



Centro de Tecnologia Mineral

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Coordenação de Análise Mineral – COAM

Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Caulim da CPRM

Relatório Final

Luiz Carlos Bertolino

D.Sc. Geólogo

Vitor S. Brandão

M.Sc. Geólogo

Victor Matheus J. Salgado Campos

Estagiário

Rio de Janeiro

Dezembro – 2017

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
2. MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1. Determinação da Umidade.....	5
2.2. Homogeneização e Quarteamento	6
2.3. Classificação granulométrica	6
2.4. Alvejamento Químico	8
2.5. Caracterização Mineralógica	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	10
3.1. Classificação Granulométrica	10
3.2. Caracterização Mineralógica	11
3.2.1. Microscópio Estereoscópico Binocular.....	11
3.2.2. Microscópio Eletrônico de Varredura	16
3.2.3. Difractometria de Raios X	21
3.2.4. Análises Químicas	26
3.3. Índice de Alvura	27
3.4. Determinação do pH.....	31
4. CONCLUSÕES.....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

Por solicitação da empresa CPRM – Serviço Geológico do Brasil foram estudadas sete amostras de caulim, para caracterização mineralógica, e sua possível utilização na indústria. As amostras foram caracterizadas mineralogicamente realizando ensaios de concentração, gerando um relatório final, com os dados obtidos.

As amostras brutas passaram por processos de homogeneização e classificação de forma a torná-las as mais representativas possível. Posteriormente, as amostras foram analisadas de acordo com os procedimentos a seguir de forma a determinar seus constituintes mineralógicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A contratante CPRM – Serviço Geológico do Brasil enviou para o CETEM sete amostras pesando cerca de 4 kg de caulim. A Figura 1 apresenta o fluxograma aproximado do processo de preparação das amostras. Os procedimentos iniciaram-se pela secagem na sombra por um período de 48h (Figura 2). A seguir, por intermédio de pilhas cônicas e alongadas, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas, para obtenção de alíquotas de 1 kg, as quais foram utilizadas para realização das análises granulométricas, caracterização mineralógica, análises químicas e ensaios de alveamento.

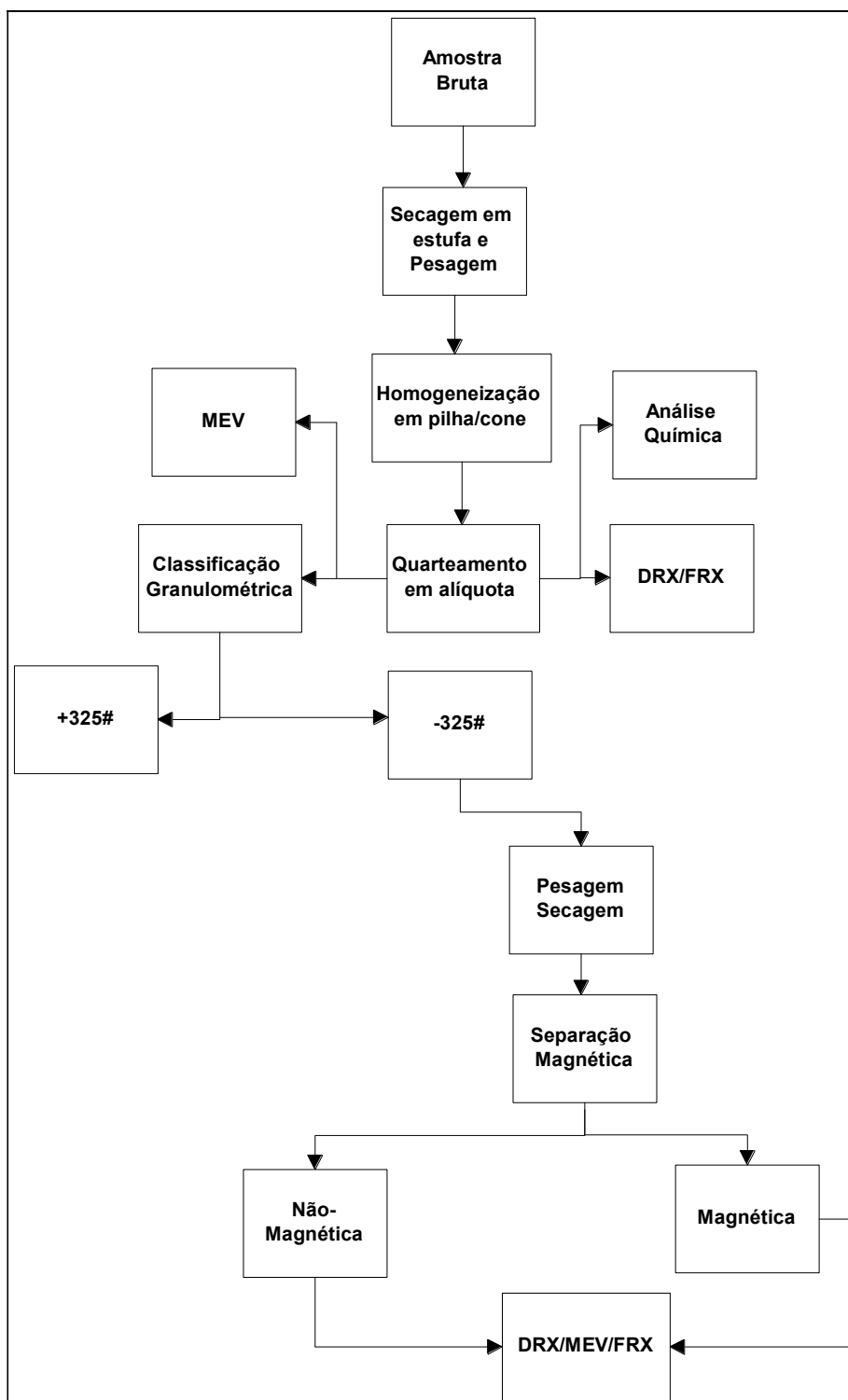


Figura 1. Fluxograma aproximado da preparação e caracterização das amostras.



Figura 2. Amostras de caulim secando nas bandejas.

2.1. Determinação da Umidade

Antes das etapas de beneficiamento foram determinados os teores de umidade das sete amostras (Tabela 1).

Tabela 1. Determinação da umidade das amostras

Amostra	Peso (g)	Peso seco (g)	Perda de Umidade (%)
DEP 928	50,13	42,93	14,36
DEP 929	50,00	39,87	20,26
DEP 930	49,99	39,02	21,94
DEP 931	50,11	38,77	22,63
DEP 932	50,43	39,21	22,25
DEP 933	50,73	39,68	21,78
DEP 934	50,21	39,53	21,27

2.2. Homogeneização e Quarteamento

A homogeneização das amostras tem por objetivo obter uma distribuição mais uniforme dos constituintes, permitindo um quarteamento em frações de menores massas. Para tal, as amostras foram colocadas sobre um papel branco em uma mesa, onde foram feitos os empilhamentos em forma de cone e em seguida distribuídas em pilhas longitudinais (Figura 3). E por fim, foi realizado o processo de quarteamento, o qual tem como função reduzir a massa a ser manuseada, e preparar as alíquotas para análises futuras.



Figura 3. Homogeneização das amostras de caulim.

2.3. Classificação granulométrica

A classificação é realizada com o objetivo de separar as partículas por tamanho. Embora fatores como densidade e a forma das partículas sejam significativos, o tamanho das partículas ainda é predominante.

Para tal procedimento realizou-se a classificação granulométrica a úmido através de peneiras com aberturas em malhas com valores correspondentes em mm. Foram selecionadas as peneiras 200# (74 μm) e 325# (44 μm) (Tabela 2).

Foi utilizado o ensaio a úmido, onde as peneiras são colocadas em colunas e encaixadas em um peneirador vibratório (Figura 4). Para facilitar o procedimento, adiciona-se água nas peneiras de maior espaçamento. A fração -325# (44 μm) foi submetida à separação magnética no equipamento *Boxmag Rapid* nas condições de

14.000 Gauss (Figura 5), visando a remoção dos minerais que normalmente interferem no índice de alvura do minério.



Figura 4. Classificação granulométrica a úmido.



Figura 5. Separador magnético Boxmag Rapid (14.000 Gauss).

Em seguida cada fração foi seca em estufa e posteriormente pesada, sendo realizado o cálculo da distribuição granulométrica com o valor do peso de cada fração.

As análises granulométricas das frações -325# foram realizadas no equipamento Mastersize 2000 fabricado pela Malvern.

O pH das frações -325# e -325# Não Mag foi determinado segundo o método proposto pela EMBRAPA (Donagema ET al., 2011).

2.4. Alvejamento Químico

Na etapa de alvejamento químico utilizou-se a fração abaixo de 325# Não Magnética, em polpa a 20% de sólido, mantendo o pH entre 3,0 e 3,5 com adição de ácido sulfúrico a 10%. O ditonito de sódio foi utilizado como agente redutor nas proporções de 4 kg/t e hexametáfosfato de sódio como agente dispersante nas proporções de 3 kg/t. A polpa foi mantida com agitação de 90 rpm (Figura 6). Alíquotas foram retiradas após 120 min de processamento, sendo posteriormente filtradas e secas em estufa (50°C). Após a secagem, foi determinado o índice de alvura das amostras por meio do colorímetro “ColorTouch II”.



Figura 6. Alvejamento químico com ditonito de sódio.

2.5. Caracterização Mineralógica

As amostras foram caracterizadas por meio da difratometria de raios X (DRX), microscópio estereoscópico binocular, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises químicas por fluorescência de raios X (FRX).

Os difratogramas de raios X das amostras, obtidos pelo método do pó, foram obtidos em um equipamento Bruker-D8 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação $\text{CuK}\alpha$ (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de $0,02^\circ$ 2θ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a 80° 2θ , com detector sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker DiffractionPlus.

As frações mais grossas foram descritas por meio de lupa binocular visando identificar a distribuição mineralógica por faixas granulométricas e o grau de liberação do mineral de interesse.

A identificação dos minerais, sua composição e as relações texturais das amostras foram determinadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) Hitachi Modelo TM3030 Plus, equipado com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax. As amostras foram metalizadas com ouro antes da análise.

As análises químicas foram realizadas através da fluorescência de raios X em espectrômetro Axios mAX da marca PANalytical, onde as frações foram preparadas em uma prensa automática VANEON em condições de 20 mm de diâmetro, com pressão de 20 toneladas e tempo de 30 segundos, utilizando ácido bórico como aglutinante em proporções de 1:0,6. Foram pesados 5g de cada amostra e posteriormente foi determinada a perda por calcinação em duplicatas em mufla a temperatura de 1000°C .

Os ensaios de viscosidade foram realizados no equipamento reômetro RheoStress 1 da Thermo Haake com taxa de cisalhamento de 100 a 10 s^{-1} em temperatura ambiente e tempo máximo de aquisição por ponto de 180 segundos. As condições utilizadas foram uma polpa com 50% de sólidos com dispersante de hexametáfosfato de sódio na proporção de 4 kg/t. A polpa foi agitada em agitador

Hamilton Beach durante 10 minutos e posteriormente foram medidos os valores de viscosidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Classificação Granulométrica

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da classificação granulométrica das amostras. A amostra DEP 931 foi a que apresentou melhor rendimento na peneira de 325# (96,97%), já a amostra DEP 934 foi a que apresentou o menor rendimento (77,63).

Tabela 2. Classificação granulométrica das amostras.

Amostras	+200# (%)	-200 +325# (%)	-325# (%)
DEP928	10,18	1,28	88,54
DEP929	5,17	2,47	92,36
DEP930	5,75	2,96	91,29
DEP931	0,81	2,22	96,97
DEP932	1,22	3,1	95,68
DEP933	13,9	3,02	83,08
DEP934	19,55	2,82	77,63

A seguir são apresentados os resultados da distribuição granulométrica das frações -325# Não Magnética (Figura 6 e Tabela 3). As amostras apresentaram uma distribuição de tamanho de partícula muito semelhante, com comportamento unimodal em 0,1 μm . Os valores dos D_{10} , D_{50} e D_{90} estão apresentados na Tabela3.

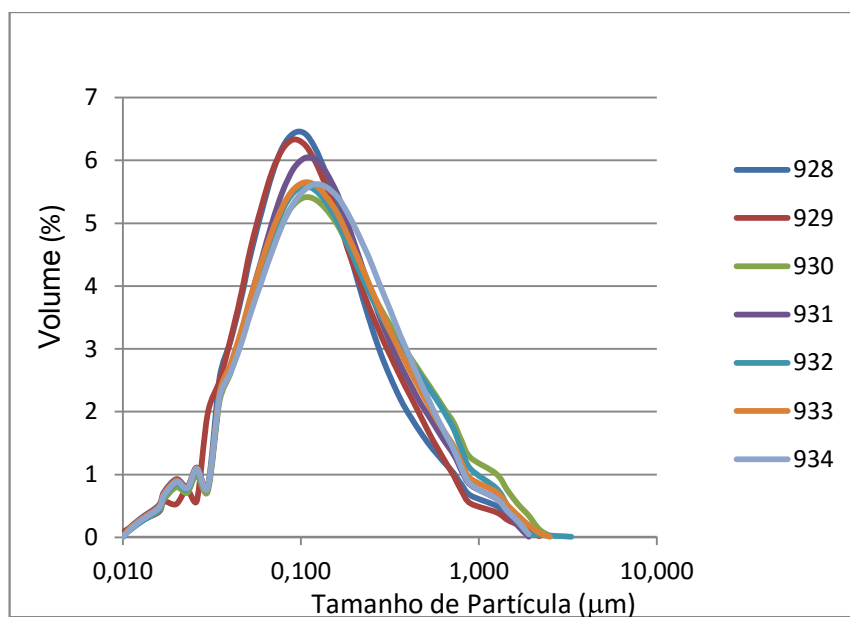


Figura 6. Distribuição granulométrica das frações -325# Não Magnética.

Tabela 3. Valores da distribuição das amostras.

Amostra	d(0,1) μm	d(0,5) μm	d(0,9) μm
DEP 928	1,341	4,108	15,052
DEP 929	1,618	4,804	17,552
DEP 930	1,445	5,109	22,222
DEP 931	1,365	4,625	17,248
DEP 932	1,397	4,856	20,216
DEP 933	1,370	4,763	18,930
DEP 934	1,390	5,016	18,206

3.2. Caracterização Mineralógica

3.2.1. Microscópio Estereoscópico Binocular

A seguir são apresentadas as fotomicrografias das diferentes frações +200# das amostras do caulim obtidas no microscópio estereoscópico binocular (Figuras 7 a

13). As frações maiores que 200# são constituídas essencialmente por quartzo, secundariamente ocorrem óxidos e/ou hidróxidos de ferro e pequenos agregados de caulim. As amostras DEP 930 e 931 foram as que apresentaram as maiores concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais opacos. (Figuras 9 e 10)



Figura 7. Fotomicrografia das amostras DEP 928.



Figura 8. Fotomicrografia das amostras DEP 929.

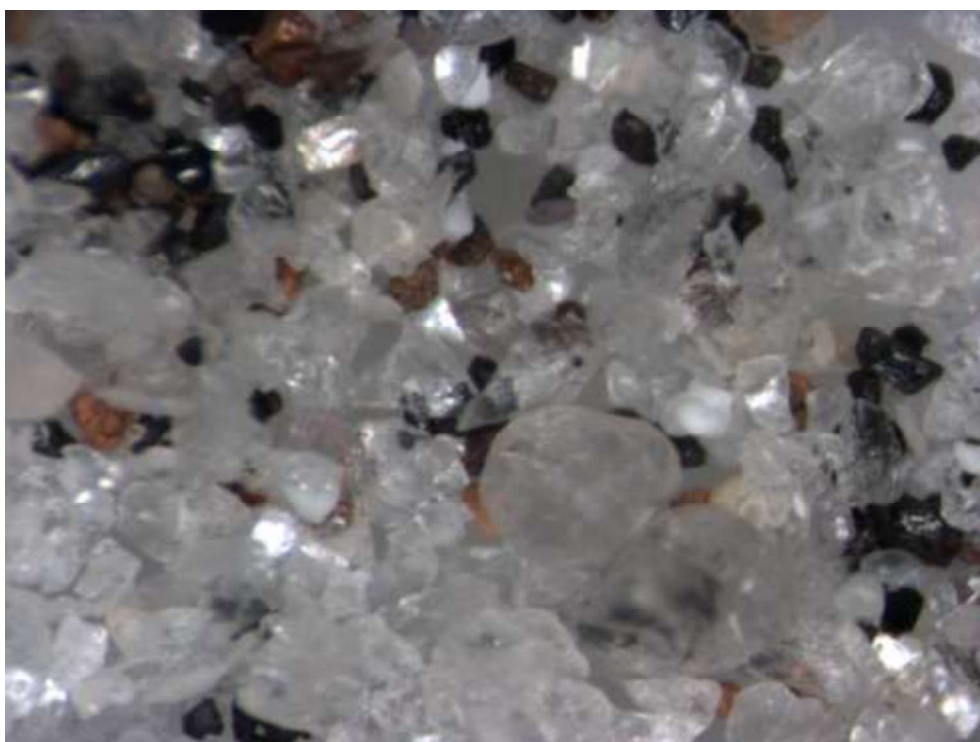


Figura 9. Fotomicrografia das amostras DEP 930.

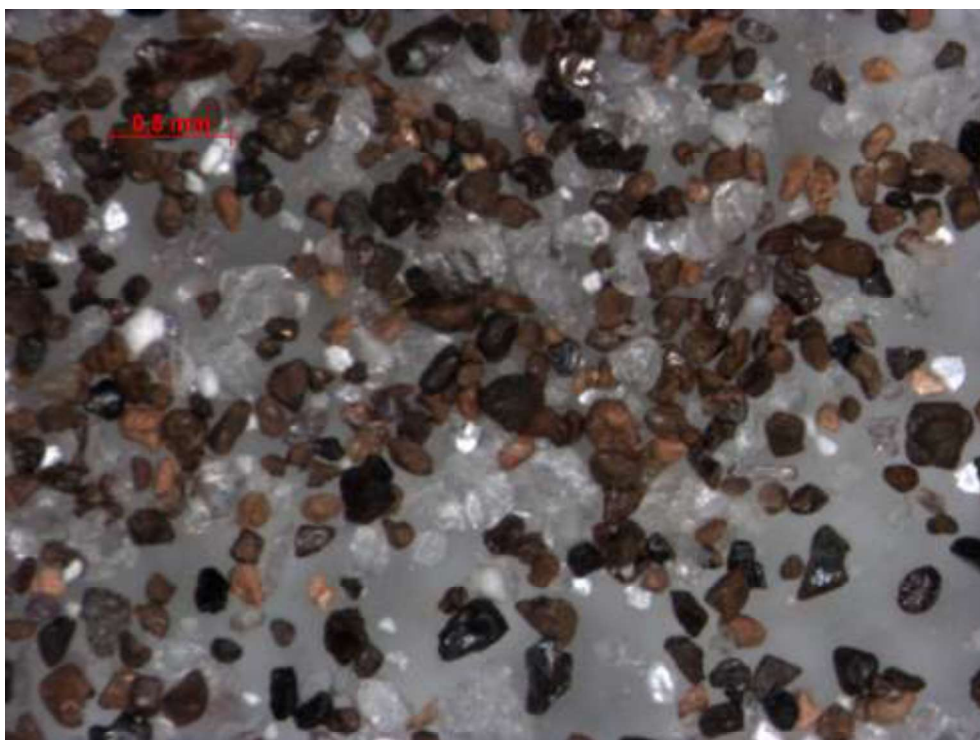


Figura 10. Fotomicrografia das amostras DEP 931.

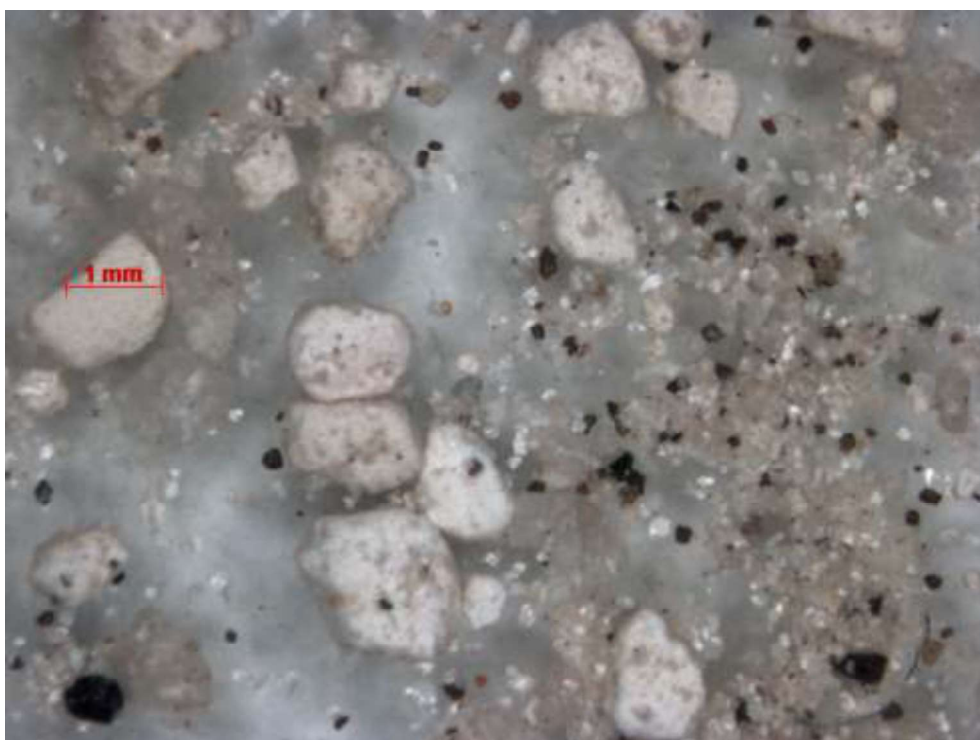


Figura 11. Fotomicrografia das amostras DEP 932.

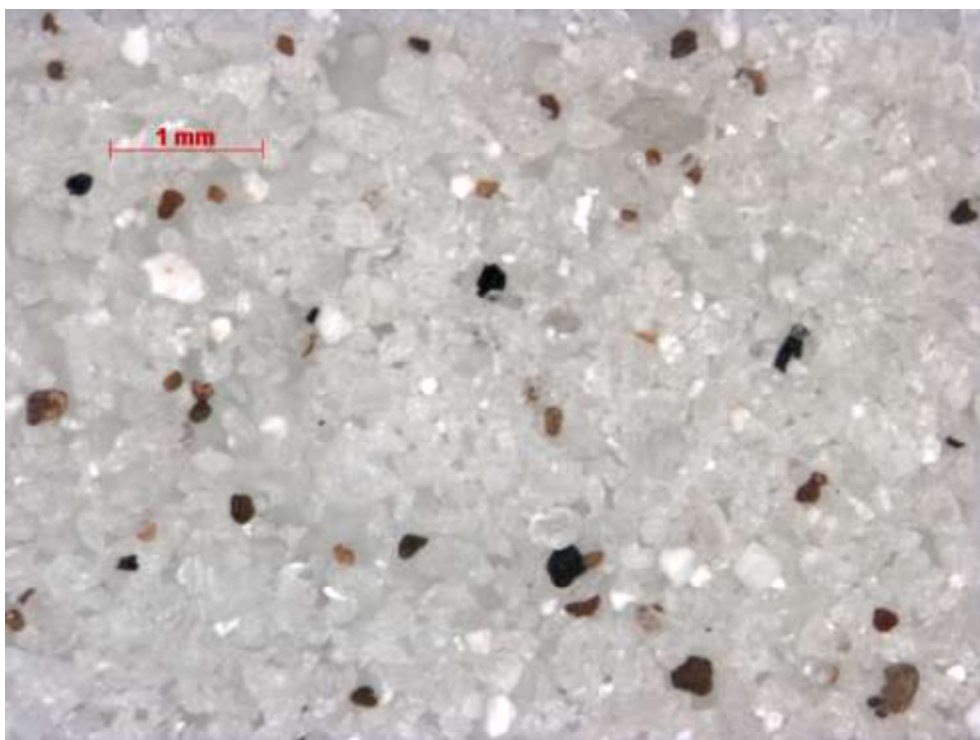


Figura 12. Fotomicrografia das amostras DEP 933.

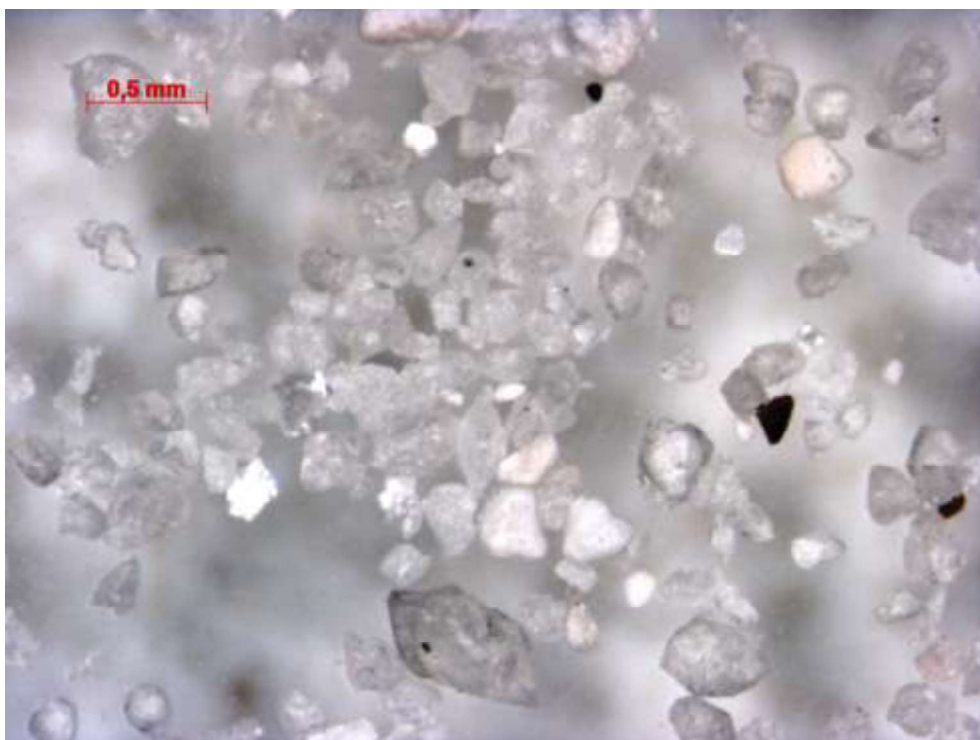


Figura 13. Fotomicrografia das amostras DEP 934.

3.2.2. Microscópio Eletrônico de Varredura

A seguir são apresentadas as imagens obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) das amostras de caulim das frações -325# Não Magnética e Magnética (Figuras 14 a 27). As amostras são constituídas essencialmente por partículas pseudo-hexagonais de caulinita, secundariamente por grãos de quartzo e muscovita.

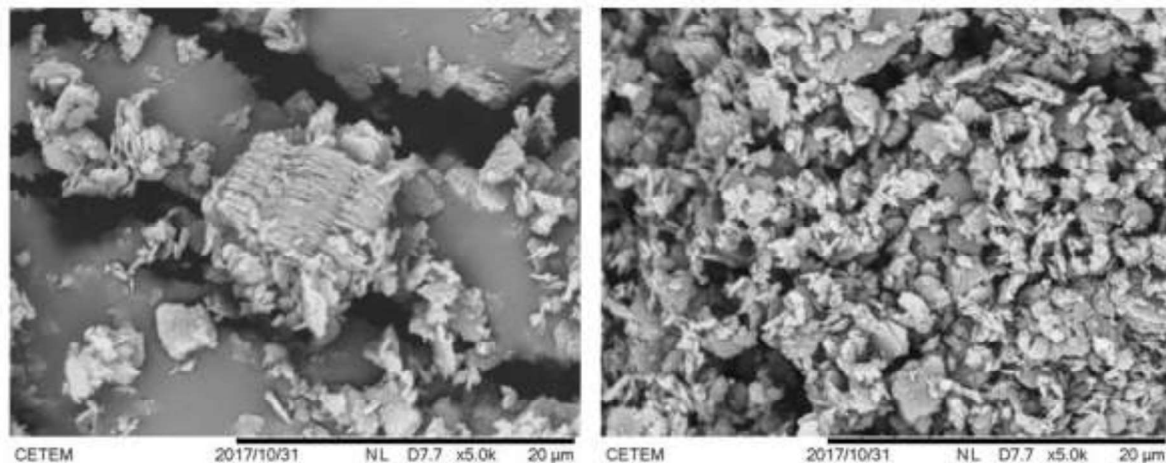
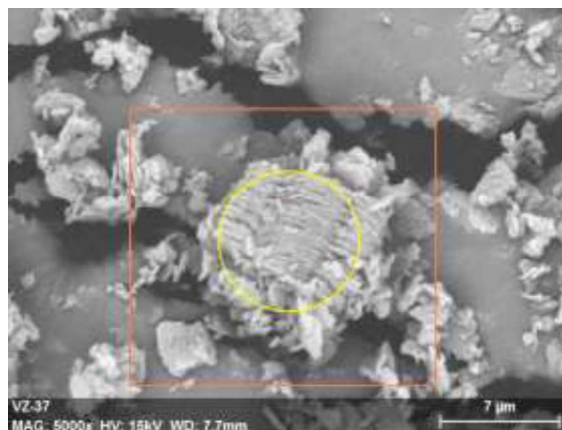


Figura 14. Imagens da amostra DEP 928 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.



Element	AN	Series	Net unkn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series 1381	19.90	49.34	62.64	3.1
Silicon	14	K-series 2212	10.49	26.02	18.81	0.5
Aluminium	13	K-series 2395	9.94	24.64	18.55	0.5
Total:			40.34	100.00	100.00	

Figura 15. Imagem e EDS da amostra DEP 928 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

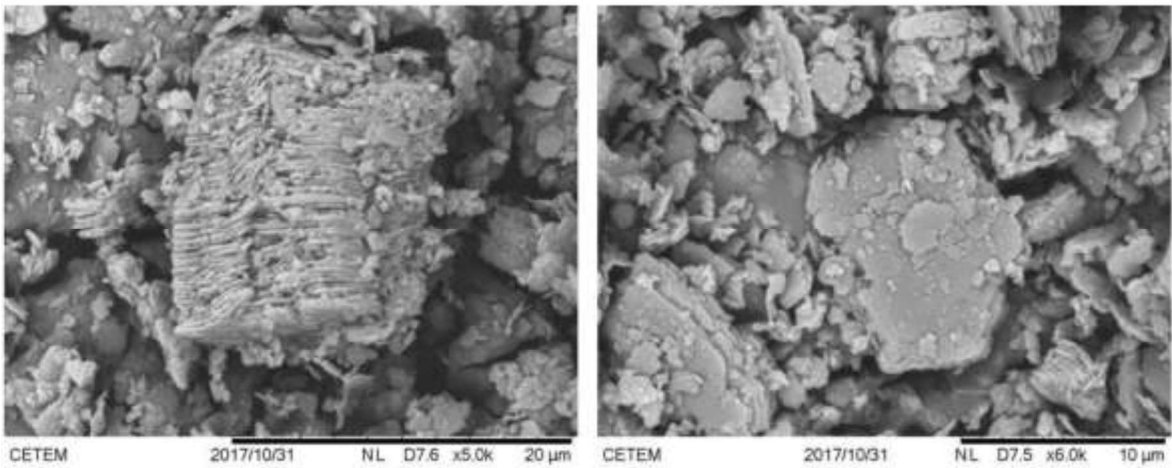
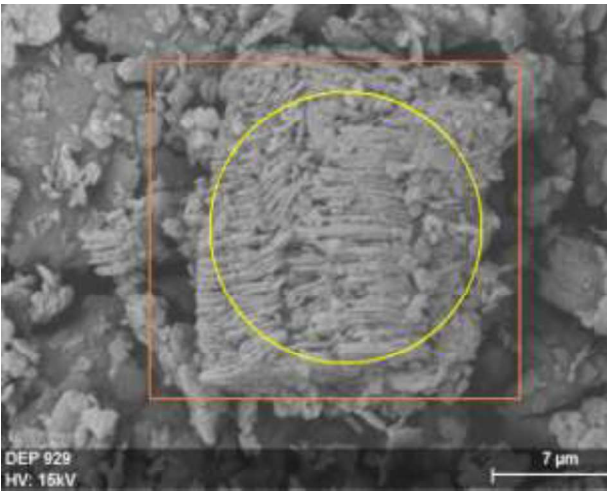


Figura 16. Imagens da amostra DEP 929 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.



Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	1407	18.82	47.92	2.9
Silicon	14	K-series	2486	10.79	27.48	0.5
Aluminium	13	K-series	2593	9.66	24.59	0.5
Total:			39.27	100.00	100.00	

Figura 17. Imagem e EDS da amostra DEP 929 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

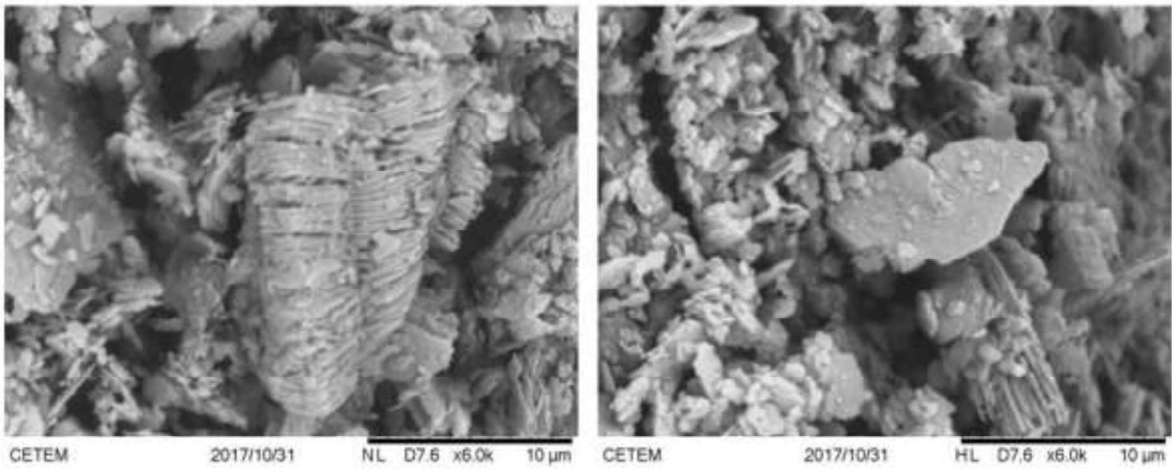
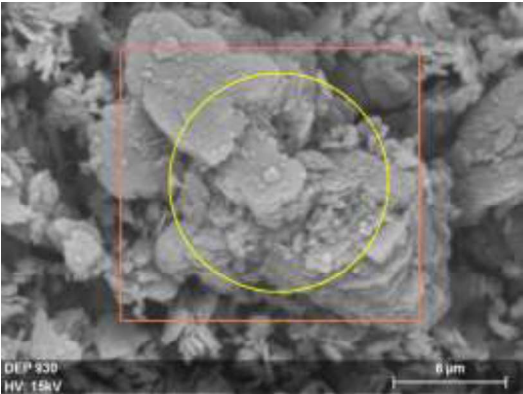


Figura 18. Imagens da amostra DEP 930 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.



Element	AN	Series	Net unnn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2357	25.41	50.38	63.60 3.6
Silicon	14	K-series	3494	12.78	25.33	18.21 0.6
Aluminium	13	K-series	3951	12.26	24.30	18.19 0.6
Total:			50.44	100.00	100.00	

Figura 19. Imagem e EDS da amostra DEP 930 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

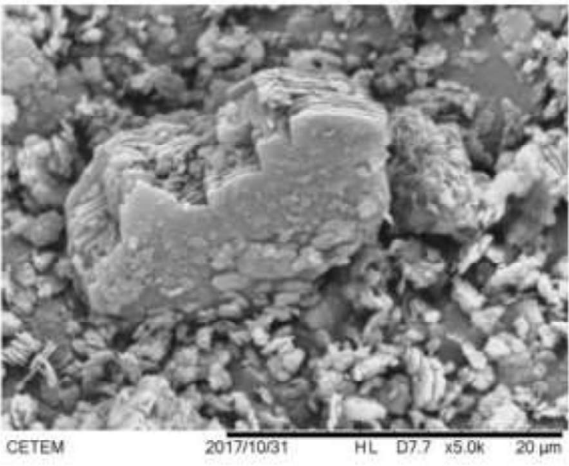
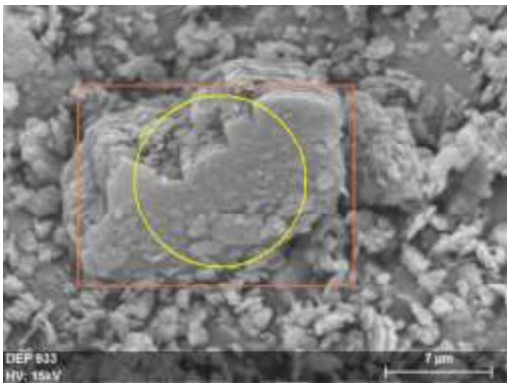


Figura 20. Imagens da amostra DEP 931 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.



Element	AN	Series	Net unnn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2176	23.67	51.75	64.88 3.4
Silicon	14	K-series	3109	11.81	25.81	18.43 0.5
Aluminium	13	K-series	3270	10.27	22.44	16.68 0.5
Total:			45.75	100.00	100.00	

Figura 21. Imagem e EDS da amostra DEP 931 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

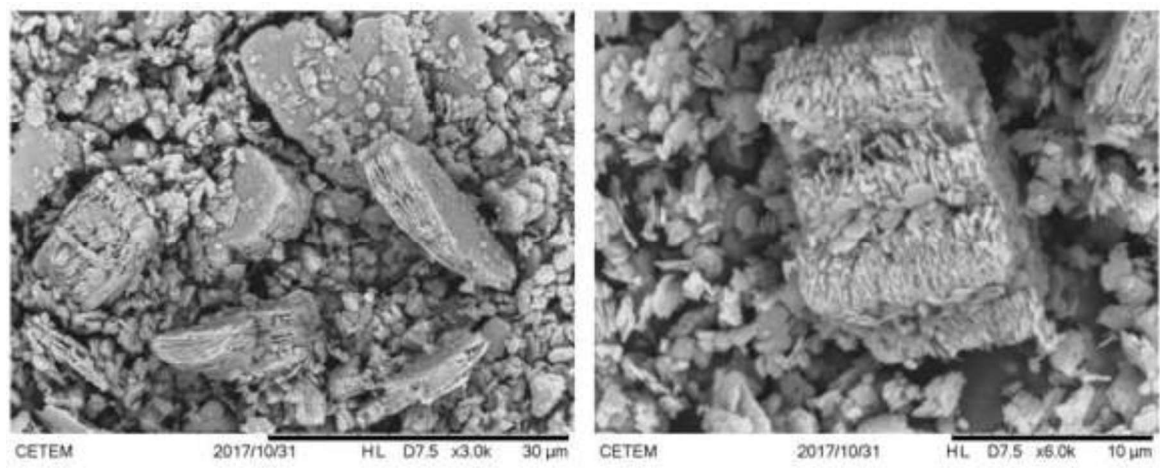


Figura 22. Imagens da amostra DEP 932 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

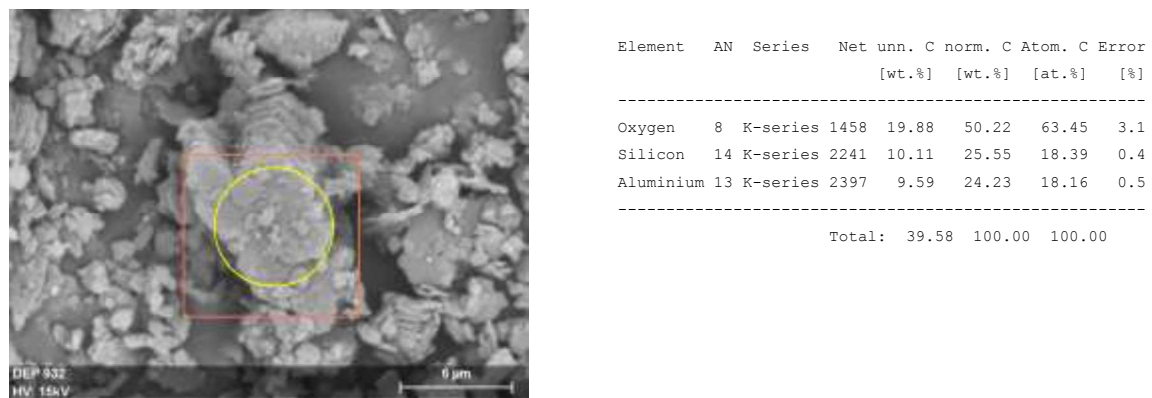


Figura 23. Imagem da amostra DEP 932 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

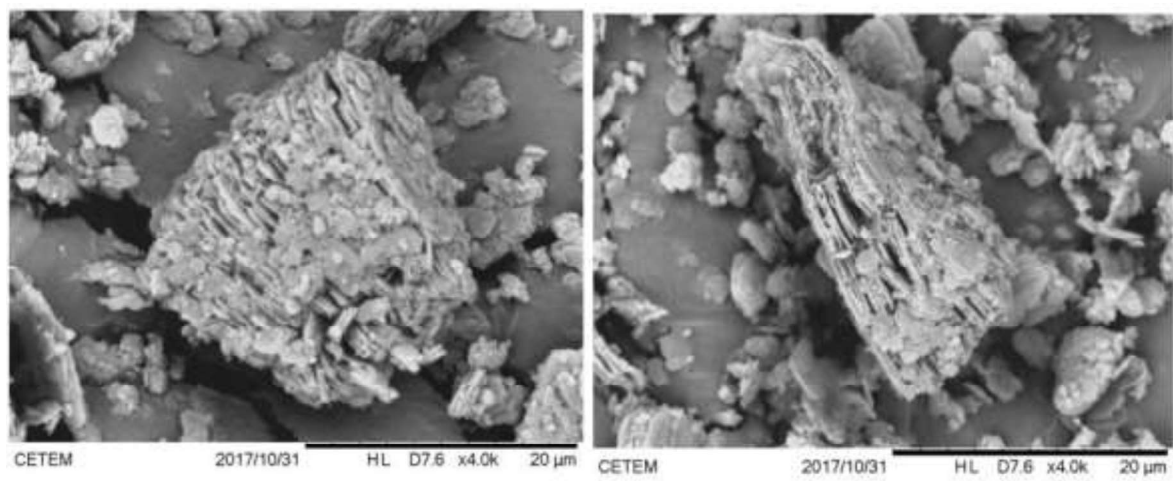


Figura 24. Imagens da amostra DEP 933 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.



Figura 25. Imagem da amostra DEP 933 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

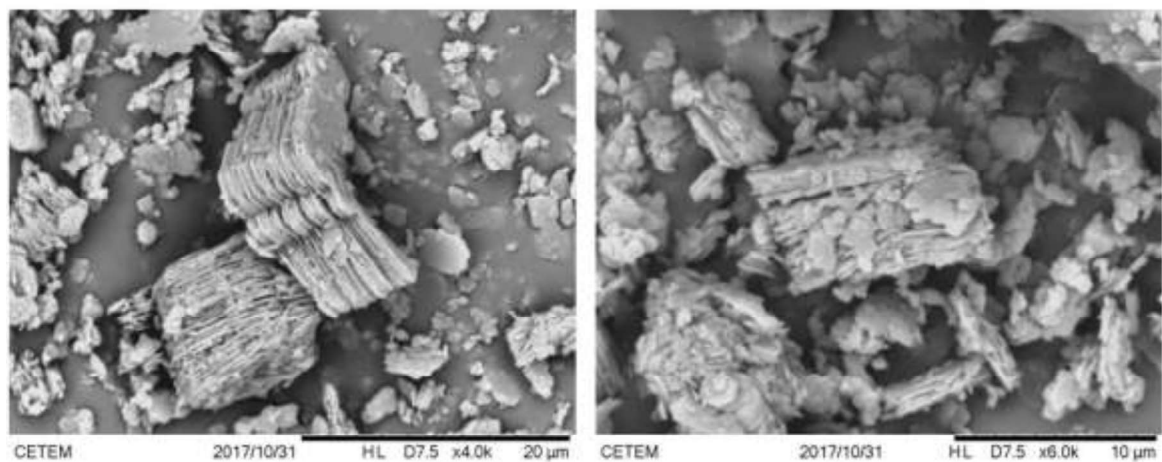


Figura 26. Imagens da amostra DEP 934 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

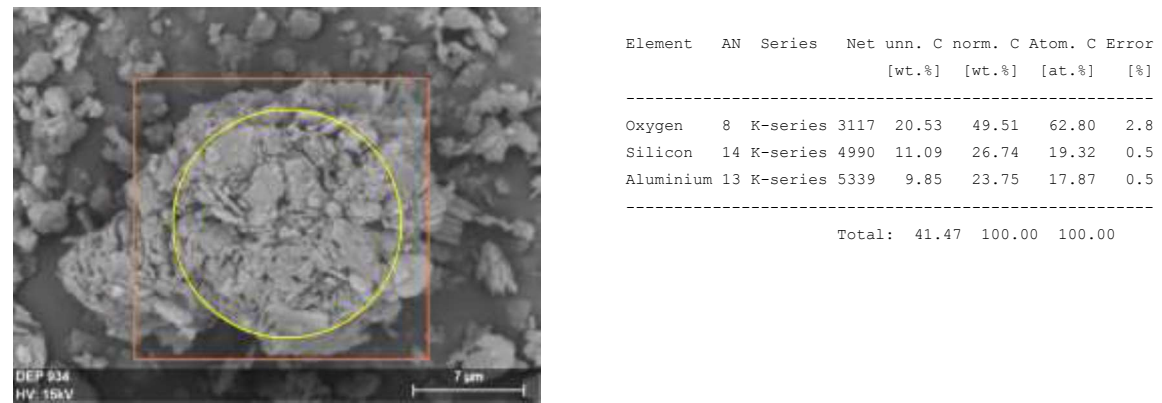


Figura 27. Imagem da amostra DEP 934 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

3.2.3. Difractometria de Raios X

A seguir são apresentados os difratogramas de raios X das frações Bruta, +200#, -200 +325#, -325# e -325# Não Magnética (Figuras 28 a 32). As amostras apresentaram composição mineralógica muito semelhante, sendo constituídas principalmente por caulinita $[(Al_2Si_2O_5(OH)_4)]$, secundariamente por quartzo (SiO_2), muscovita $[KAl_2(Al,Si_3)O_{10}(OH)_2]$, goethita $[\alpha FeO(OH)]$ e rutilo $[(TiO_2)]$ (Tabela 3).

Através dos difratogramas de raios X é possível observar que a classificação granulométrica, seguida da separação magnética em campo de alta intensidade promoveu a concentração da caulinita e a remoção de grande parte das impurezas.

Tabela 3. Composição mineralógica das amostras

Amostra	Mineralogia
DEP 928 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 928 +200#	Caulinita, quartzo, goethita e magnetita
DEP 928 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 928 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 928 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 929 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 929 +200#	Caulinita, quartzo e goethita
DEP 929 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 929 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 929 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 930 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 930 +200#	Caulinita, quartzo, goethita e rutilo
DEP 930 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 930 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 930 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 931 ROM	Caulinita e, quartzo
DEP 931 +200#	Caulinita, quartzo, muscovita, goethita e rutilo
DEP 931 -200 +325#	Caulinita, quartzo e muscovita
DEP 931 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 931 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 932 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 932 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 932 -200 +325#	Caulinita, quartzo, muscovita e goethita

DEP 932 -325#	Caulinita, quartzo e muscovita
DEP 932 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 933 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 933 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 934 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 934 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -3253# NMag	Caulinita e quartzo

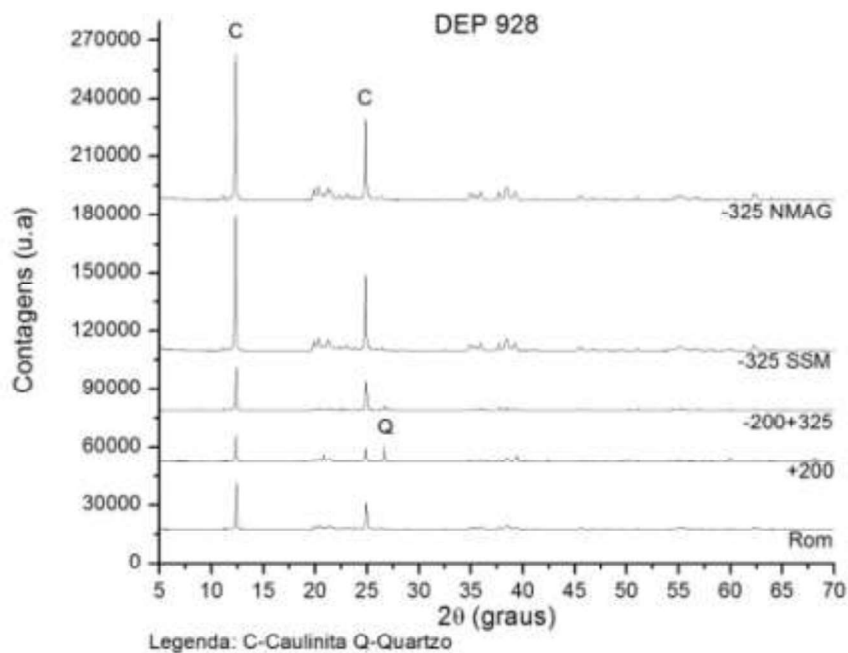


Figura 28. Difratoigramas de raios X da amostra DEP 928. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

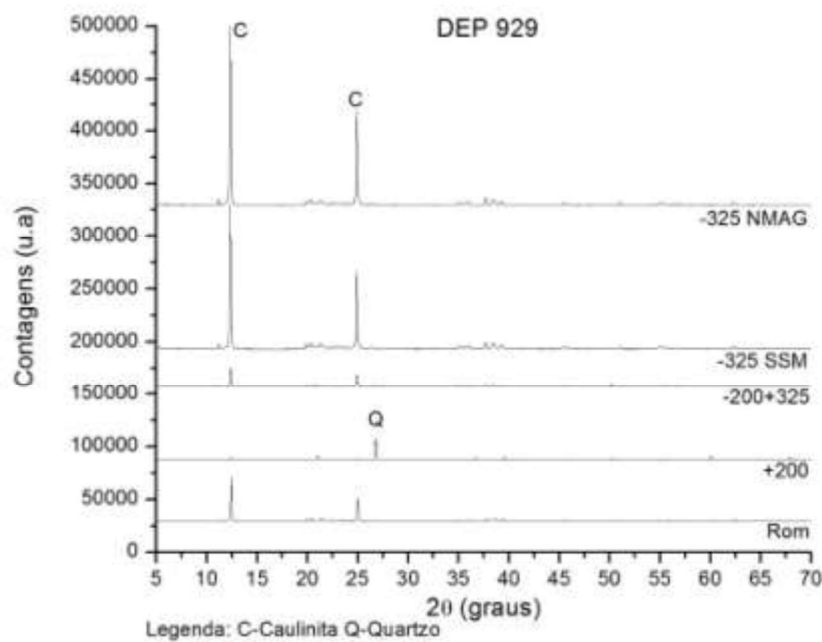


Figura 29. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 929. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

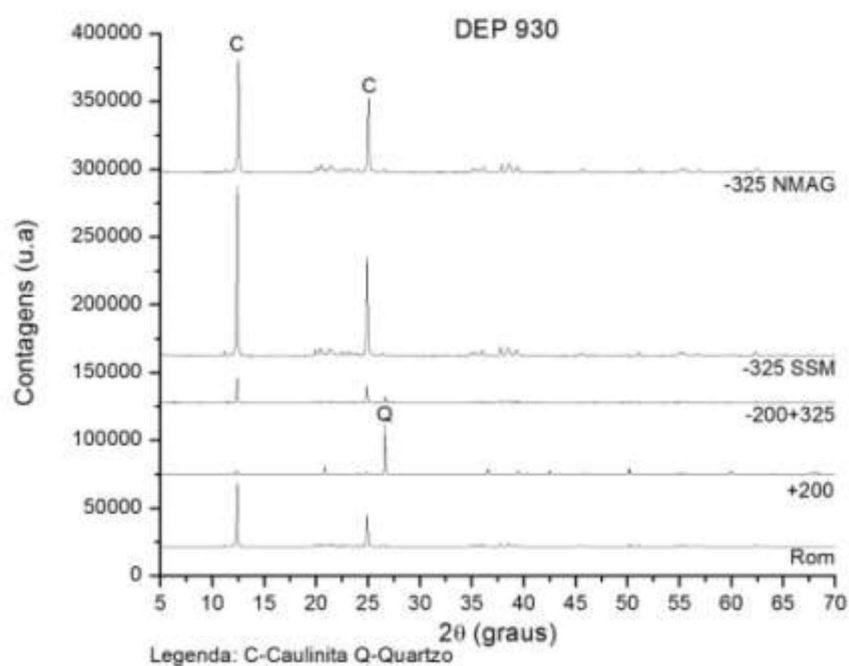


Figura 30. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 930. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

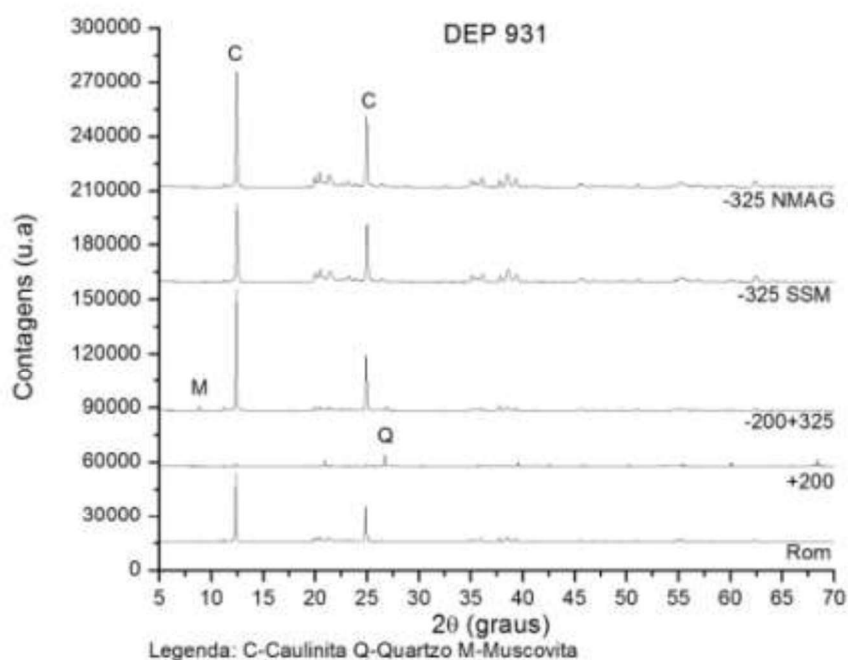


Figura 31. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 931. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

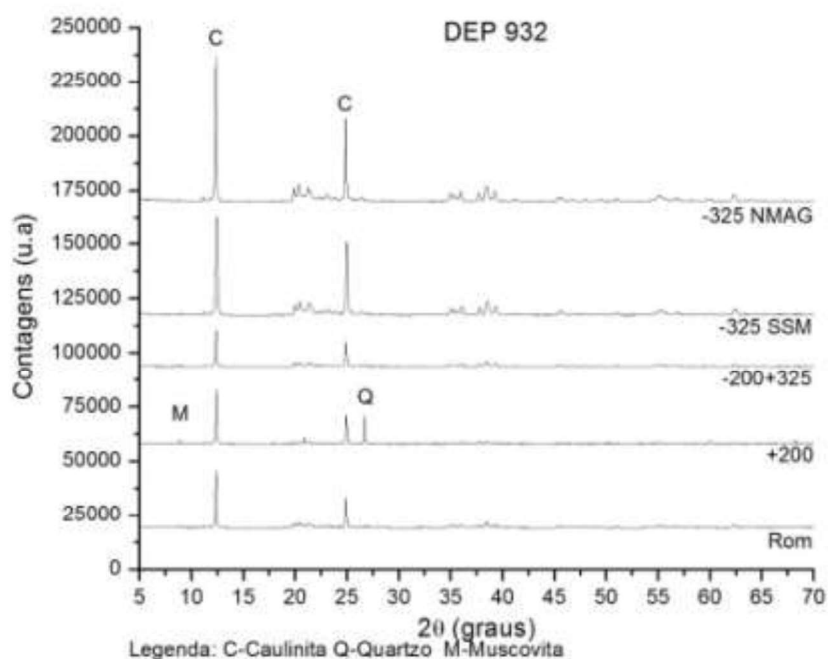


Figura 32. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 932. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

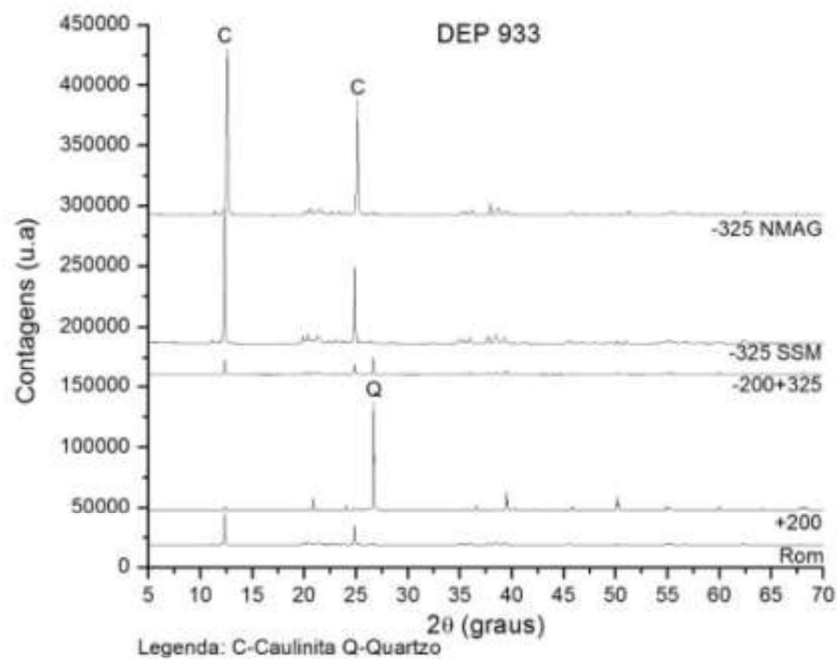


Figura 33. Difratogramas de raios X da amostra DEP 933. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

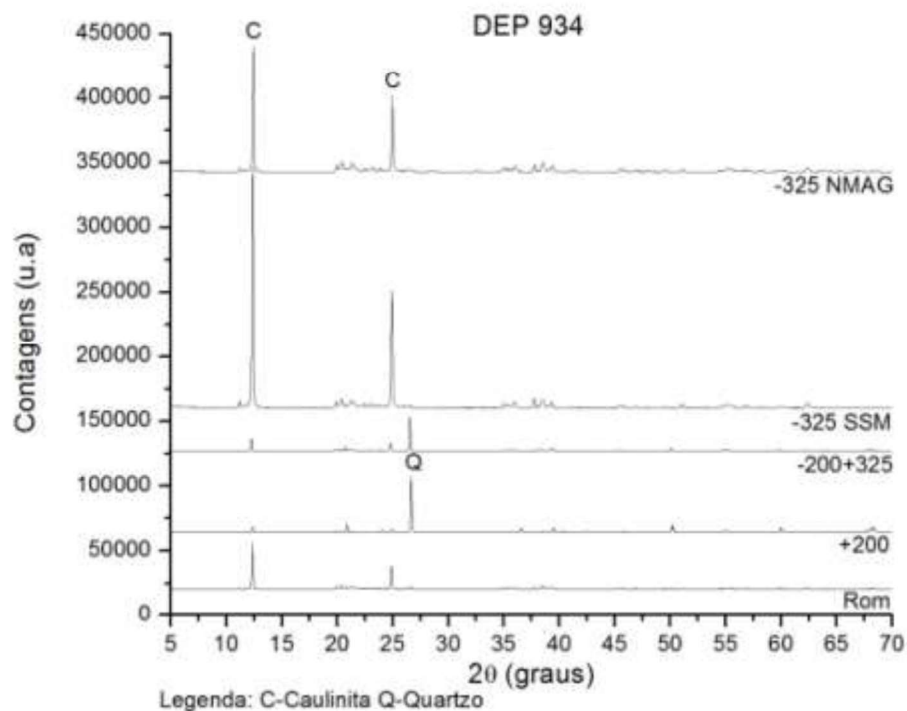


Figura 34. Difratogramas de raios X da amostra DEP 934. Radiação Cu K α (40 kV/40 mA).

3.2.4. Análises Químicas

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises químicas pelo método da FRX/EDS das amostras brutas e das frações -325# Não Magnética. Através dos resultados observa-se a classificação granulométrica em peneira de 325#, seguida pela separação magnética em campo de alta intensidade promove o aumento da concentração de Al_2O_3 e a diminuição nas concentrações de SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 (Figura 35)

Tabela 4. Composição química das amostras por FRX/EDS (% em peso).

Óxidos	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	ZrO_2	PPC	Total
DEP 928 ROM	41,4	43,4	1,1	0,91	0,15	12,8	99,76
DEP 928 -325#	41,7	42,4	0,82	0,84	<0,1	13,9	99,66
DEP 928 NMag	41,7	42,4	0,80	0,82	<0,1	13,9	99,62
DEP 929 ROM	41,7	43,3	0,78	0,81	0,15	13,1	99,84
DEP 929 -325#	42,0	42,7	0,52	0,74	<0,1	13,8	99,76
DEP 929 NMag	41,9	42,7	0,48	0,73	<0,1	14,0	99,81
DEP 930 ROM	41,8	43,7	0,72	0,67	0,15	12,8	99,84
DEP 930 -325#	42,0	42,7	0,40	0,66	<0,1	13,9	99,66
DEP 930 NMag	42,0	43,0	0,38	0,63	<0,1	13,8	99,81
DEP 931 ROM	42,0	42,9	0,66	0,48	<0,1	13,7	99,74
DEP 931 -325#	42,4	42,7	0,45	0,41	<0,1	13,9	99,86
DEP 931 NMag	42,1	43,0	0,43	0,39	<0,1	13,9	99,82
DEP 932 ROM	41,6	42,9	0,91	0,60	ND	13,6	99,61
DEP 932 -325#	41,8	42,8	0,81	0,56	ND	13,7	99,67
DEP 932 NMag	41,7	42,8	0,80	0,55	ND	13,8	99,65
DEP 933 ROM	41,9	45,6	0,41	0,35	ND	11,6	99,86
DEP 933 -325#	41,9	42,8	0,35	0,39	ND	14,4	99,84
DEP 933 NMag	42,2	43,0	0,33	0,37	ND	13,9	99,8
DEP 934 ROM	41,3	46,6	0,42	0,36	ND	11,2	99,88
DEP 934 -325#	42,1	42,9	0,39	0,42	ND	14,0	99,81
DEP 934 NMag	41,9	43,0	0,37	0,40	ND	14,2	99,87

PPC – Perda ao Fogo; ND – Sem registro

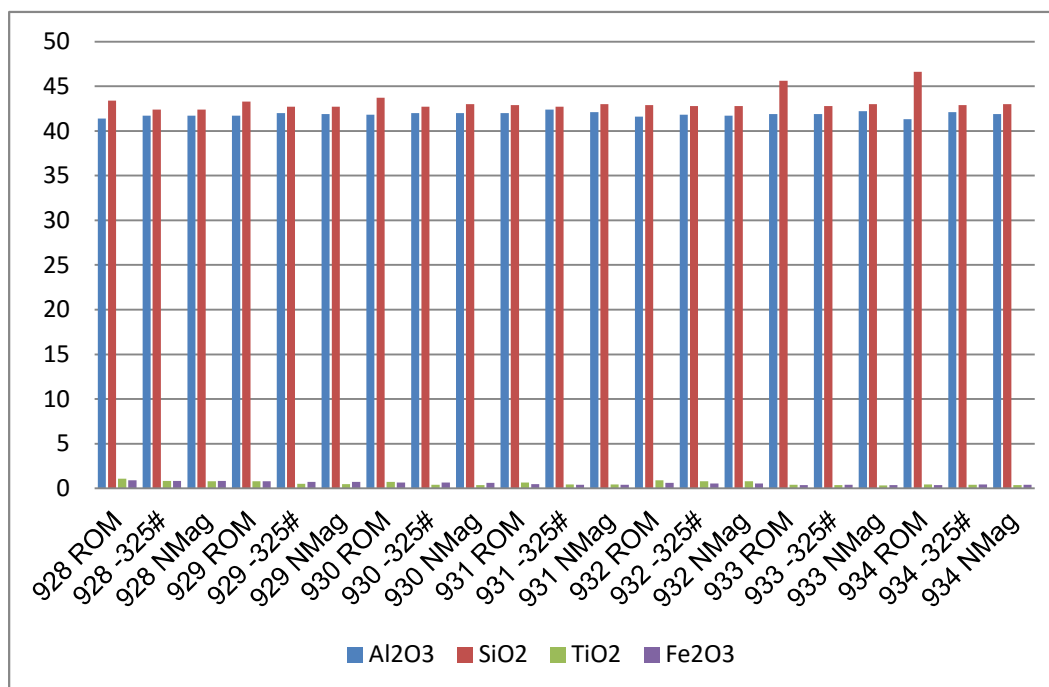


Figura 35. Composição química das amostras de caulim.

3.3. Índice de Alvura

Na tabela 5 são apresentados os resultados do índice de alvura (%ISO) e das propriedades ópticas das amostras de caulim. Os resultados indicam que o alvejamento químico com ditionito de sódio (5 kg/t) por um período de 2h é suficiente para promover um considerado aumento no Índice de Alvura das amostras. A amostra DEP 928 – 325# Alvejada foi a que apresentou menor índice de alvura (73,44% ISO) e a amostra DEP 933 a que apresentou maior valor (85,69% ISO).

Tabela 5. Índice de alvura e parâmetros de cores das amostras de caulim.

Amostra	Fração	IA	L*	a*	b*	IB	Tint	IO
DEP 928	ROM	67,40	90,85	3,21	9,35	34,47	-9,39	99,98
	-325#	68,02	90,95	3,10	8,95	36,60	-9,01	99,97
	-325 NMag	68,50	91,25	3,25	9,07	36,85	-9,23	99,96
	-325 Alvejada	73,44	92,71	1,87	7,38	48,30	-6,07	99,98
DEP 929	ROM	70,88	92,06	2,43	8,42	41,86	-7,51	99,98
	-325#	71,10	92,09	2,32	8,30	42,95	-7,27	100,01
	-325 NMag	70,81	92,24	2,54	8,81	40,52	-7,84	99,97
	-325 Alvejada	75,17	93,36	1,40	7,13	51,11	-5,13	100,00
DEP 930	ROM	77,33	93,85	1,16	6,20	56,62	-4,33	100,01
	-325#	76,52	93,87	1,55	6,89	53,53	-5,26	99,98
	-325 NMag	76,03	93,59	1,49	6,79	53,26	-5,15	99,97
	-325 Alvejada	79,53	94,71	0,84	5,94	60,00	-3,65	99,96
DEP 931	ROM	84,50	95,88	-0,07	4,16	70,98	-1,42	99,97
	-325#	83,24	95,28	0,19	4,05	69,98	-1,82	99,98
	-325 NMag	83,48	95,55	0,25	4,34	69,37	-2,04	99,97
	-325 Alvejada	85,34	96,01	0,12	3,75	73,21	-1,60	99,96
DEP 932	ROM	81,26	95,01	0,01	5,21	64,01	-1,98	99,97
	-325#	81,90	95,01	0,07	4,67	66,48	-1,87	99,98
	-325 NMag	82,12	95,21	0,12	4,84	66,20	-2,01	99,94
	-325 Alvejada	83,00	95,36	0,04	4,42	68,51	-1,71	99,98
DEP 933	ROM	84,00	95,33	0,37	3,52	72,51	-1,93	99,99
	-325 #	83,97	95,33	0,16	3,55	72,34	-1,60	99,97
	-325 NMag	83,49	95,42	0,29	4,09	70,15	-2,02	99,98
	-325 Alvejada	85,69	96,01	0,21	3,44	74,57	-1,63	99,97
DEP 934	ROM	82,38	94,66	0,95	3,57	70,64	-2,94	99,98
	-325 #	82,45	94,77	0,78	3,72	70,20	-2,71	99,98
	-325 NMag	83,59	95,38	0,83	3,93	70,82	-2,85	99,98
	-325 Alvejada	84,57	95,54	0,72	3,25	73,40	-2,45	99,97

IA – Índice de alvura; L* - Luminosidade; a* - Coordenada vermelho/verde (a + indica vermelho e – a indica verde); b* - Coordenada amarelo/azul (+ b indica amarelo e – b indica azul); IB – Índice de brancura; IO – Índice de opacidade.

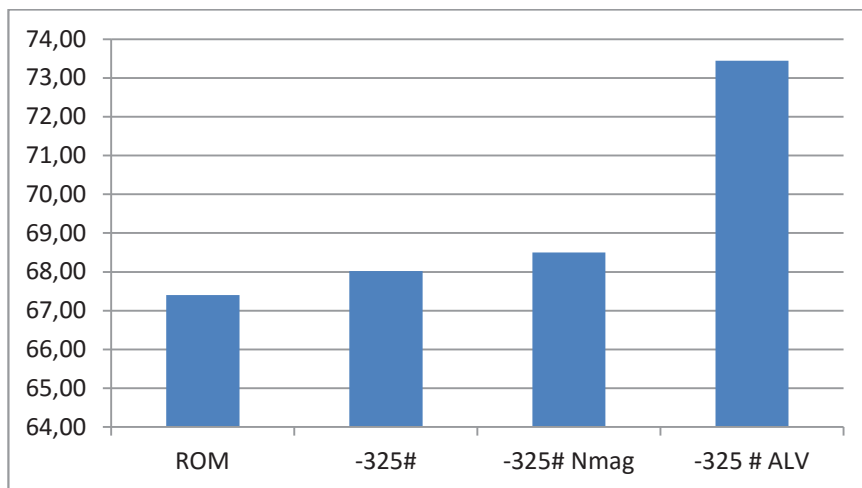


Figura 36. Índice de alvura da amostra DPE 928 (%ISO)

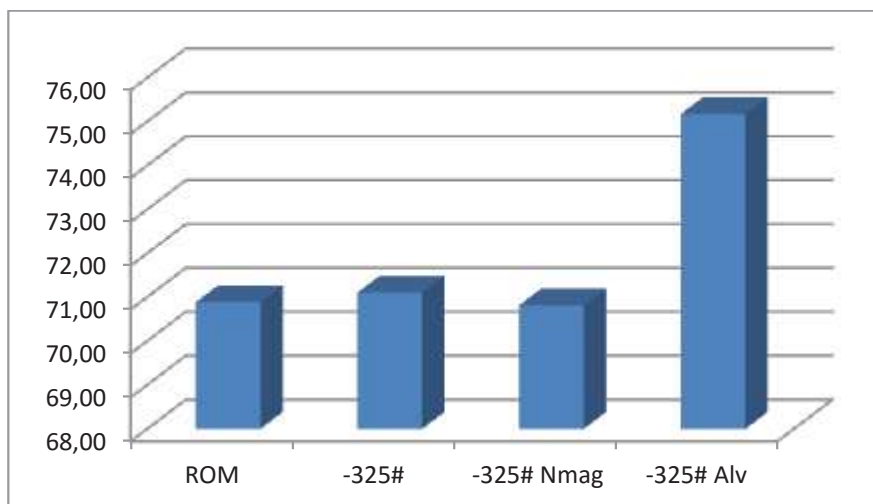


Figura 37. Índice de alvura da amostra DPE 929 (%ISO)

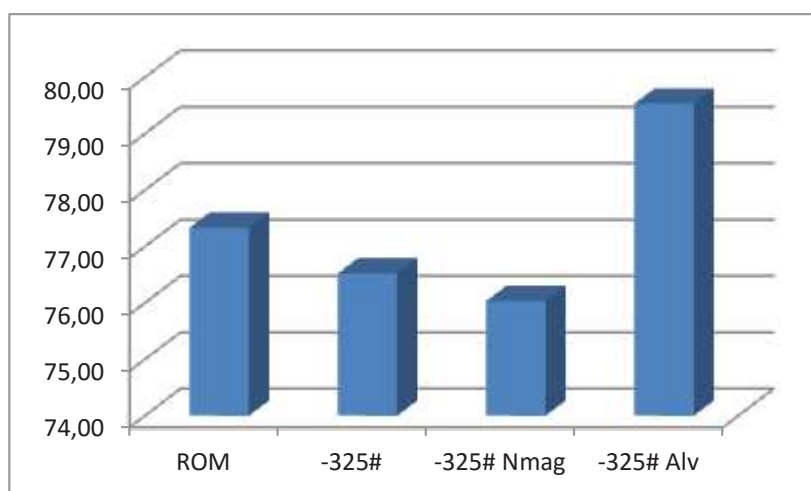


Figura 38. Índice de alvura da amostra DPE 930 (%ISO)

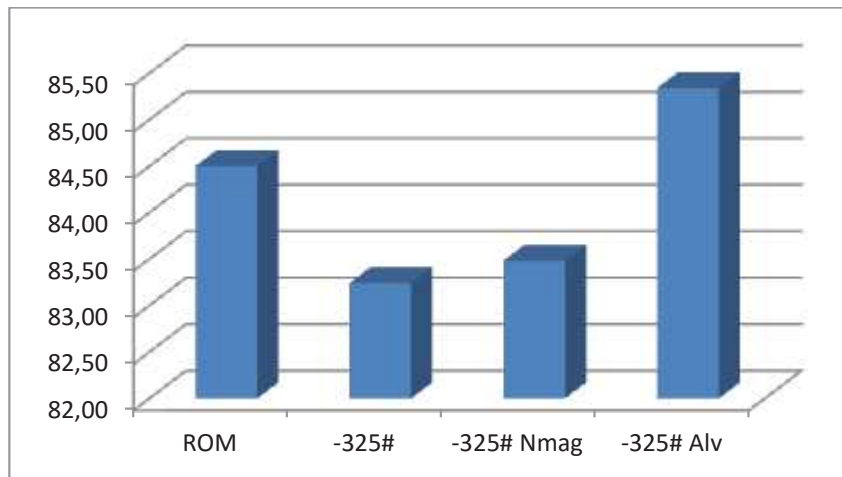


Figura 39. Índice de alvura da amostra DPE 931 (%ISO)

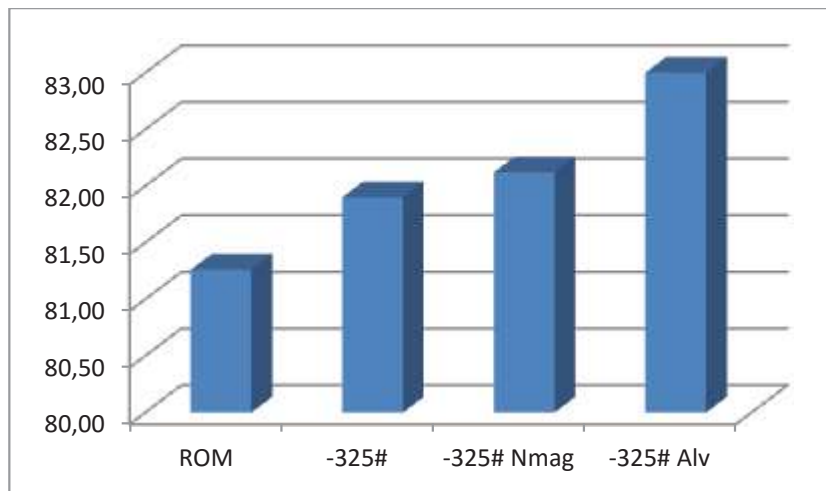


Figura 40. Índice de alvura da amostra DPE 932 (%ISO)

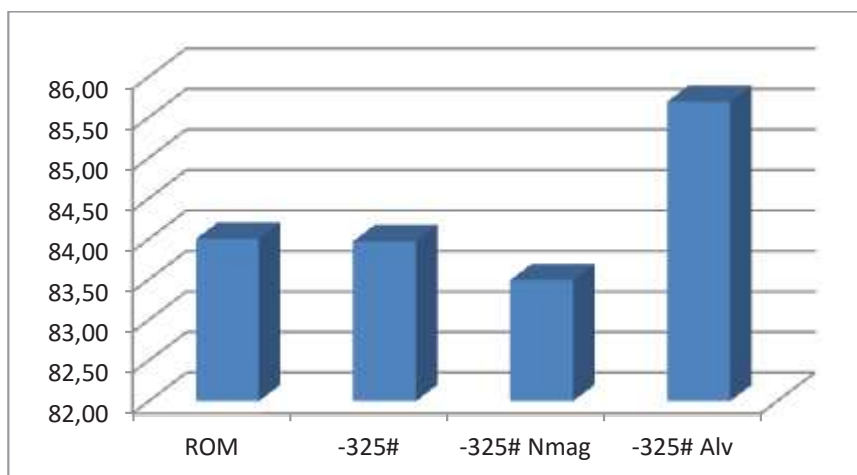


Figura 41. Índice de alvura da amostra DPE 933 (%ISO)

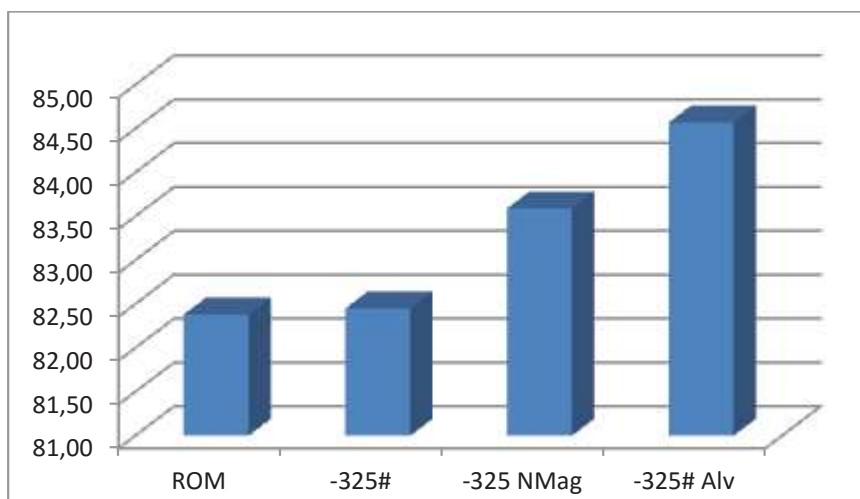


Figura 42. Índice de alvura da amostra DPE 934 (%ISO).

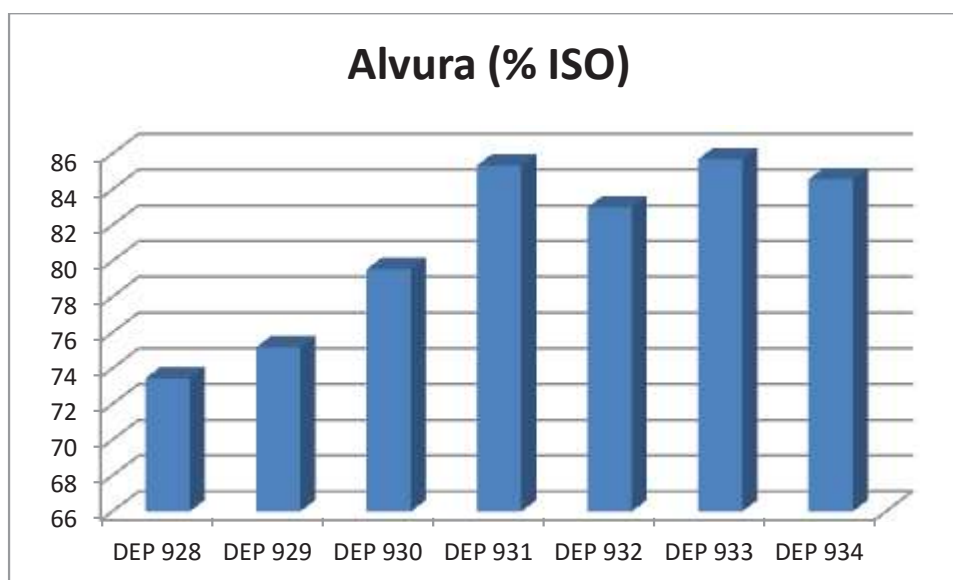


Figura 43. Índice de alvura (%ISO) das amostras após as etapas de beneficiamento.

3.4. Determinação do pH

Na Tabela 6 são apresentados os valores de pH das frações -325# e -325 Não Mag. Os valores pH das frações -325# variaram de 5,99 (DEP 931) a 6,16 (DEP 934), já das frações -325# Não Mag variaram de 5,99 (DEP 934) a 6,13 (DEP 933).

Tabela 6. Valores do pH das frações -325# e -325# Não mag.

Amostras	pH
DEP 928 -325	6,00
DEP 928 -325 NMAG	6,03
DEP 929 -325	6,15
DEP 929 -325 NMAG	6,17
DEP 930 -325	6,03
DEP 930 -325 NMAG	6,08
DEP 931 -325	5,99
DEP 931 -325 NMAG	6,04
DEP 932 -325	6,12
DEP 932 -325 NMAG	6,10
DEP 933 -325	5,98
DEP 933 -325 NMAG	6,13
DEP 934 -325	6,16
DEP 934 -325 NMAG	5,99

3.5 Determinação da Viscosidade

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da viscosidade dinâmica das frações -325# Não Magnética das amostras de caulim. Os ensaios foram realizados no equipamento reômetro RheoStress 1 da Thermo Haake. Foi usada uma polpa com 50% de sólidos com adição dispersante de hexametáfosfato de sódio na proporção de 4 kg/t. A polpa foi agitada em agitador Hamilton Beach durante 10 minutos e posteriormente foram medidos os valores de viscosidade.

Tabela 7. Valores da viscosidade dinâmica (cP) frações -325# Não mag.

Velocidade Angular (RPM)	928 Viscosidade (cP)	929 Viscosidade (cP)	930 Viscosidade (cP)	931 Viscosidade (cP)	932 Viscosidade (cP)	933 Viscosidade (cP)	934 Viscosidade (cP)
100	4,023	4,09	4,275	4,519	4,658	3,761	4,695
79,44	3967	4,027	4,2	4,457	4,595	3,681	4,64
63,11	3927	3,981	4,158	4,419	4,537	3,636	4,591
50,13	391	3,947	4,133	4,398	4,502	3,601	4,566
39,82	39	3,938	4,123	4,408	4,476	3,581	4,551
31,63	3898	3,926	4,156	4,402	4,464	3,594	4,48
25,12	3951	3,974	4,181	4,496	4,515	3,575	4,474
19,96	3,987	4,003	4,233	4,575	4,543	3,606	4,549
15,85	4,026	4,066	4,361	4,628	4,615	3,66	4,627
12,59	4,064	4,063	ND	ND	ND	3,604	ND
10,0	4,074	4,083	ND	ND	ND	ND	ND

ND – não determinado

4. CONCLUSÕES

O beneficiamento e a caracterização mineralógica das amostras de caulim indicaram que as sete amostras apresentam um comportamento muito semelhante. A classificação granulométrica a úmido em peneira de 325# (44 μm) seguida da separação magnética em campo de alta intensidade (14.000 Gauss), promoveu a concentração da caulinita e a diminuição do quartzo e óxidos hidróxidos de ferro.

Os resultados da classificação granulométrica indicaram que a amostra DEP 931 foi a que apresentou melhor rendimento na peneira de 325# (96,97%), já a amostra DEP 934 foi a que apresentou o menor rendimento (77,63%).

Através dos resultados das análises químicas obtidos por meio da fluorescência de raios X, observa-se que houve uma redução nos teores de SiO_2 e elevação dos teores Al_2O_3 , indicando que a classificação granulométrica na peneira de 325# elimina parte do quartzo presente nas amostras e concentra a caulinita. A classificação granulométrica seguida da separação magnética em campo de 14.000 Gauss se mostrou efetiva na redução do teor de Fe_2O_3 e TiO_2 . Parte do ferro pode estar na estrutura da caulinita substituindo o alumínio.