

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os dados da distribuição granulométrica após o peneiramento de 9 amostras de sedimentos, análise petrográfica da fração areia grossa/muito grossa (0,5 - 2,0 mm) de 8 amostras, composição mineralógica por difratometria de raios-X de 9 amostras rocha total e 8 amostras da fração silte grosso (36-64 μm), análise química de 9 amostras de rocha total e de 5 amostras da fração silte grosso (36-64 μm) e análise isotópica de Nd e Sr de 9 amostras rocha total, 8 da fração silte grosso (36-64 μm), 8 fração entre 1,8-18 μm e 8 amostras da fração abaixo de 1,8 μm .

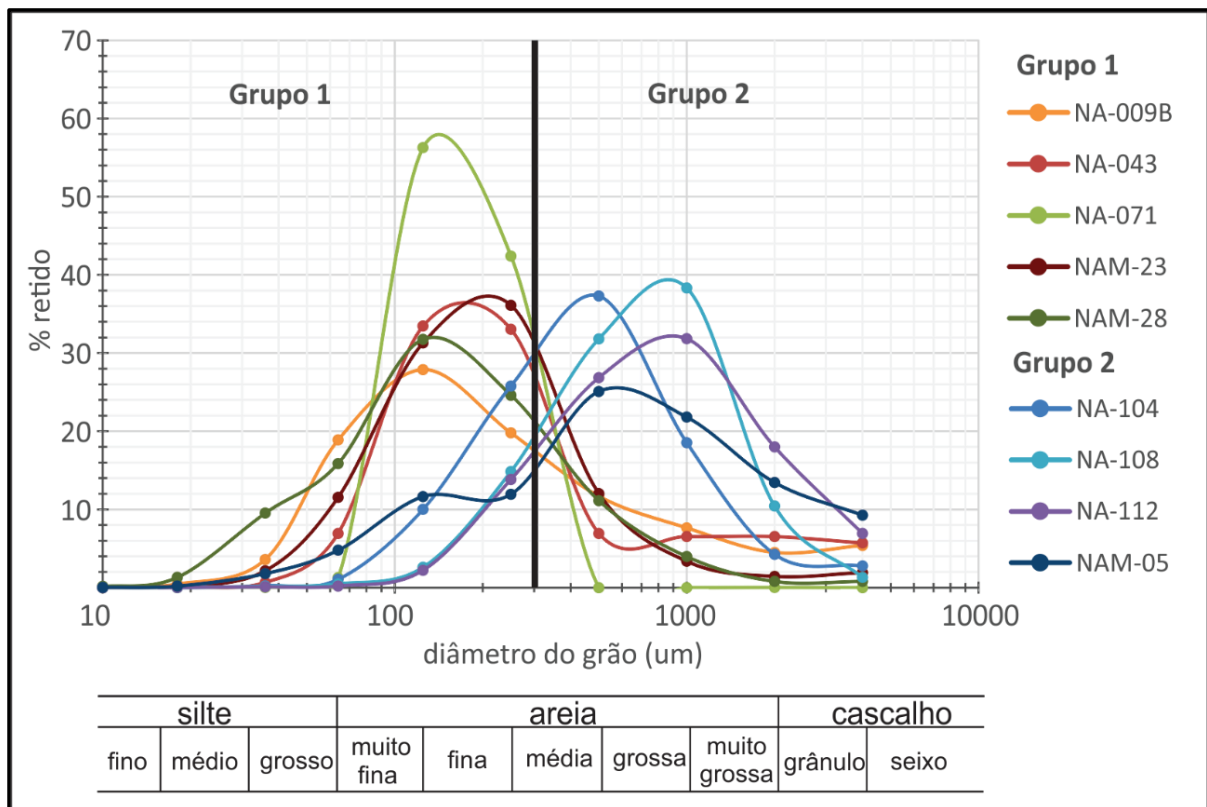
5.1 Distribuição granulométrica

As informações relevantes sobre o terreno geológico, unidade litoestratigráfica, tipo de afloramento, granulometria predominante e maturidade textural de cada amostra estão apresentadas na tabela 4.

Os dados granulométricos (Tabela 5) foram compilados e representados na forma de tabelas e diagramas do percentual retido e acumulado, gráfico de barras e diagramas ternários adotando como referência de classes granulométricas, a escala WENTWORTH, (1922) para análise e interpretação dos resultados.

Na figura 22 é possível visualizar o gráfico da distribuição percentual retido das classes granulométricas das nove amostras. As amostras são essencialmente compostas pela classe areia e, em conjunto, apresentam duas modas: areia fina e areia grossa. Usando esse critério, as amostras foram divididas em dois grupos: Grupo 1 (NA-009B, NA-043, NA-071, NAM-23 e NAM-28) e Grupo 2 (NA-104, NA-108, NA-112 e NAM-05).

Figura 22 - Distribuição granulométrica.



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 4 - Informações das amostras sobre localização geológica, maturidade textural, tipo de afloramento e granulometria predominante. (continua)

Amostra	Terreno geológico	Unidade litoestratigráfica	Tipo de afloramento	Granulometria predominante	Maturidade textural
NA-009B	Faixa Damara	Complexo anorogênico Damaraland - Messum Cretáceo	depósito de encosta	areia muito fina	submaturo
NA-043	Faixa Kaoko	Complexo de rochas metassedimentares Swakop Neoproterozoico	depósito de encosta	areia fina	submaturo
NA-071	Faixa Kaoko	Complexo de rochas metassedimentares Swakop Neoproterozoico	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia fina	supermaturo
NA-104	Cráton Congo/Angola	Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia média	submaturo
NA-108	Faixa Damara	Complexo anorogênico Damaraland - Erongo Cretáceo	depósito de encosta	areia grossa	imaturo
NA -112	Faixa Damara	Complexo anorogênico Damaraland - Erongo Cretáceo	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia grossa	imaturo
NAM -05	Faixa Damara	Rochas vulcânicas Etendeka Cretáceo	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia grossa	submaturo
NAM -23	Faixa Damara	Rochas sedimentares Karoo Permiano	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia fina	submaturo
NAM -28	Faixa Damara	Granito Damara Cambriano	leito de rio seco (<i>wadi</i>)	areia muito fina	submaturo

Tabela 5- Massas da separação por peneiramento e aerodinâmico (continua).

Fração	AMOSTRA	NA009B	NA043	NA071	NA104	NA108	NA112	NAM05	NAM23	NAM28
	Massa total seca (g)	1220	1340	1230	2465	2050	1925	1805	1180	745
	Massa quarteada para moinho bolas (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Massa para granulometria (g)	1120	1240	1130	2365	1950	1825	1705	1080	645
A	>4000 μm (g)	60	70	0	65	25	125	155	20	5
B	>2000 μm (g)	50	80	0,32	100	200	325	225	15	5
C	>1000 μm (g)	85	80	0,01	435	735	575	365	35	25
D	>500 μm (g)	130	85	0,03	875	610	485	420	125	70
E	>250 μm (g)	220	405	475	605	285	250	200	375	155
F	>125 μm (g)	310	410	630	235	50	40	195	325	200
G	>64 μm (g)	210	85	14,3	25	9,21	3,76	80	120	100
H	>36 μm (g)	40	8,1	0,1	5,7	3,3	1,9	30	22,4	60
I	<36 μm (g)	8,40	3,11	0	0,52	0,49	0,46	4,73	1,19	11,32
J	>18 μm (S0) (g)	5,0651	1,7732	X	0,3270	0,2598	0,2890	3,2473	0,9486	8,2599
K	>10 μm (S1) (g)	1,0386	0,7060	X	0,0890	0,0732	0,0477	0,4675	0,0267	1,0944
L	>5,6 μm (S2) (g)	0,3035	0,006483	X	0,0076	0,0280	0,0233	0,0693	0,0059	0,2006
M	>3,2 μm (S3) (g)	0,1975	0,000384	X	0,0022	0,0126	0,0108	0,0520	0,0022	0,0462
N	>1,8 μm (S4) (g)	0,128900	0,003268	X	0,000808	0,001292	0,000775	0,001462	0,001332	0,017700
O	>1,0 μm (S5) (g)	0,004042	0,000520	X	0,000272	0,001200	0,000621	0,001938	0,001630	0,010600

Tabela 6- Massas da separação por peneiramento e aerodinâmico (conclusão).

Fração	AMOSTRA	NA009B	NA043	NA071	NA104	NA108	NA112	NAM05	NAM23	NAM28
P	>0,56 μm (S6) (g)	0,009020	0,000282	X	0,000241	0,000694	0,001929	0,001023	0,000664	0,008800
Q	>0,32 μm (S7) (g)	0,002725	0,000116	X	0,000519	0,000752	0,000563	0,001092	0,000727	0,007890
R	>0,18 μm (S8) (g)	0,001664	0,000244	X	0,000105	0,000540	0,000972	0,000847	0,001033	0,004978
S	>0,10 μm (S9) (g)	0,000290	0,000035	X	0,000035	0,001093	0,000410	0,000239	0,000155	0,000748
T	>0,056 μm (S10) (g)	0,000144	0,000024	X	0,000006	0,000311	0,000873	0,000020	0,000051	0,000904
	Total Cascade (g)	6,75	2,49	X	0,43	0,38	0,38	3,84	0,99	9,65
	Recuperação peneiras/telas (%)	99	99	99	99	98	99	98	96	98
	Recuperação cascade (%)	80	80	X	82	77	82	81	83	85
	Fluxímetro inicial (m^3/h)	2829029	2831325	X	2830539	2829601	2830801	2829321	2830261	2829968
	Fluxímetro final (m^3/h)	2829321	2831590	X	2830801	2829968	2831081	2829601	2830539	2830261
	Total de fluxo (m^3/h)	292	265	X	262	367	280	280	278	293
	Tempo de ressuspensão (min)	10	10	X	10	13	10	10	10	10

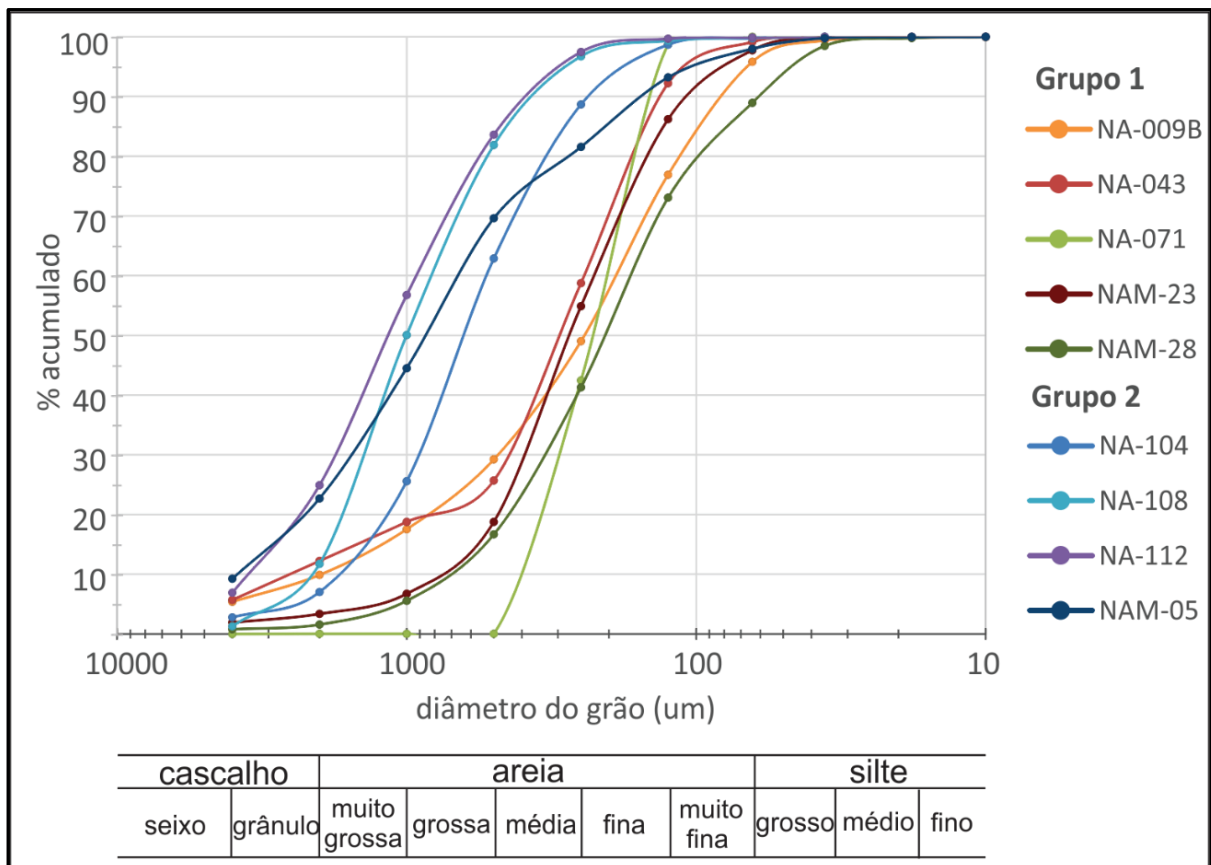
Fonte: A autora, 2018.

As amostras do grupo 1 possuem maior percentual de material com diâmetro entre 250 μm e 64 μm (areia fina e muito fina) e apresentam máximo de material retido variando entre 28% e 58%. As amostras do grupo 2 possuem maior percentual de material com diâmetro entre 250 μm e 2000 μm (areia média e grossa) e apresentam máximo de material retido variando entre 26% e 38%.

O maior percentual de finos retidos (silte + argila) apresenta um pico de 11% na amostra NAM-28. O maior percentual de material retido na classe cascalho é na fração grânulo (18%) e é representada pela amostra NA-112.

No gráfico do percentual acumulado (Figura 23) é possível diferenciar amostras com granulometria uniforme, bem graduada e mal graduada (CAPUTO, 1988). Observa-se que a amostra NA-071 é uniforme, a amostra NAM-05 é levemente mal graduada e as restantes, bem graduadas.

Figura 23 - Gráfico do percentual acumulado.

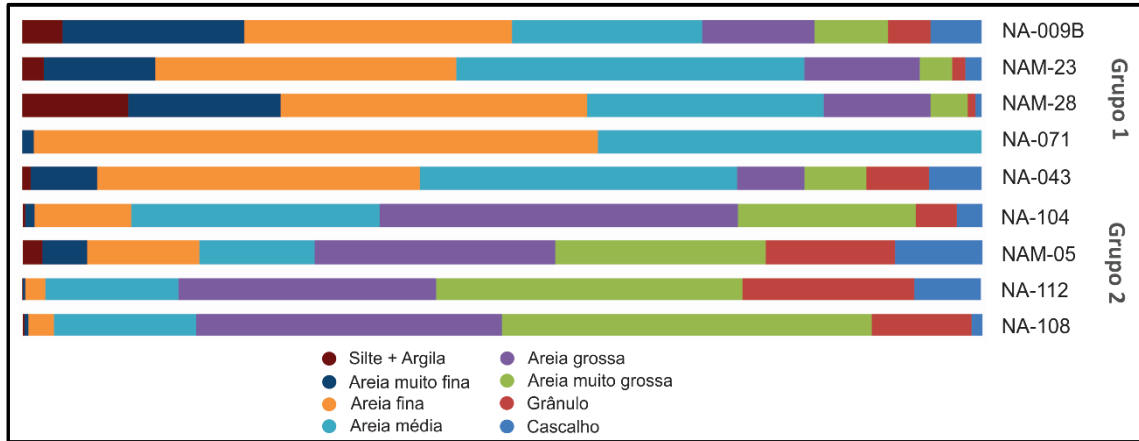


Fonte: A autora, 2018.

A distribuição do percentual em barras das classes granulométricas de cada amostra é mostrada na figura 24.

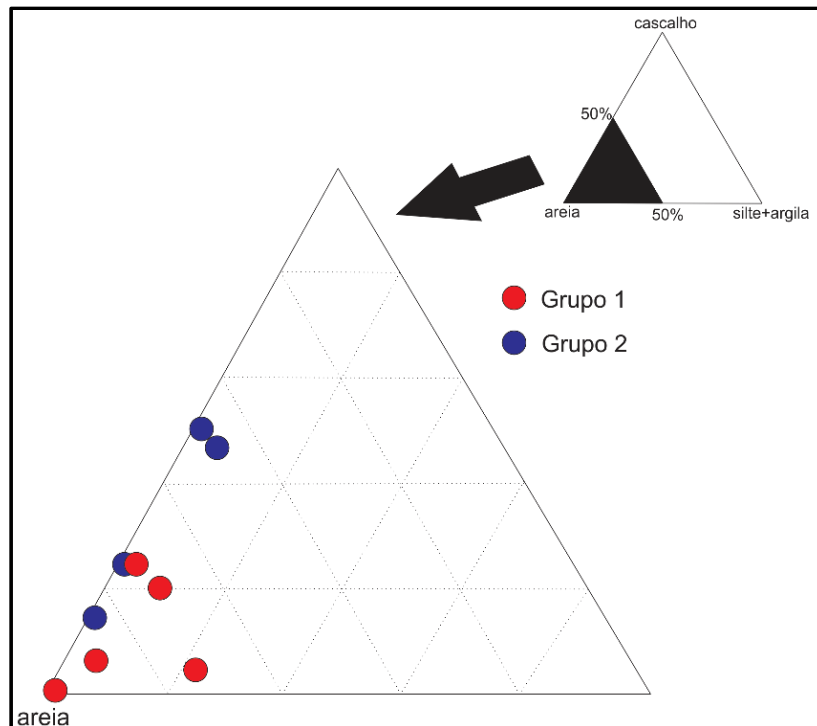
A distribuição granulométrica das amostras também é mostrada no diagrama ternário (Figura 25): cascalho (>2000 µm), areia (entre 64 µm e 2000 µm) e silte+argila (<64 µm).

Figura 24 - Gráfico de barras de distribuição granulométrica (% em massa)



Fonte: A autora, 2018.

Figura 25 - Gráfico ternário cascalho-areia-silte+argila.



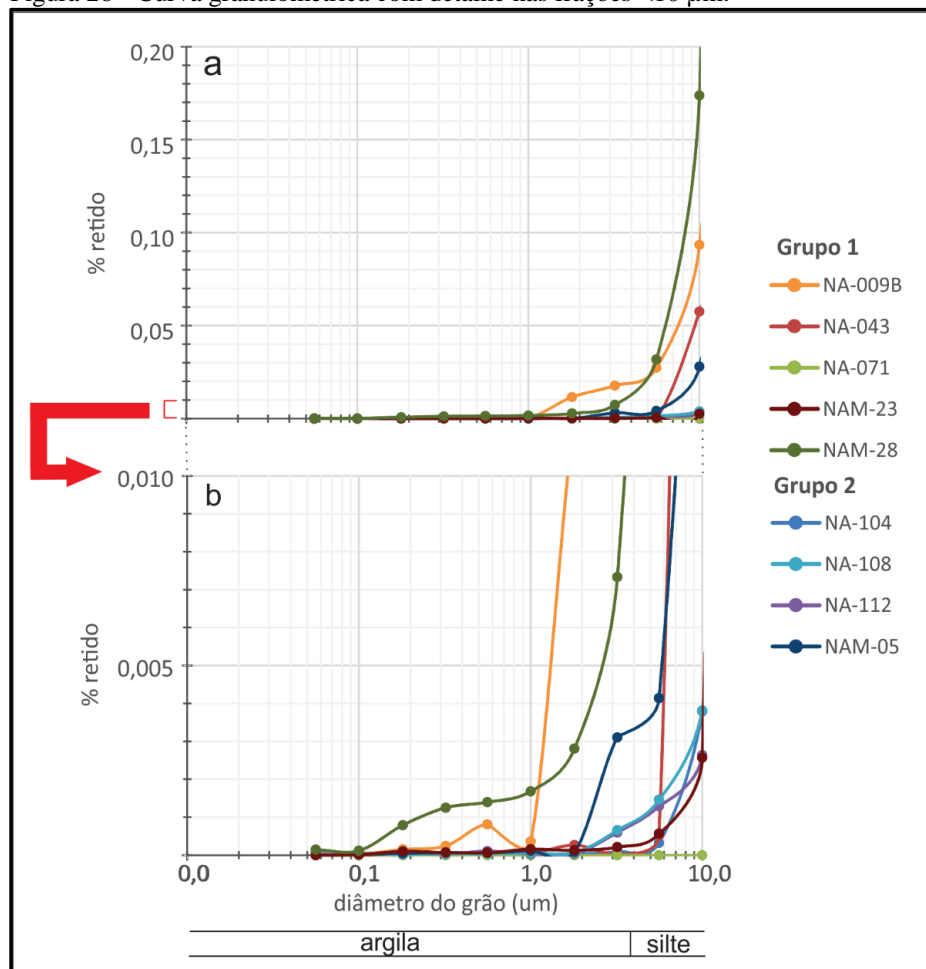
Legenda: Círculo vermelho: grupo 1(G1) e círculo azul: grupo 2 (G2).
 Fonte: A autora, 2018.

5.1.1 Distribuição granulométrica da fração fina <10 µm

A análise da curva granulométrica da fração mais fina mostra relação com os grupos 1 e 2 classificados anteriormente. O percentual da classe fina (< 10 µm) é mais representativo nas amostras NA-009B, NAM-28, NA-043 (todas do grupo 1). As amostras NA-108, NA-104 e NA-112 pertencem ao grupo 2 com pouca quantidade de material fino (< 10 µm), e NAM-23 também com pouco fino pertence ao grupo 1 (Figura 26).

A amostra NA-071 é composta por 98% de partículas das classes areia fina e muito fina. A amostra NAM-28 é a amostra que possui mais silte fino e muito fino. A NA-009B é a amostra com a maior quantidade de material abaixo de argila. A amostra NA-043 mostra presença de quantidade de silte, mas quase nenhuma quantidade de argila e a NAM-05 possui discreta quantidade de silte e argila.

Figura 26 - Curva granulométrica com detalhe nas frações <10 µm.



Legenda: a) Diagrama das amostras na fração fina e b) detalhe na escala vertical entre 0 e 0,010% do diagrama a).

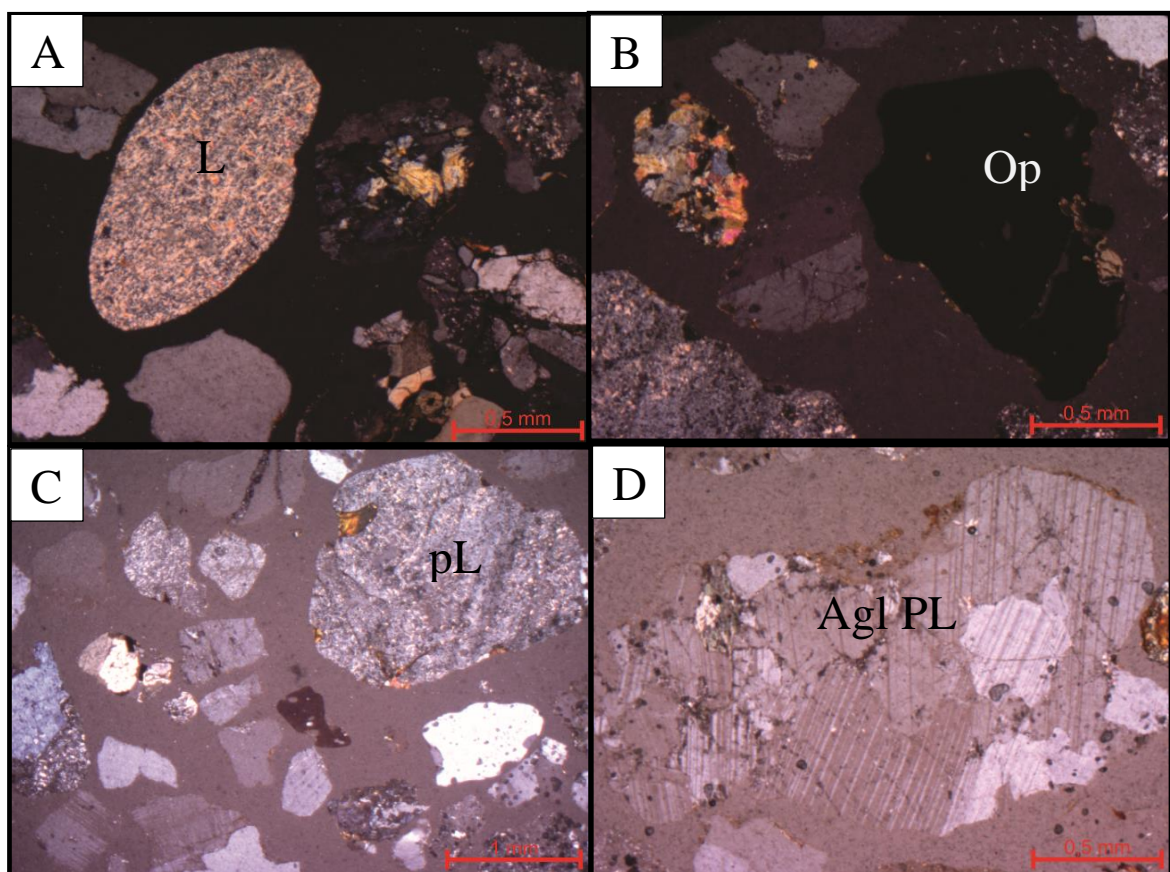
Fonte: A autora, 2018

5.2 Aspectos petrográficos da fração areia

A petrografia da fração areia muito grossa a areia grossa (entre 0,5 e 2,0 mm) foi descrita de uma forma sucinta e qualitativa visando colaborar para a interpretação das fontes de misturas isotópicas baseando-se também nas análises mineralógicas por DRX e da litogeoquímica. As características utilizadas para descrição foram: arredondamento de acordo com a classificação de COMPTON, (1962), presença e tipo de litoclastos e presença e tipo de cristaloclastos (Tabela 6).

As fotomicrografias das figuras 27, 28, 29 e 30 revelam as principais características das amostras estudadas. Não foi possível obter a massa da fração areia grossa e muito grossa da amostra NA-071 por falta de massa.

Figura 27 - Fotomicrografia com os componentes da amostra NA-104.



Legenda: NA-104: Litoclastos de metassedimentar arredondado (L); b) NA-104: Cristaloclastos de opaco anguloso (Op); c) NA-104: Cristaloclasto de plagioclásio sub-angulosos (pL) d) NA-104: aglomerado de plagioclásio (Agl pL).

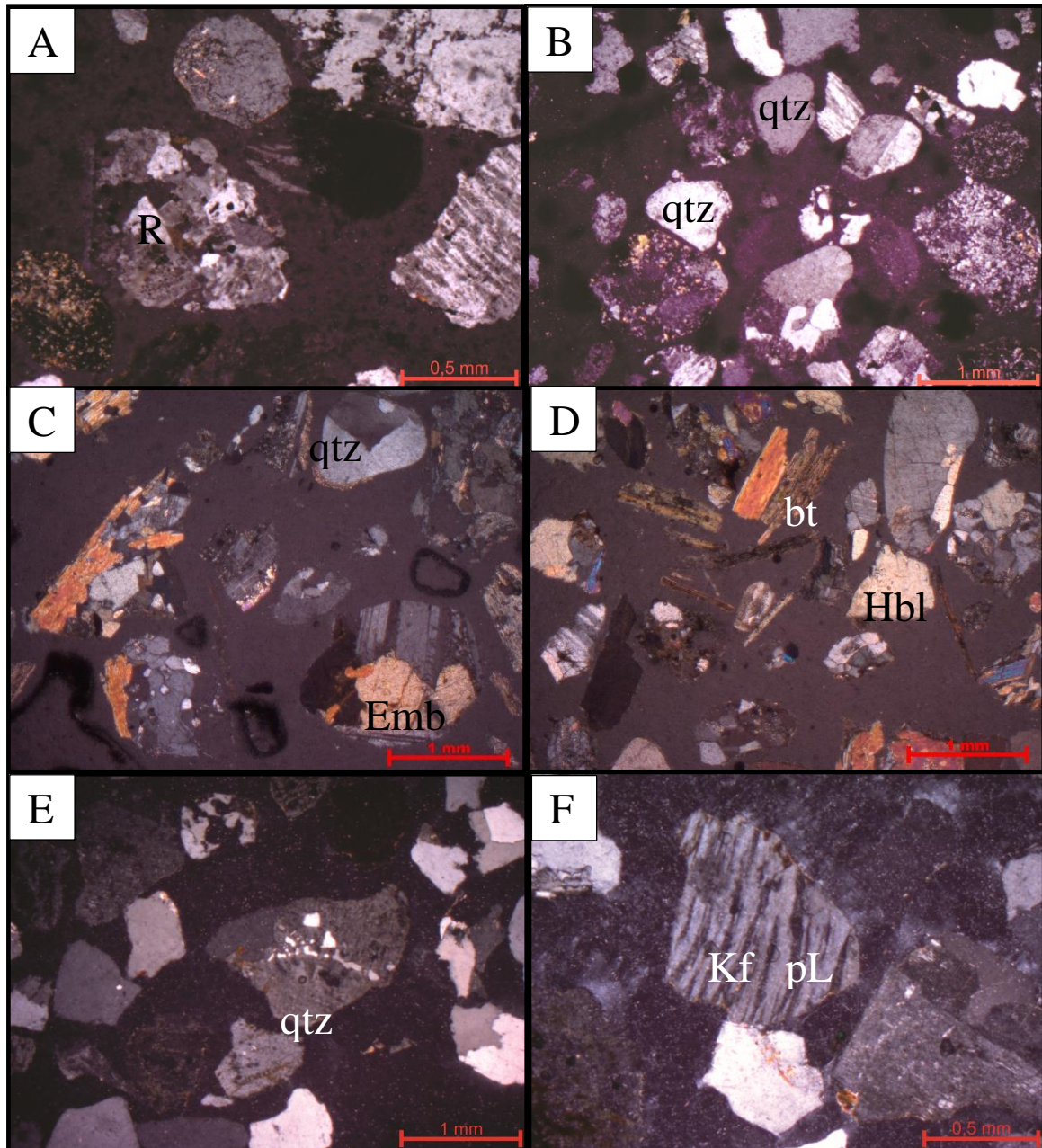
Fonte: A autora, 2018.

Tabela 7 - Principais características petrográfica das amostras estudadas.

Amostra	Arredondamento	Litoclastos	Cristaloclastos	Amostra	Arredondamento	Litoclastos	Cristaloclastos
NA-108	Anguloso	Sem litoclastos	Quartzo; K-feldspato; plagioclásio;	NA-043	Anguloso a sub-anguloso	Rochas do embasamento	Quartzo; hornblenda; biotita;
NA-112	Anguloso	Rocha vulcânica félsica	Quartzo vulcânico	NAM-28	Anguloso a sub-anguloso	Sem litoclastos	Quartzo com inclusão de turmalina; biotita; K-feldspato; plagioclásio,
NA-104	Anguloso a sub-anguloso (cristais) Arredondado (litoclastos)	Rochas do embasamento; rocha metassedimentar; Aglomerado de plagioclásio;	Plagioclásio; opacos	NA-009B	Sub-anguloso	riolito/ riodacito	Quartzo; K-feldspato; plagioclásio;
NAM-05	Anguloso a sub-anguloso	Basalto; rocha félsica	Quartzo; K-feldspato	NAM-23	Sub-arredondado	Basalto e xisto;	Piroxênio; quartzo

Fonte: A autora, 2018.

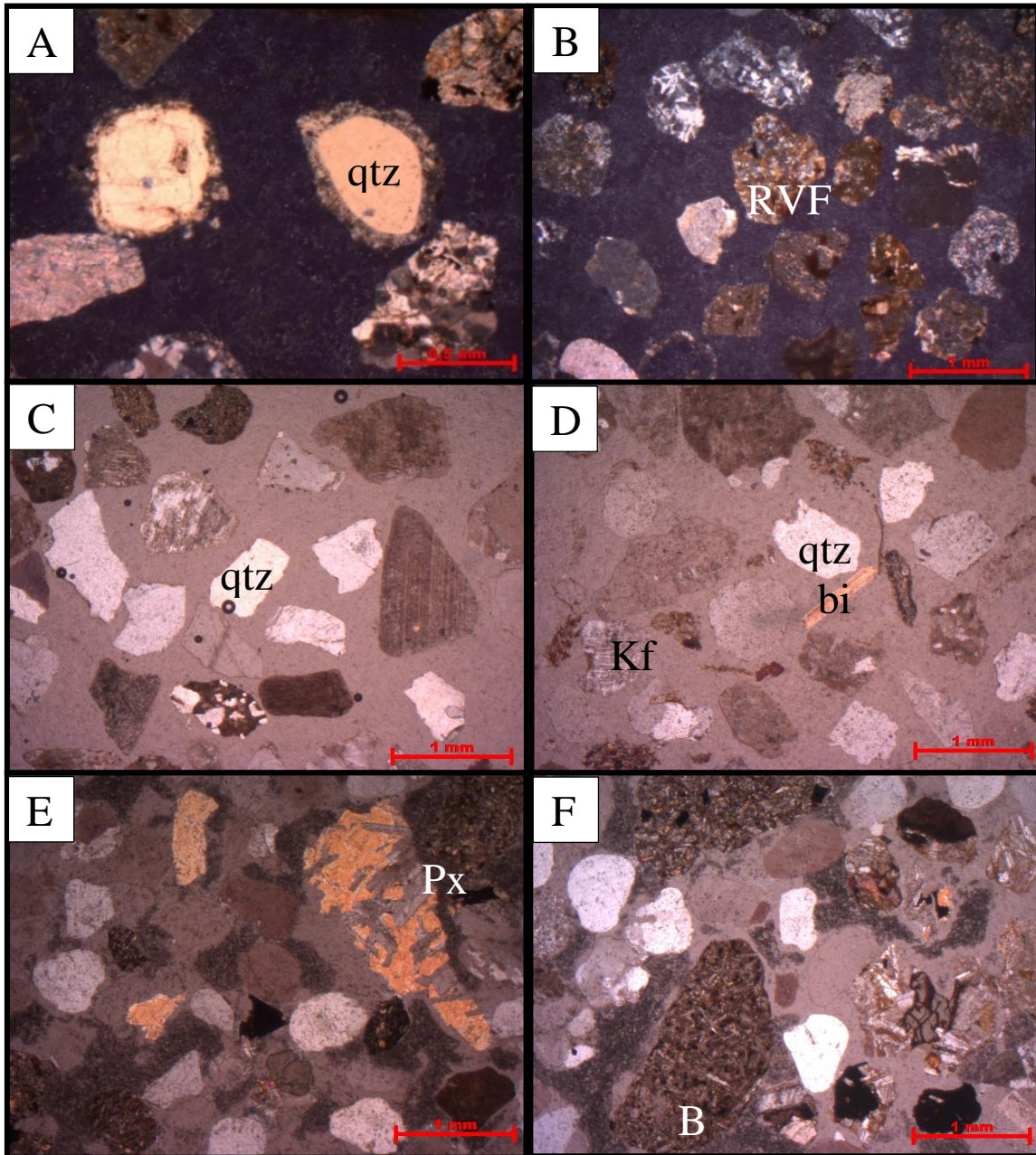
Figura 28 - Fotomicrografia com os componentes das amostras NA-009B, NA-043 e NA108.



Legenda: Polarizadores paralelos: a) NA-009B: litoclasto de riolito (R); b) NA-009B: cristais de quartzo vulcânico sub-angulosos (qtz); c) NA-043: fragmentos de rochas do embasamento (Emb), quartzo com extinção ondulante; d) NA-043: cristaloclastos de hornblenda (Hbl) e biotita (bt); e) NA-108: cristais quartzo angulosos exibindo textura mirmequítica (qtz); f) NA-108: Cristais de K-feldspato (Kf) e plagioclásio (pL) exibindo textura perítica/ anti-perítica.

Fonte: A autora, 2018.

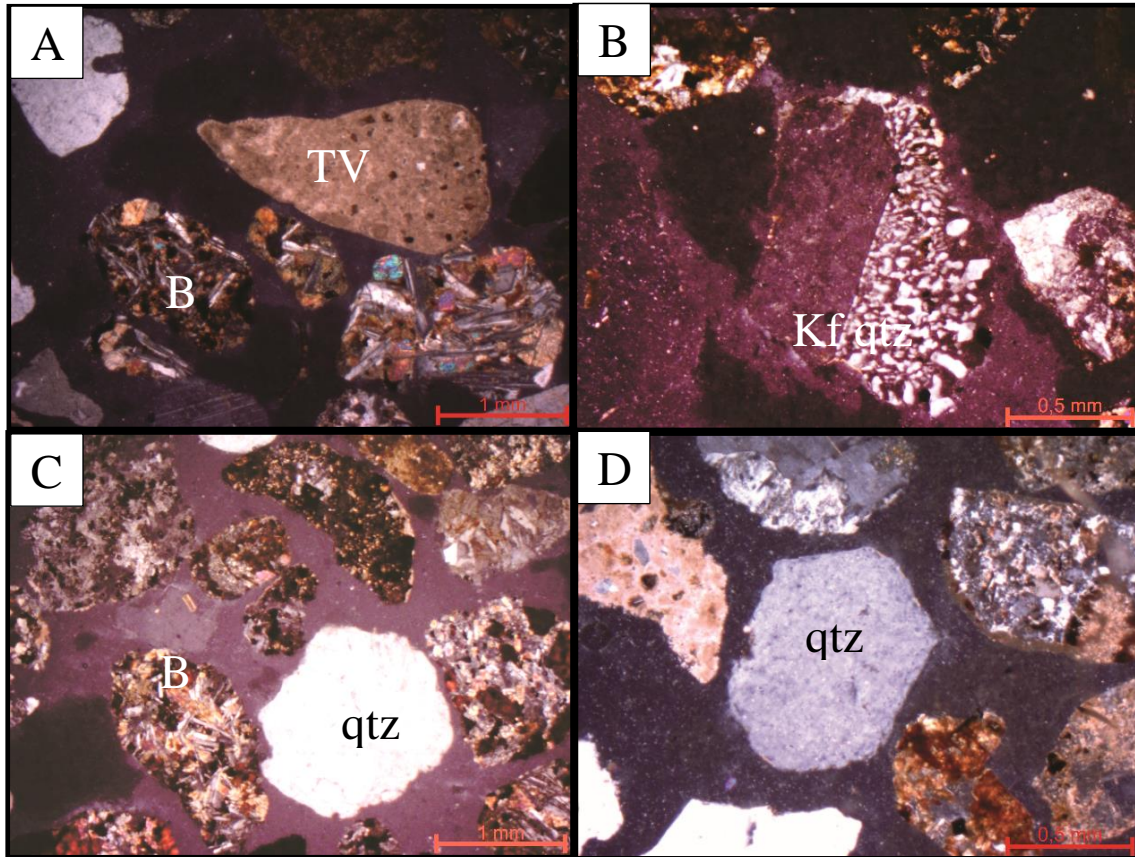
Figura 29 - Fotomicrografia com os componentes das amostras NA-112, NAM-28 e NAM-23.



Legenda: Polarizadores paralelos: a) NA-112: cristais quartzo (qtz) pórfiro dentro da rocha vulcânica; b) NA-112: litoclastos de rochas vulcânicas félsicas (RVF); c) NAM-28: cristais de quartzo (qtz) angulosos e textura mirmequítica; d) NAM-28: cristaloclastos de biotita (bi) e microclina (Kf); quartzos (qtz) angulosos a sub-angulosos; e) NAM-23: cristaloclastos de piroxênio (Px) com ripas de plagioclásio; f) NAM-23: litoclastos de basalto (B) com olivina.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 30 - Fotomicrografia com os componentes da amostra NAM-05.



Legenda: Polarizadores paralelos: a) NAM-05: Litoclastos de basalto (B) sub-anguloso; tufo vulcânico (TV); quartzo (qtz) com embaimento magmático; b) NAM-05: Cristaloclastos de quartzo (qtz) e K-feldspato (Kf) exibindo textura mirmequítica; c) NAM-05: Litoclastos de basalto (B) sub-anguloso; e pórfiros de quartzo (qtz); d) NAM-05: Cristaloclasto de quartzo (qtz) anguloso.

Fonte: A autora, 2018.

5.3 Composição mineralógica

A finalidade da aplicação da metodologia de difração de raios-X (DRX) nesta abordagem é determinar quais minerais das amostras de sedimento tendem a se concentrar nas frações mais finas, ou seja, se ocorre fracionamento mineralógico da rocha total para fração mais fina silte grosso (36-64 μm), além de uma análise quantitativa dos mesmos.

A tabela 7 mostra os resultados da DRX pelo método Rietveld, comparando-se a mineralogia da rocha total e da fração silte grosso (36-64 μm). A amostra NA-071 não apresenta resultados para a fração silte grosso devido à falta de massa para realização da metodologia.

Diagramas da figura 31 mostram o fracionamento de cada mineral nas amostras onde a fração silte grosso (36-64 μm) foi normalizada pela rocha total. De uma maneira geral, quartzo, feldspatos e óxidos de ferro tendem a diminuir para a fração mais fina e os anfibólios, carbonatos, argilominerais, minerais secundários (talco e clorita) e a biotita e muscovita tendem a aumentar para a fração fina.

O percentual de quartzo cai em todas as amostras da rocha total para a fração fina enquanto que a quantidade de feldspatos tende a diminuir em todas as amostras, aumentando da rocha total para a fração silte grosso (36-64 μm) somente nas amostras NAM-23 e NA-108.

Todas as amostras apresentam elevação do percentual de argilominerais de rocha total para a fração silte grosso (36-64 μm).

A amostra NA-104 possui quantidade expressiva de plagioclásio sugerindo influência do Complexo gabro-anortosítico Kunene geograficamente próximo à área de coleta.

As amostras com menores quantidades de anfibólio são NAM-28, NA-112 e NA-108. A quantidade de anfibólio aumenta da rocha total para a fração silte grosso, exceto para as amostras NA-108 e NA-043.

A biotita aumenta de rocha total para silte grosso em todas as amostras com exceção da NA-104 e os óxidos de ferro também aumentam para a maioria, exceto em NA-009B, NA-112 e NA-104.

A amostra NA-112 revela pouca diferença entre os teores da rocha total e da fração silte grosso sugerindo que a amostra total representa uma granulometria essencialmente fina.

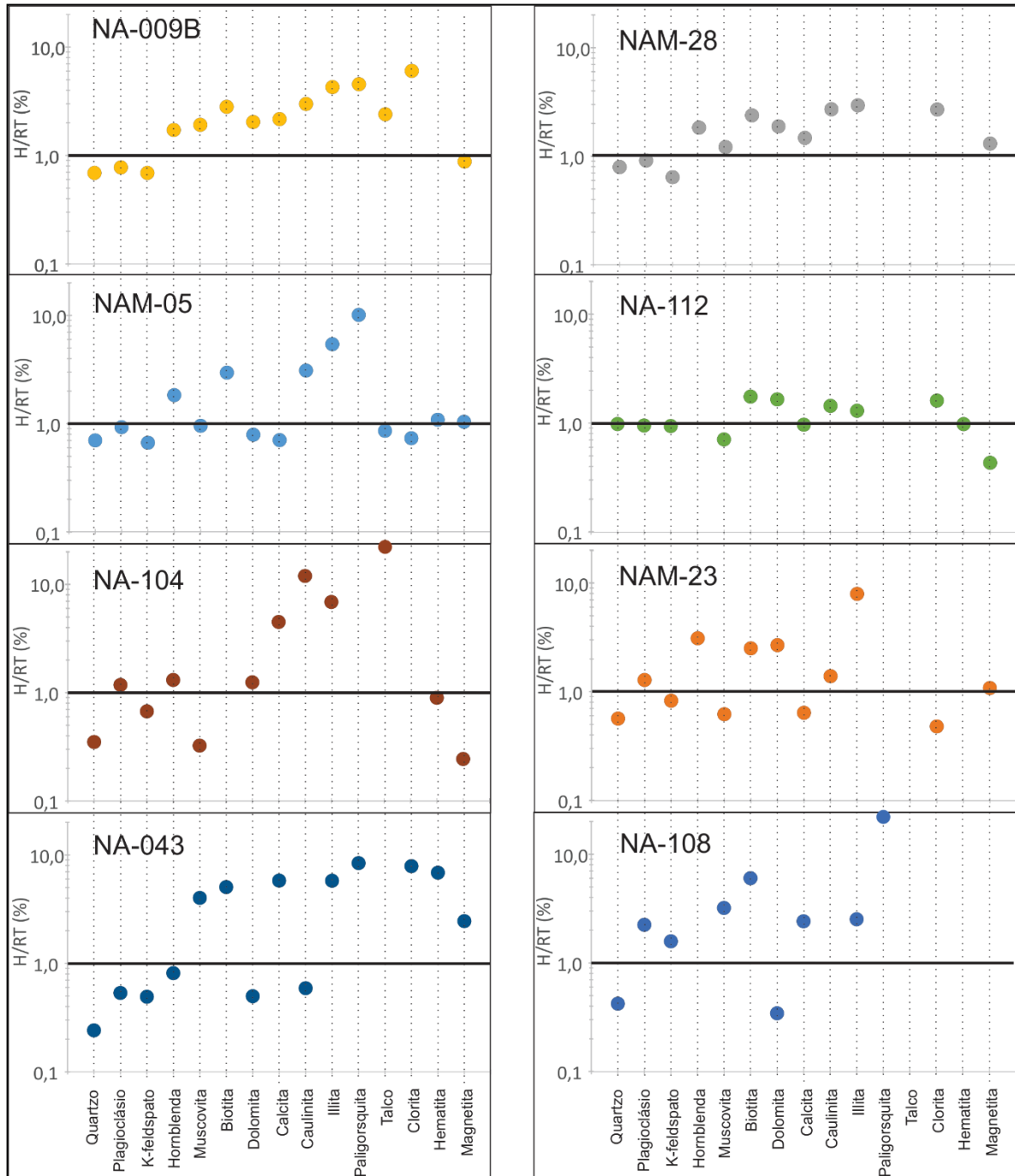
Tabela 8 - Análise mineralógica.

Amostra	NA-009B		NAM-05		NA-104		NA-043		NAM-28		NAM-112		NAM-23		NA-108		NA-071	
	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	Silte grosso	RT	RT
Quartzo	29,9	20,6	34,2	23,9	36,1	12,7	37,7	9,1	38,6	30,6	42,1	41,3	42,4	24,0	63,0	26,6	70,7	
Plagioclásio	28,4	22,0	19,4	17,9	24,2	28,6	14,8	7,9	22,2	20,1	11,0	10,4	15,7	20,1	7,3	16,2	11,1	
K-feldspato	21,9	15,1	20,3	13,5	17,3	11,7	13,7	6,7	21,4	13,7	32,3	30,4	19,1	15,7	22,9	36,0	13,8	
Hornblenda	7,6	13,0	3,2	5,8	12,3	16,2	19,5	15,9	2,2	4,0	0,0	0,0	4,5	13,8	0,6	0,0	0,0	
Muscovita	2,8	5,3	5,4	5,2	2,6	0,8	0,9	3,8	4,8	5,8	1,5	1,1	5,2	3,2	0,3	1,1	0,9	
Biotita	2,0	5,7	1,4	4,1	0,5	0,0	2,0	10,0	3,8	9,0	1,5	2,6	1,6	3,9	0,4	2,5	0,7	
Dolomita	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	1,1	3,0	0,6	0,2	0,1	
Calcita	1,2	2,6	3,4	2,4	0,5	2,1	3,3	19,1	1,8	2,7	0,3	0,3	4,5	2,9	0,2	0,5	0,7	
Caulinita	0,1	0,4	0,9	2,8	0,4	4,5	0,7	0,4	0,9	2,3	1,6	2,3	0,3	0,5	0,0	3,8	0,3	
Illita	1,3	5,7	1,7	9,4	2,1	14,2	2,2	12,5	3,6	10,4	7,0	9,1	1,2	9,1	4,6	11,6	1,2	
Palygorskita	0,9	4,1	0,6	6,2	0,0	0,0	0,9	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	
Talco	0,9	2,1	3,4	2,9	0,0	0,7	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Clorita	0,1	0,5	1,5	1,1	0,1	5,9	0,6	5,0	0,1	0,4	0,1	0,2	1,6	0,8	0,0	0,3	0,1	
Hematita	0,0	0,0	1,8	2,0	2,1	1,9	0,1	0,5	0,0	0,0	2,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	
Magnetita	2,7	2,3	2,4	2,5	1,4	0,3	0,7	1,7	0,4	0,6	0,4	0,2	3,0	3,2	0,0	0,1	0,1	
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Legenda: RT (amostra em rocha total) e fração granulométrica silte grosso (entre 36 -64 µm). Amostras ordenadas pelo conteúdo crescente de quartzo.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 31- Diagramas dos minerais fração fina H (36-64 μm) normalizado em relação a rocha total.



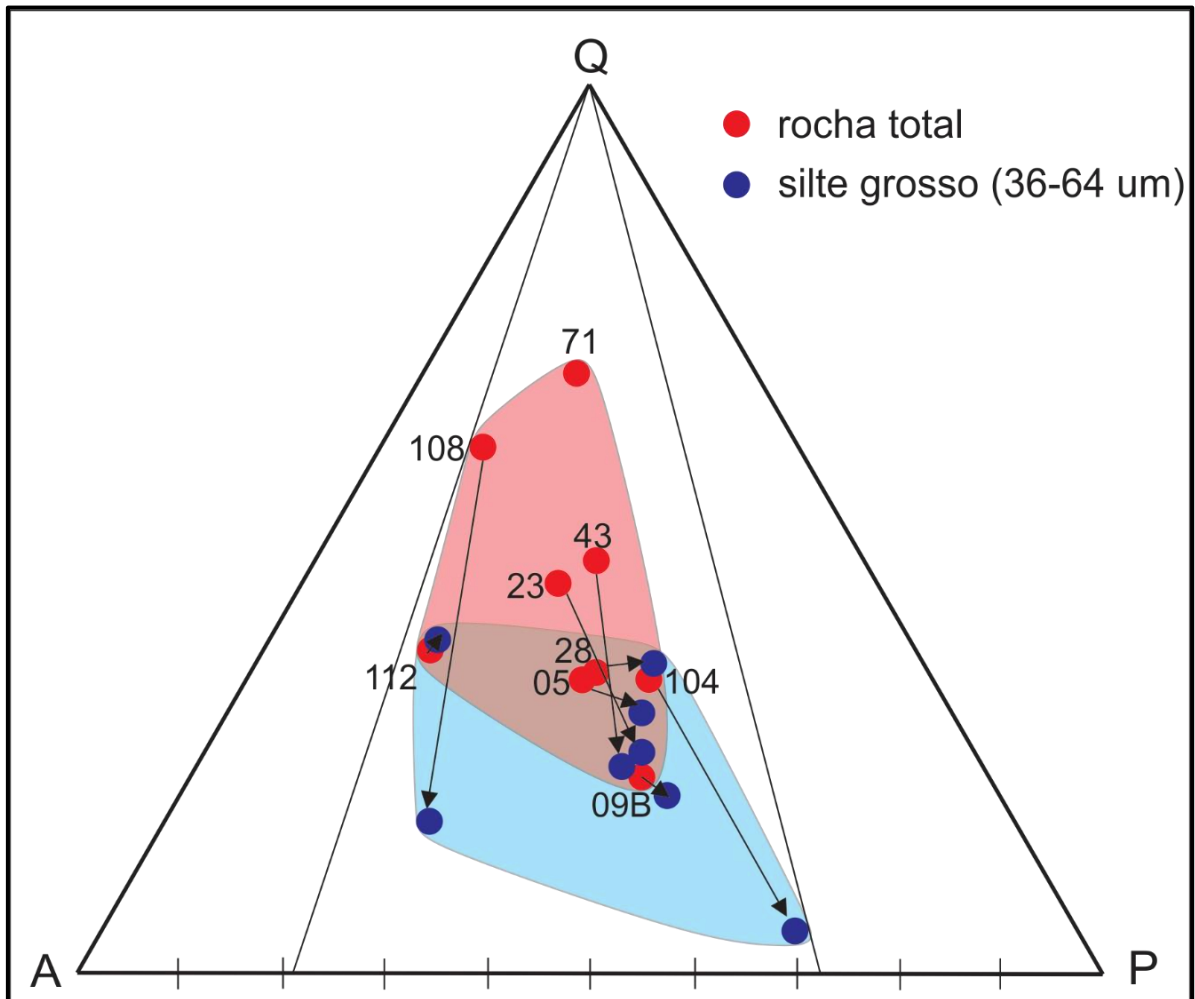
Legenda: Clorita da amostra NA-104 igual a 49,7 e Palygorskita da amostra NA-108 igual a 21,5.

Fonte: A autora, 2018.

O diagrama QAP (Quartzo, Álcali-feldspato e Plagioclásio) normativo de STRECKEISEN (1976) gerado pelo programa GCDkit® (JANOŮŠEK, et al., 2003) apresentado na figura 32, mostra uma leve separação entre os campos de rocha total e da fração silte grosso (36-64 μm), sendo esta última, com menor quantidade de quartzo.

O conjunto de amostras de rocha total e silte grosso apresentam uma variação máxima de aproximadamente 80-20% e 70-20% de K-feldspato e plagioclásio, respectivamente.

Figura 32 - Diagrama QAP.



Legenda: Diagrama normativo de STRECKEISEN (1976) para resultados da DRX. As setas pretas representam a tendência de rocha total para a fração fina.

Fonte: A autora, 2018.

5.3.1 Aplicação da mineralogia por Difração de raios-X na proveniência sedimentar

Análises mineralógicas por difração de raios-X são utilizadas para a identificação dos minerais presentes nos sedimentos apresentando uma abordagem que ajuda na identificação das potenciais áreas fontes refletindo as associações com a formação geológica original. Porém, somente a análise da mineralogia não caracteriza o ambiente. É necessário a integração de dados químicos e isotópicos, para então ser uma ferramenta efetiva para estudo de proveniência.