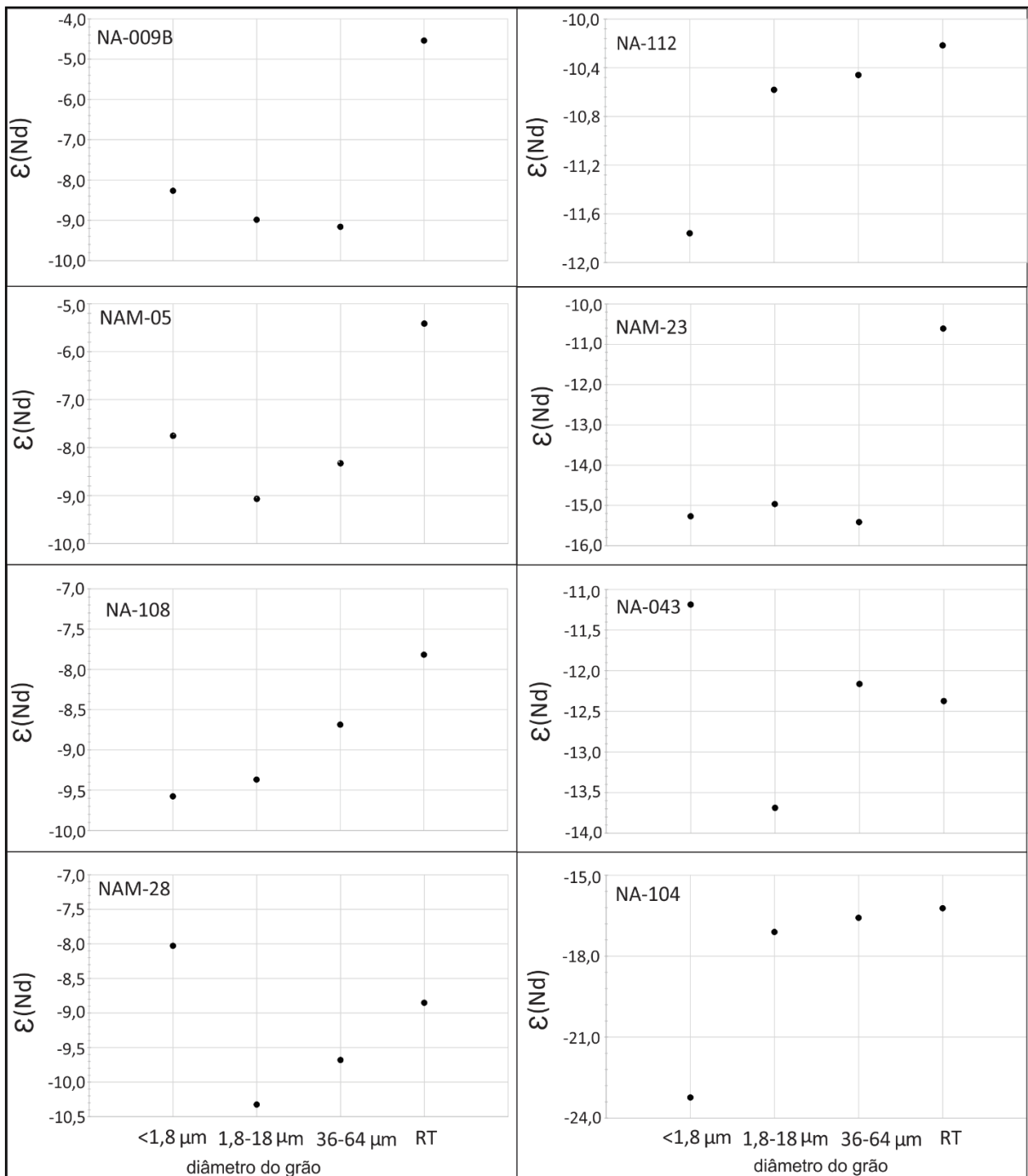
ROLLAND et al., (2006) explicam que o motivo de analisar somente a fração silicática na caracterização de SA é devido a dissolução do carbonato da área fonte durante ao transporte atmosférico através de reações com aerossóis ácidos.

Figura 43 - Diagrama da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus a fração granulométrica das amostras estudadas.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 44 - Diagrama de  $\epsilon(\text{Nd})$  versus a fração granulométrica das amostras estudadas.

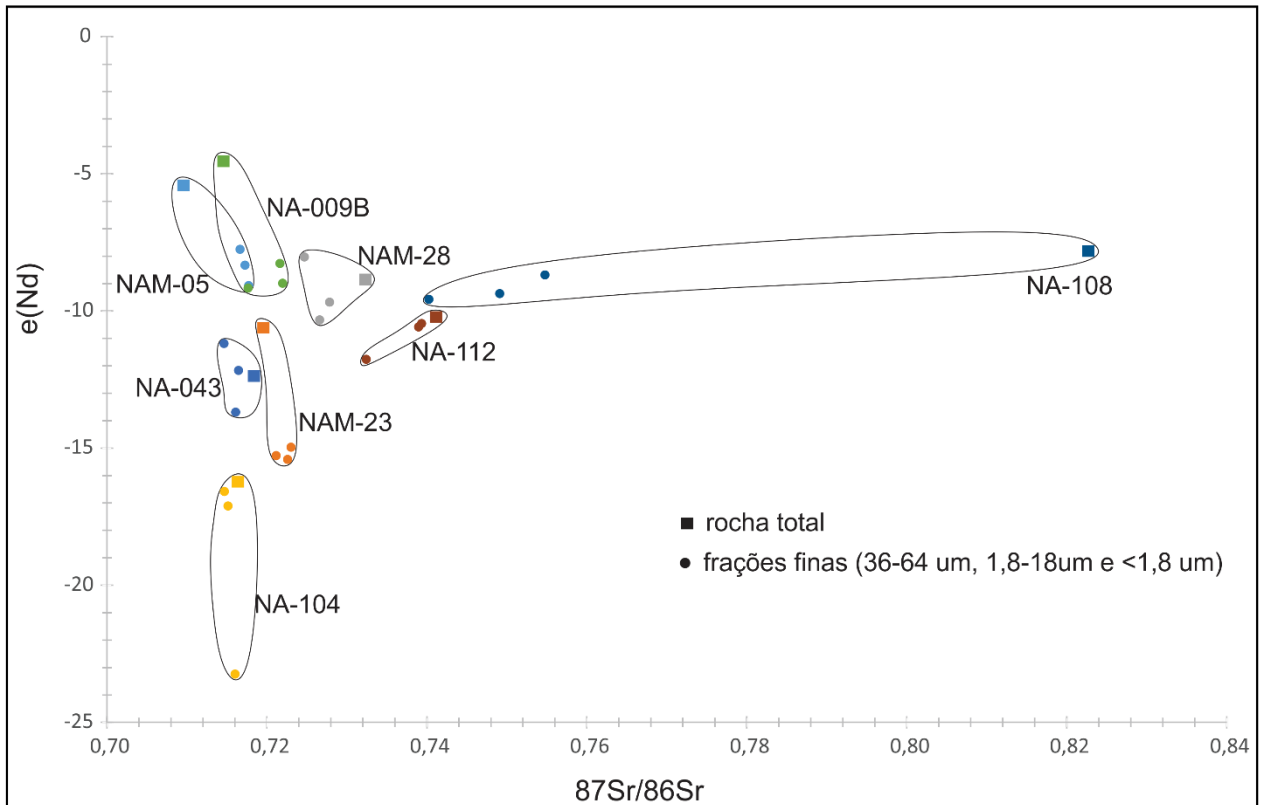


Fonte: A autora, 2018.

A figura 45 apresenta o resultado isotópico de todas as amostras em um diagrama  $\epsilon(\text{Nd})$  (0) X  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0) mostrando uma tendência de diferenciação da rocha total e de suas frações mais finas. Nas amostras NAM-05, NA-009B, NAM-23 e NA-108, a fração fina se distingue significativamente da rocha total e tendem a deslocar para o campo de um  $\epsilon(\text{Nd})$  mais negativo e razões de Sr mais radiogênicas, exceto na amostra NA-108, que apresenta razões de Sr menos radiogênicas. As amostras NA-112 e NA-104 não apresentam uma nítida

separação entre a rocha total e as frações finas, com  $\epsilon$  (Nd) mais negativo e razões de Sr menos radiogênicas. As amostras NAM-28 e NA-043 mostram razões de Sr menos radiogênicas e  $\epsilon$  (Nd) das frações finas variando em relação a rocha total. Com isso é possível concluir que as frações finas possuem diferenças isotópicas significativas, justificando considerar o tamanho do grão para análise de proveniência.

Figura 45 - Diagrama de todas as frações isotópicas analisadas.



Fonte: A autora, 2018

### 5.5.2 Aplicação dos isótopos de Estrôncio e Neodímio no estudo de proveniência sedimentar

A imobilidade dos elementos terras raras (ETR's) favorece o estudo de proveniência de sedimentos. Segundo MCLENNAN, et al. (1990) e NELSON & DEPAOLO, (1988) as assinaturas isotópicas Sm-Nd da rocha-fonte e os parâmetros petrológicos refletem no produto sedimentar corroborando que os processos de erosão, transporte e deposição não afetam o sistema isotópico. Quando há mais de uma área fonte de assinaturas diferentes, a composição do produto sedimentar é a média ponderada das fontes (DICKIN, 2005).



Para o estudo de proveniência sedimentar, utiliza-se com frequência as razões de Sr devido a sua grande variação nas rochas e minerais do manto e da crosta como resultado da elevada variação das razões Rb/Sr. Assim, a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  é única e característica em cada rocha (FAURE, 1986).

DICKIN, (2005), descreve em um estudo, que a idade de sedimentos drenados por rios norte-americanos derivados de rochas ígneas reflete exatamente a idade de residência crustal das suas fontes.