

CAPÍTULO 21

Feldspato

Adão Benvindo da Luz¹
Fernando A. Freitas Lins²
José Mario Coelho³

1. INTRODUÇÃO

Feldspato é o termo empregado para denominar um grupo de minerais constituídos de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio. Os tipos comerciais de feldspatos de potássio devem conter, pelo menos, 10% K₂O e os de sódio 7% Na₂O (Harben, 1994).

As indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato. Essas demandam especificações físicas e químicas e um certo grau de uniformidade no suprimento do produto.

No Brasil, até o momento, os pegmatitos e rochas graníticas são a principal fonte de feldspato. Outras fontes alternativas de feldspato, como nefelina sienito, têm sido estudadas em laboratório, no entanto não foram ainda viabilizadas, comercialmente (Braga et al., 1998). Espera-se que, no curto prazo, a Mineralli irá produzir nefelina sienito em Lavrinha-SP.

O crescimento no consumo de feldspato está dominado pelas indústrias de revestimento cerâmico e de colorifícios, visto que a indústria de vidro, em particular a de embalagem, tem apresentado um baixo crescimento, atribuído aos substitutos – PET e latas metálicas – bem como ao aumento crescente da reciclagem de vidro. Esse aumento pela demanda de feldspato deve-se ao desenvolvimento do processo de produção de porcelanato que utiliza na massa cerâmica cerca de 60% de feldspato. O processo de produção do porcelanato tem como vantagem uma redução no ciclo de queima, de 30-50 h para 60-70 min (Luz et al., 2003).

¹Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

²Engº Metalúrgico/PUC-Rio, D.Sc. em Engenharia Metalúrgica/COPPE-UFRJ, Pesquisador Titular do CETEM/MCT; atualmente, Diretor de Transformação e Tecnologia Mineral do MME/SGM.

³Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Economia Mineral/UNICAMP, Professor Adjunto do Departamento de Geologia/UFRJ.

Segundo POTTER (2008), a produção mundial de feldspato, em 2007, atingiu 16 Mt (20% a mais que em 2006), com a seguinte distribuição: Itália 25%, Turquia 14%, China 13%, Tailândia 7%, Japão 6%, Estados Unidos 5 %, França 4%, representando 74 % do total.

O Brasil produziu, em 2006, pelos dados oficiais, 166 mil t de feldspato bruto e 72 mil t de feldspato beneficiado (Jesus, 2007). Já em 2007, 182 mil t de feldspato bruto e 166 mil t do beneficiado (Joaquim, 2008). Os principais estados produtores de feldspato bruto, em 2007, foram Paraná (68%), Santa Catarina (15%), São Paulo (7%), Minas Gerais (6%) e Paraíba (3%). No entanto, segundo Bezerra et al. (1994) e Mota (2002), os dados do DNPM não incluem a produção garimpeira, estimada em 30% da oficial. Partindo-se desta informação, a produção anual de feldspato em 2006 estaria por volta de 240 mil t/ano.

No Brasil, as principais empresas produtoras de feldspato são em MG: Arqueana de Minérios e Metais Ltda, Mineração de Feldspato Ourofinense Ltda, Mineração Portobelo Ltda e Mineração Brasil Ltda; na PB: José Valmor Facher; no PR: Incepa Revestimentos Cerâmicos Ltda; no RN: Mineração Ubadeira e Elisabeth Produtos Cerâmicos Ltda; e em SC: MIVAL-Mineração Vale do Rio Tijucas Ltda e Ibitama Mineração Ltda; dentre outras (Jesus, 2008).

Levando em conta o consumo, além de feldspato, de outros fundentes (rochas graníticas, filito, fonolito, nefelina sienito, areias feldspáticas, dentre outros), Coelho e Cabral Jr (2007) estimaram, para o ano de 2006, o consumo total de 500 mil t e fizeram a previsão de consumo, para 2010, em torno de 650 mil t, devido ao crescimento das indústrias de revestimentos, colorifícios e sanitários. Em 2006, os segmentos industriais de revestimentos cerâmicos, colorifícios e vidro, consumiram 395 mil t (180, 110 e 105 mil t, respectivamente), representando cerca de 80% dos feldspatos e outros fundentes consumidos, sendo o restante usado em louças sanitárias, de mesa e porcelanas elétricas (Coelho e Cabral Jr, op. cit.).

O aumento esperado no consumo de feldspato no Brasil exigirá uma reestruturação da indústria cujos traços marcantes serão a regionalização da produção, visando à diminuição dos custos de frete, maior escala de produção e a internalização de tecnologia que permita um ganho maior de qualidade e de fatias importantes de mercado (Coelho et al., 2001). Esta reestruturação já pode ser visualizada com a participação do Sul do País com 81,7% da produção oficial, tendo o Paraná com 50,7% e Santa Catarina com 31,0%.

Esta reestruturação aumenta se levar em conta a produção da Mineralli, que em 2006, foi de 90 mil t de feldspato e areia feldspática e que esta empresa, a partir de setembro de 2008, irá produzir 80 mil t de nefelina sienito em Lavrinhas – SP.

Os preços do feldspato variam segundo os diferentes segmentos industriais e são determinados pelas suas características: granulométricas, teores de K_2O , Na_2O e Fe_2O_3 , dentre outros (Luz et al., 2003). A Tabela 1 apresenta os preços internacionais praticados em 2008, em países selecionados.

Tabela 1 – Preços internacionais de feldspato em alguns países (US\$/t).

País	Tipo de Feldspato	Preço
África do Sul	tipo cerâmico	112-165
	feldspato moído (200 μ)	70
	V= Micronisado	205
Índia	Feldspato K minério bruto (100-700 μ)	25-27
	feldspato moído (<74 μ)	70
Turquia	Feldspato Na 1,0 cm	22-23
	feldspato moído (63 μ)	75-80
	tipo vidro (500 μ)	70
Estados Unidos	tipo cerâmico 170-200 μ (Na)	60-75/ t curta
	200 μ (K)	125/t curta
Estados Unidos	tipo vidro 30 μ (Na)	40-52
	80 μ (K)	85-90

Fonte: Mineral Industrial, PriceWatch, 2008.

A Tabela 2 apresenta uma série histórica dos preços do feldspato bruto na boca da mina no Brasil, de 1990 a 2007, de beneficiado, bem como os preços de exportação e importação. Verifica-se, para o tipo bruto, uma tendência (com oscilações) de declínio dos preços praticados internamente, a partir de 1990. O tipo beneficiado mostra recuperação de preço a partir de 2004; nota-se que o feldspato beneficiado apresenta preços 3 a 6 vezes superiores ao feldspato bruto, no mercado interno. O feldspato exportado, a partir de 2003, alcança

preços 2 a 3 vezes maiores que o beneficiado comercializado internamente. Os preços de importação, de modo geral, são 2 a 3 vezes o de exportação, indicativo de qualidade superior. Por fim, verifica-se que os preços internacionais da Tabela 1, em geral, são inferiores aos de exportação apresentados na Tabela 2, nos últimos 4 anos.

Tabela 2 – Evolução dos preços FOB (correntes e constantes) de feldspato bruto (ROM) e beneficiado no mercado interno e os preços de exportação e importação (US\$/t).

Ano	Bruto (corrente)	Bruto (constante, 2000)	Beneficiado (corrente)	Exportação (corrente)	Importação (corrente)
90-93	45 a 62	59 a 75	n.d.	-	-
1994	52	60	n.d.	82	732*
1995	50	56	n.d.	387*	79
1996	41	45	n.d.	290*	224
1997	71	76	n.d.	94	206
1998	69	73	n.d.	91	312
1999	12	12	n.d.	50	543
2000	17	17	n.d.	197	575
2001	16	n.d.	68	48	414
2002	8	n.d.	50	43	573
2003	17	n.d.	45	167	704
2004	19	n.d.	54	130	787
2005	9,5	n.d.	67	105	2.400*
2006	40	n.d.	76	206	857*
2007	11	n.d.	80	275	2.333*

Fonte: elaboração dos autores a partir de Ramos (2001), até 2000, e do Sumário Mineral (DNPM).

(*) Menos de 50 t. Os preços, talvez produtos muito especiais, são extraordinariamente altos.

A balança comercial, em 2007, apresentou um superávit de US\$ 1,46 milhão, resultado das exportações de feldspato de 5.419 t, por um valor de US\$ 1,49 milhão, a um preço médio FOB de US\$ 275/t. As importações foram insignificantes (12 t de feldspato no valor de US\$ 28.000) (Joaquim, 2008). A Tabela 3 apresenta a evolução do comércio internacional de 2002 a 2007, mostrando superávit a partir de 2005.

Tabela 3 – Evolução da balança comercial de feldspato entre 2002 e 2007 (em US\$ mil).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Exportação	143	22	41	121	1.751	1.489
Importação	590	479	231	48	12	28
Saldo	(446)	(456)	(191)	73	1.739	1.461

Fonte: banco de dados do MDIC/Aliceweb.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

O grupo dos feldspatos é constituído de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio, e raramente bário. Os feldspatos têm propriedades físicas muito similares entre si, no entanto, devido à sua composição química, se agrupam em: feldspato de potássico (ortoclásio, microclínio, sanidina, adularia), feldspato de bário (celsiana), e feldspato calco-sódico (SEGEMAR, 2000). O sódio pode substituir o potássio e, na variedade sanidina, essa substituição pode chegar até 50% (DANA, 1970).

A albita e anortita formam uma série isomórfica contínua de soluções sólidas em diferentes temperaturas. Esta série é denominada de plagioclásio e varia desde a albita pura à anortita pura. Segunda a composição relativa de cada um desses, recebe a denominação constante da Tabela 4 (SEGEMAR, 2000).

Há ainda um grupo de minerais quimicamente semelhantes aos feldspatos, denominados de feldspatóides, no entanto se diferenciam dos feldspatos por conterem menor quantidade de sílica. Os feldspatóides são aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio, como elementos principais, porém com menor quantidades de outros íons (DANA, 1970). Os feldspatóides mais freqüentes são a leucita ($K(Si_2O_6)$) e nefelina $(Na,K)AlSiO_4$. Existem outros feldspatóides (sodalita, lazurita) que, por serem raros, não são apresentados no presente capítulo. A nefelina é a espécie mais comum dos feldspatóides, podendo ocorrer em rochas ígneas, tanto plutônicas quanto vulcânicas (SEGEMAR, 2000).

Tabela 4 – Série dos plagioclásios.

Série dos Plagioclásios	% de Albita	% de Anortita
Albita $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	100-90	0-10
Oligoclásio	90-70	10-30
Andesina	70-50	30-50
Labradorita	50-30	50-70
Bitownita	30-10	70-90
Anortita $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	10-0	90-100

Os pegmatitos são considerados a principal fonte de feldspato, devido aos seus grandes cristais, pureza e abundância. Na província da Borborema, na região Nordeste, e na província oeste do Estado de Minas Gerais encontram-se os principais depósitos de pegmatitos do Brasil. Essas províncias fornecem feldspatos potássicos e algum feldspato sódico, para as indústrias cerâmicas (Motta et al., 2002). Além dos pegmatitos, existem outras fontes de feldspato:

- (i) Alaskitos;
- (ii) Nefelino sienito;
- (iii) Granitos;
- (iv) Aplitos;
- (v) Areia feldspática;
- (vi) Rochas intrusivas, tipo **anortosito**, parcialmente caulinizadas; e
- (vii) Filitos.

Alaskito - é a principal fonte de feldspato nos EUA. Ocorre no distrito de Spruce Pine, Carolina do Norte. Olson (1944), citado por Kaufmann (1994), define alaskito como sendo um pegmatito granítico de granulometria grossa e composição mineralógica relativamente uniforme. Uma outra característica do feldspato contido nesses alaskitos é o predomínio da albita, feldspato sódico. Os alaskitos lavrados na região de Spruce Pine, Carolina do Norte-EUA, contêm cerca de 60 a 70% de feldspato, 25 a 30% de quartzo, 3 a 6% de moscovita, 2% de minerais de ferro, principalmente granada e pequenas quantidades de argilas (SEGEMAR, 2000). Análise química de um concentrado obtido em uma unidade de beneficiamento da Feldspar Corporation apresentou os resultados da Tabela 5 (Luz et al., 2001).

Tabela 5 – Análise química de um concentrado de feldspato obtido por flotação de um alaskito, na Feldspar Corporation-Spruce Pine-Carolina do Norte.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Total
66,54	19,54	0,064	1,71	3,75	7,42	0,0278	0,0045	99,0564

Nefelina Sienito - é uma rocha ígnea alcalina, sem quartzo, constituída de feldspatos (microclínio e albita), feldspatóides (nefelina, sodalita), dolomita, monazita/zirconita e minerais portadores de ferro. A análise mineralógica de uma nefelina sienito, proveniente da pedreira Vigné, município de Nova Iguaçu-RJ, apresentou a mineralogia constante na Tabela 6 (Braga et al., 1998).

Tabela 6 – Composição mineralógica da nefelina sienito de Nova Iguaçu-RJ.

Minerais	Teor (%)
Feldspato alcalino	90,7
Pirita	3,2
Dolomita	3,1
Nefelina/sodalita	2,5
Monazita	0,2
Biotita	0,1
Limonita	0,1

Fonte: Braga et al., 1998.

Granitos - são rochas constituídas, essencialmente, de quartzo, feldspato e mica. Os feldspatos são minerais formadores de rochas, principalmente rochas ígneas ácidas, como o granito. Embora este possa conter entre 50 e 70% de feldspatos alcalinos, passa a ser lavrado em função de seu conteúdo em feldspato. Poucos são os exemplos de feldspato obtido de granitos: na Geórgia-EUA é extraído feldspato do granito Shadydale no Condado de Jasper (13,9% Al₂O₃; 4,7% Na₂O; 3,6% K₂O; 0,9% CaO) (Harben, 1995); em Jundiá – SP, o granito de mesmo nome (3,5% Na₂O; 4,5% K₂O, 1,5% Fe₂O₃) que era utilizado in natura até pouco tempo, está sendo beneficiado pelo Grupo Minerali SpA em Itupeva – SP, com uma capacidade instalada de 120 mil t (Crossley, 2003). A Tabela 7 apresenta as especificações dos produtos da Minerali de Itupeva.

Aplito - conhecida como uma rocha de composição granítica, no entanto pode variar a composição, de um gabro a granito. Aplito é um termo textural que se refere a uma rocha ígnea de granulação fina, na qual os minerais constituintes apresentam uma textura de açúcar, com as faces dos cristais pobremente desenvolvidas. Existem vários exemplos, na Virginia-USA (condado de Hanover, Piney River), de produção comercial de feldspato, a partir de depósitos de aplito (Kaufmann e Vandyk, 1994).

Areia Feldspática - segundo Harben (1995) depósitos de areia de praia, de rio ou de dunas podem conter quantidades de feldspatos passíveis de serem aproveitados economicamente. Na localidade de Navas de Oro, Província de Segóvia, Espanha, a Companhia Minera de Rio Prión S. A. explora e beneficia areia feldspática de origem eólica, de idade quaternária, com 50% quartzo, cerca de 40% de feldspato potássico (menos de 8% de plagioclásio) e, como minerais pesados mais freqüentes, a turmalina, granada e micas (Francisco Javier, 2002). No Brasil, na baixada fluminense, nos municípios de Seropédica e de Itaguaí-RJ, ocorrem depósitos de areia feldspática com cerca de 25% de feldspatos potássicos e sódicos (4,24% K_2O ; 1,56% Na_2O) e ultimamente esses materiais estão sendo estudados, em laboratório, visando seu aproveitamento para a indústria de vidro e cerâmica.

Tabela 7 – Feldspato produzido pela Minerali do Brasil.

Nome Comercial	Produtos para Cerâmica, Vidros e Colorifícios							
	MB 1300		F60/15	MB 710		MB 610		F60/15V
Química (% Peso)	Min	Max	Típica	Min	Max	Min	Max	Típica
Al ₂ O ₃	12,20	13,00	13,00%	12,20	13,00	12,20	13,00	13,00
Fe ₂ O ₃		0,22	0,2		0,21		0,21	0,2
SiO ₂		77,45	77,4		77,35		77,35	77,4
TiO ₂		0,01	0,0		0,01		0,01	0,0
Na ₂ O	3,80	4,30	4,3	3,80	4,40	3,80	4,40	4,3
K ₂ O	4,20	4,60	4,4	4,20	4,60	4,20	4,60	4,4
CaO	0,31	0,37	0,3	0,32	0,38	0,32	0,38	0,3
MgO		0,05	0,1		0,05	-	0,05	0,1
Umidade		0,15	0,2		0,15		0,15	0,2
Quartzo		30	33		33		33	33
Feldspato Na		39	39		39		39	39
Feldspato K		27	27		27		27	27
Outros		1	1		1		1	1
Granulometria								
ASTM	Mm	Retido Ac. (%)	Retido Ac. (%)		Retido Ac. (%)		Retido Ac. (%)	Retido Ac. (%)
13	1,18	13	13		0		0	0
16	1,00	21	21		0		0	0
20	0,85	0,85			2		0	0
35	0,5	51	51		7		1	1
60	0,25	73	73		37		30	30
100	0,15	82	82		56		49	49
140	0,106	86	86					
200	0,075							
325	0,045							
Fundo	<0,106	100	100		100		100	100

Rochas intrusivas parcialmente caulinizadas - o anortosito é uma rocha ígnea intrusiva de granulação grosseira composta principalmente por feldspato plagioclásio rico em cálcio. É produzida pela empresa Colorminas no Rio Grande do Sul (27,75% Al_2O_3 ; 4,0% Na_2O ; 0,66% K_2O ; 9,15% CaO).

Filito - é uma rocha metamórfica de granulação fina constituída de caulinita, sericita e quartzo, é um bem mineral com várias aplicações industriais. Um dos principais usos do filito é na indústria cerâmica, onde é empregado como fundente, auxiliando na fusão da massa cerâmica para produção de pisos louças sanitárias e de mesa. A Tabela 8 mostra a composição típica do filito (IPT, 1981).

Tabela 8 – Composição mineralógica do filito Itupeva-SP.

Cor	PF	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
Branca	3,66	71,72	16,29	1,05	0,50	-	1,44	0,11	4,62
Cinza	4,21	96,30	17,60	1,12	0,60	0,02	1,73	0,08	4,82
Creme	5,40	61,20	21,61	6,16	0,60	0,01	1,55	0,05	3,71
Rosado	5,22	62,62	17,99	6,83	1,00	-	1,17	0,11	4,82
Preto	5,15	66,60	17,70	1,85	0,60	0,03	1,96	0,011	5,11

Fonte: IPT/1981.

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Na região Nordeste, Paraíba e Rio Grande do Norte, e norte de Minas Gerais encontram-se as principais províncias pegmatíticas do País, no entanto, de modo geral, os métodos de exploração e lavra, até então empregadas, são ainda extremamente empíricos, predatórios e sem nenhuma técnica de engenharia de minas.

As técnicas de concentração empregadas nos pegmatitos da região Nordeste e norte de Minas Gerais são também muito rudimentares e consistem apenas de uma catação manual, na frente de lavra, no próprio local de detonação primária (Luz et al, 2003).

O beneficiamento de feldspato geralmente envolve flotação e separação magnética para remover os minerais acessórios tais como mica, granada, ilmenita e quartzo. No caso de depósitos de pegmatitos e de areia feldspática, o

quartzo ocorre como co-produto. Em algumas aplicações, a presença da sílica é vantajosa; no entanto, em outras requerem um feldspato bastante puro e moído (Saller, 1999).

Segundo Bayraktar e Çakir (2002), na Turquia, na região de Cine-Milas, o run of mine é normalmente britado em dois estágios e peneirado abaixo de 10 mm. O minério albitico britado e peneirado, se não foi lavrado seletivamente e/ou processado posteriormente, é denominado de “Standard”, e tem a composição química típica apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição típica de um feldspato sódico, tipo Standard, da Turquia, região de Çine-Milas.

Composto	Teor (%)
Na ₂ O	8,50 – 10,60
K ₂ O	0,25 – 1,50
Fe ₂ O ₃	0,04 – 0,30
TiO ₂	0,20- 0,40

Além da britagem e peneiramento, foi implantada uma unidade industrial usando flotação e separação magnética, visando a produção de feldspato de melhor qualidade, destinado à fabricação de porcelanato. Para obter concentrados de albita com maior alvura, para a indústria cerâmica e de vidro, emprega-se a separação magnética para remover os minerais que contém ferro, tais como biotita, granada e turmalina. Neste caso, vem sendo usado separador magnético a seco, de alto gradiente, usando separador de rolos. No caso da presença de minerais de rutilo, a sua remoção só é possível por flotação.

A unidade de beneficiamento da Ogleby Norton, em Kings Mountain, Carolina do Norte-EUA, beneficia um pegmatito alterado, através da remoção da moscovita, usando espiral de Humphrey. A seguir, é feita remoção dos minerais de ferro com sulfonato de petróleo como coletor e separação do feldspato e quartzo com amina (coletor), em pH ácido, regulado com HF (Luz et al., 2001).

4. USOS E FUNÇÕES DO MINERAL (ATUAIS E POTENCIAIS)

As indústrias de cerâmica e vidro representam os principais campos de aplicação do feldspato. Usa-se também o feldspato, como carga funcional e extensor, nas indústrias de tinta, plástico e borracha. Não se trata de um uso tradicional, mas tem mostrado que, com o uso de feldspato, é possível melhorar o desempenho desses produtos (Kauffman e Vandyk, 1994).

Cerâmica

Segundo ainda esses mesmos autores, na indústria cerâmica a quantidade de feldspato utilizada varia com o tipo de produto. A porcelana de mesa pode conter entre 17 e 20% de feldspato, cerâmica de piso entre 55 e 60%, revestimento de parede de zero a 11%, porcelana elétrica entre 25 e 35%.

O feldspato usado na indústria de cerâmica (revestimento de piso e parede, louça sanitária, porcelana elétrica, fritas, vidrado, e esmalte), como fluxante, tem a função de formar uma fase vítrea no corpo, promovendo uma vitrificação e transluzimento. Os feldspatos são usados no vidrado vitrificado, como fonte de álcalis e alumínio. Tanto para vidro quanto cerâmica, o feldspato contribui como fonte de SiO_2 (Harben, 1995).

A formulação de qualquer cerâmica tradicional é constituída de dois elementos principais: o material plástico, constituído de caulim e argila, e o material duro, de sílica e feldspato. O constituinte plástico permite que o corpo cerâmico seja moldado, enquanto os constituintes duros permitem ao corpo cerâmico sua forma, após a queima (Motter, 2000).

Segundo esse mesmo autor, na indústria cerâmica o feldspato é representado por dois minerais: albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), feldspato sódico e ortoclásio ou microclínio, feldspato potássico. A anortita, feldspato cálcico, é raramente usado, pois trata-se de um mineral muito refratário. Na indústria cerâmica, os feldspatos sódicos e potássicos apresentam comportamento diferente, durante a queima. Os feldspatos sódicos são caracterizados por apresentar baixo ponto de fusão (em torno de 1.170°C) e por uma fusão abrupta, bem como retração (shrinkage) e fusibilidade dependentes da temperatura. A massa fundida do feldspato sódico tem viscosidade mais baixa. Por isto, na indústria cerâmica o feldspato sódico é mais propenso à formação de peças empenadas ou deformadas. Os limites térmicos para trabalhar são mais estreitos. Por outro lado, os feldspatos potássicos têm um ponto de fusão mais elevado (cerca de

1500°C) e seu comportamento cerâmico se dá de forma mais progressiva. A massa fundida proveniente do feldspato potássico apresenta maior viscosidade e dessa forma os limites térmicos de trabalho são relativamente mais amplos.

Vidro

Na fabricação do vidro, o feldspato é usado como fonte de Al_2O_3 , Na_2O e/ou K_2O , e SiO_2 . Segundo MAIA (2003), no processo de fabricação do vidro, há uma classificação para os óxidos utilizados que diz respeito à função desses, no processo de produção do vidro e no seu uso :

- (i) vidro-formadores (formadores da rede);
- (ii) estabilizadores;
- (iii) fundentes ou fluxos e
- (iv) acessórios.

Vidro-formadores são compostos cujos átomos formam arranjos tetraédricos gerando cadeias que podem se dispor de forma aleatória, formando o vidro. Os fluxos ou fundentes têm a função de baixar a temperatura de fusão das matérias primas resultantes da blendagem, no processo de produção do vidro. Os fundentes são constituídos de óxidos que reagem no processo de obtenção do vidro, em temperaturas relativamente baixas e estabilizadores são óxidos que conferem, ao vidro, um elevado grau de resistência química (Maia, 2003).

Num vidro alcalino constituído de SiO_2 , Na_2O e CaO , o dióxido de silício é o vidro-formador, o Na_2O o fundente e o CaO o estabilizador. Há outros vidros em que os óxidos vidro-formadores são compostos do tipo óxido de germânio (GeO_2), ou óxido bórico (B_2O_3) ou pentóxido de fósforo (P_2O_5) (Maia, 2003).

Os álcalis (K_2O , Na_2O) contidos no feldspato substituem, parcialmente, o carbonato de sódio e têm a função de fundente. A alumina ajuda a trabalhabilidade do vidro fundido, aumenta a resistência do vidro à corrosão química, aumenta a sua dureza e durabilidade e inibe a desvitrificação (HARBEN, 1995).

Os óxidos acessórios são utilizados na fabricação do vidro em pequenas quantidades e com funções específicas. Por exemplo: alguns óxidos de metais (óxidos de ferro, de cromo, de cobre etc) são usados como corantes, para conferir ao vidro uma cor desejada.

5. ESPECIFICAÇÕES

Encontram-se, a seguir, as especificações de feldspato para diferentes aplicações, tais como carga, indústria de vidro e cerâmica (Tabelas 10 a 16).

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Na indústria cerâmica, os principais substitutos do feldspato são a areia feldspática e nefelina sienito. No Brasil, diversas substâncias minerais estão sendo utilizadas como fundente, em substituição ao feldspato, como o granito tipo Jundiá e filito. Na indústria de vasilhame de vidro vem sendo usadas: escória de alto forno, areia feldspática e nefelina sienito. Na indústria de vidro plano, está sendo usada a alumina calcinada e alumina hidratada. No caso de fibra têxtil, caulim (Coelho, 2001).

Tabela 10 – Especificações de feldspatos usados como carga.

Especificação\Produto	Minspar 3	Minspar 4	Minspar 25	Minspar 7
Brilho (G.E. bightness)	89,6	91,4	91,5	92,2
Peso específico (lb/gal)	21,61	21,61	21,61	21,61
Densidade aparente (lb/ft ³)				
Solto (não compactado)	44	40	40	38
Compactado	70	60	60	55
Umidade	0,1	0,1	0,1	0,1
PH	8,7	9,3	9,3	9,3
Abs.de oleo (rub out) ASTM D-282-31	16 – 17	18 – 19	19 - 20	21 - 23
% em peso passante em:				
74µm	99,6	100	100	100
44µm	96	99,95	100	100
30µm	87	94	99	100
20µm	72	88	96	100
10µm	41	60	70	90
05µm	19	30	35	55
Tamanho médio, µm	12	8	7	4,8
Área superficial (m ² /g)	0,8 – 0,9	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,5 – 1,6

Fontes: K-T Feldspar Corp. USA e Harben (1995).

Tabela 11 – Especificações comerciais para feldspato para vidro e porcelana.

Especificação /Produto	Vidro F-20	Vidro C-20	Vidro G-40	Vidro Aplito*	Porcelana NC-4	Porcelanana C-6	Porcelana G-200	Porcelana K-200
SiO ₂	68,20	68,90	67,70	63,10	68,15	68,70	67,00	67,10
Al ₂ O ₃	22,00	18,75	18,50	22,00	19,00	18,50	18,30	18,30
Fe ₂ O ₃	0,10	0,07	0,1 max	0,10	0,067	0,07	0,08	0,07
Cão	5,60	1,85	0,90	5,60	1,60	0,90	1,02	0,36
MgO	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço
K ₂ O	3,00	3,85	4,10	3,00	4,00	4,10	10,50	10,10
Na ₂ O	6,00	7,15	7,00	6,00	7,00	7,20	2,85	3,80
P.F.	0,20	0,13	0,25	0,20	0,10	0,25	0,20	0,26
Análise granulométrica - % retida acumulada								
16 malhas	0,1	0,4		0	Fonte: Feldspar Corp., USA			
20 malhas	8,2	8,0		1,5				
30 malhas	12,0			15,0				
40 malhas		49,0	1,75	50,0				
50 malhas	85,5	81,0		97,0				
100 malhas	98,8	96,1	61,0	100,0				
200 malhas			97,5					

Fonte: Redeker, 1977.

Tabela 12 – Uma comparação de diferentes fontes de alumínio na cerâmica e vidro.

	Nephelina sienito	Feldspato sódico	Feldspato potássico	Aplito com baixo teor de ferro	Escória calumite
SiO ₂	61,40	67,54	67,04	63,71	38,8
Al ₂ O ₃	22,74	19,25	18,02	21,89	10,5
Fe ₂ O ₃	0,06	0,06	0,04	0,09	0,3
Cão	0,70	1,94	0,38	0,48	38,5
MgO	traço	traço	traço	traço	1,4
K ₂ O	4,95	4,05	12,10	2,37	0,5
Na ₂ O	9,54	6,96	2,12	5,60	0,4
P.F.	0,60	0,13	0,30	0,21	1,1 (S cpds)

Fonte: Harben (1995).

Tabela 13 – DAM⁽¹⁾ Feldspato para cerâmica sanitária – análise química (% em peso).

Especif./Produto	CA44 T200	CA57 T200	CM77 T200	FT 200	EA2 BF	SPSB
SiO ₂	74	66	67	74,3	74	73
Al ₂ O ₃	15	20	19	14,5	15,5	16,6
Fe ₂ O ₃	0,4	0,55	0,36	0,35	0,4	0,34
TiO ₂	0,2	0,25	0,23	0,20	0,05	0,15
Na ₂ O	4,5	5,7	7,25	5,5	4,0	7,2
K ₂ O	4,5	6,8	4,1	2,8	5	1,3
Cão	0,4	0,5	0,6	0,5	0,2	0,8
MgO	0,2	0,4	0,5	0,1	0,05	0,1

⁽¹⁾DAM-Denain Anzin Minéraux.

Tabela 14 –Especificações (% em peso) dos Feldspatos da Moinhos Estrela do Sul.

Especificações\Produto	Serie 1000 TR ⁽¹⁾	Serie 1000 OP ⁽²⁾	Serie 1000 OP ⁽³⁾
P.F.	<0,30	<0,30	<0,30
SiO ₂	66,50	68,20	71,04
Al ₂ O ₃	18,60	17,50	18,10
Fe ₂ O ₃	0,08	0,08	0,09
Na ₂ O	3,28	2,90	1,45
K ₂ O	10,60	10,30	8,10
Cão	<0,21	<0,30	<0,45
MgO	<0,01	<0,10	<0,03

(1) Feldspato potássicos empregados na fabricação de revestimentos cerâmicos, louça sanitária, fritas e esmaltes; (2) Feldspato potássicos empregados pelos coloríficos par produção d eengobes e vidrados; (3) Albita utilizada para produção de esmaltes, possui alta fusibilidade e alvura.

Tabela 15 – Feldspato proveniente dos pegmatitos da Carolina do Norte.

Nome Comercial	Feldspato para Vidro		Feldspato para Porcelana			Areia Feldspática
	F-20	K-40	NC-4	K-200	Foot Spar	-
Ponto de Venda	S.P.*	K.Mt.**	S.P.	K.Mt.	K.Mt.	K.Mt.
Análise Química (% peso)						
SiO ₂	68,00	67,10	68,15	67,10	68,70	79,20
Al ₂ O ₃	19,00	18,30	18,88	18,30	19,27	12,10
Fe ₂ O ₃	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06
Cão	1,85	0,36	1,60	0,36	tr	0,52
MgO	Tr	tr	tr	tr	tr	TR
K ₂ O	3,75	10,10	4,50	10,10	3,69	2,62
Na ₂ O	7,15	3,80	6,70	3,80	7,91	4,80
Li ₂ O	-	-	-	-	0,08	0,35
P.F.	0,13	0,26	0,10	0,26	0,25	0,35
Composição Mineralógica Aproximada (% peso)						
Feldspato Potássico	22	60	26	60	22	16
Feldspato Sódico	61	32	57	32	67	41
Feldspato Cálcico	9	2	8	2	-	2
Quartzo	8	6	9	6	11	41
Análise Granulométrica (% peso acumulado) - Série Tyler						
+ 20 malhas	0,1	-	Moído	Moído	0,1	Moído
+ 48 malhas	42,0	-	Para passar em	Para passar	Na	-
+ 100 malhas	85,5	56,15	170; 200	120; 170	35,1	
+ 200 malhas	97,2	90,05	ou 250	2000; 250	75,1	
325 malhas	-	-	malhas	malhas	-	
Densidade e PCE						
Densidade aparente lb/ft ³	90	80-85	50-55	55-60	80	85-90
PCE (cone pirométrico equivalente)	9	-	9	-	-	-
*Spruce Pine, ** Kings Mountain						

Fonte: Redecker (1977).

Tabela 16 –Especificações (% em peso) dos feldspatos da Mineração Jundu Ltda.

Especif./ Produto	F 20/18 G ⁽¹⁾	F 20/23 G ⁽²⁾	F 28/18 G ⁽³⁾	N 20/40 G ⁽⁴⁾
P.F.	0,70	0,530	0,580	–
SiO ₂	67,50	70,00	67,50	55,00
Al ₂ O ₃	18,00	17,00	18,00	20,00
Fe ₂ O ₃	0,10	0,19	0,10	4,00
Na ₂ O + K ₂ O	14,00	12,20	14,00	20,00
CaO	0,20	0,20	0,20	–
TiO ₂	0,010	0,010	0,010	–
MgO	0,10	0,10	0,10	–
P ₂ O ₅	0,20	0,20	0,20	–
Umidade	0,010	0,250	0,200	–

(1) Feldspato Tipo I # 20 Granel; (2) Feldspato Tipo IV # 20 Granel; (3) Feldspato Tipo III # 28 Granel; (4) Fonolito # 20 Granel.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Geociências/UFRJ por haver permitido que o Prof. José Mario Coelho participasse na elaboração desse texto, sobre feldspato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYRAKTAR; ÇAKIR, U. Quality feldspar production at Çine Akmaden. Industrial Mineral, n° 416, May, 2002, p. 56-59.
- BRAGA, P. F. A., SAMPAIO, J. A., LEAL FILHO, L. S. Estudos de beneficiamento de feldspato em rochas alcalinas. In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 1998,Água de S. Pedro - SP, p. 509-518.
- COELHO, J. M. Impacto da reestruturação do setor de feldspato no Brasil sobre as empresas de pequeno porte: importância de uma nova abordagem na análise de investimento. 2001, Campinas. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Estadual de Campinas.
- COELHO, J. M.; SUSLICK, S B; FURTADO, R. Projeção da demanda de feldspato no Brasil. In: 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2001, Florianópolis. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis, 2001, vol. 1.

- COELHO e CABRAL JR. Panorama de mercado dos minerais industriais de pegmatito: destaque ao feldspato. Currais Novos, 2007, 66 p.
- CROSSLEY, P. A feast of feldspar. *Industrial Mineral*, nº 432, Sept, 2003, p. 36-49.
- DANA, J. D. Grupo dos Feldspatos. In: *Manual de Mineralogia*. Editora do Livro Técnico SA, Rio de Janeiro, 1970, vol. 2, p. 536-556.
- FRANCISCO JAVIER, A. I.; LEOPOLDO, J. C.; JOSÉ LUIS, C. A. Características de Yacimiento Feldspato de Navas de Oro (Segovia): Método de explotación y sistema de beneficio. CD ROM do XI Congreso International de Industria, Minería y Metalurgia, 22p. Zaragoza, Espanha, 2002, 4-7 Junio.
- HARBEN, P. W. Feldspar. In: *The Industrial Mineral Handy Book –A Guide to Markets, Specifications, & Prices*, 2nd Edition. Editor P. W. HARBEN, 1995, p. 62-65.
- HARBEN, P. W., KUZVART, M. Feldspar. In: *Industrial Minerals – A Global Geology*, *Industrial Mineral Information*, Metal Bulletin PLC, London, 1996, p. 168-174.
- JESUS, C. A. G. Feldspato. In: *Sumário Mineral-DNPM*, www.dnpm.gov.br, 2007.
- JOAQUIM, L. G. Feldspato. In: *Sumário Mineral-DNPM*. www.dnpm.gov.br, 2008.
- KAUFFMAN, R. A., VAN DYK, D. Feldspars. In: *Industrial Mineral and Rocks*, Donald D. Carr, Senior Editor, 6th Edition, SMME, Littleton, Colorado, 1994, p. 473-481.
- LUZ, A. B., BALTAR, C. A. M., MACHADO, A. O. D. Relatório técnico de viagem aos Estados Unidos, no âmbito do projeto CTPETRO, 2001, 30p, RV-10/01-CETEM.
- LUZ, A. B., LINS, F. F., PIQUET, B., COSTA, M. J. COELHO, J. M. Pegmatitos do Nordeste – Diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado. Série Rochas e Minerais Industriais nº 9, 49p., CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2003, www.cetem.gov.br.

- MAIA, S. B. Composição dos vidros e tipos principais. In: O Vidro e sua Fabricação. Editor Samuel Berg Maia, Editora Interciência, 211p, Rio de Janeiro, 2003. Cap 3, p. 21-30.
- MOTA, J. F. M., COELHO, J. M., JUNIOR, M. C. ZANARDO, A. e TANO, L. C. Raw materials for porcelainized stoneware tiles. *Tile & Brick Int.*, 2002, vol. 18, nº 6, p. 358-363.
- MOTTER, B. Feldspar for the sanitaryware industry. *Industrial Minerals*, March 2000, nº 390, p. 81-87.
- PENNEY, C. A feast of feldspar. *Industrial Minerals*, September, 2003, nº 432, p. 36-49.
- POTTER, M. J. Feldspar. In: U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, January 2008, p. 60-61.
- PRICEWATCH. *Mineral Industrial*, april, 2008.
- RAMOS, L. J. Feldspato. *Balanço Mineral Brasileiro*, 2001 www.dnpm.gov.br.
- REDEKER, I. H. Flotation of feldspar, spodumene, quartz and mica from pegmatite in North Caroline, USA. *Sonderdruck aus Zeitschrift ERZEMETALL*, Band 30, H. 12. S. Dr Riedrer Verlag GMBH Stuttgart, 1997, p. 566-572.
- SALLER, M. Feldspar and nepheline syenite reviewd. *Industrial Mineral*, October, 1999, nº 385, p.43-51.
- SÃO PAULO. Secretaria de Indústria. Comércio Ciência e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Mercado consumidor mineral do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. Secretaria Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.
- SEGEMAR Feldspato y Mica, SEGEMAR-Serviço Geológico Minero Argentino, INTEMIN-Instituto de Tecnologia Minera, IGRM- Instituto de Geologia y Recursos Minerales, *Publicación Técnica SEGEMAR – UNSAM*, nº 5, 2000, marzo, 91p.