

# Capítulo 3

## Opala no Rio Grande do Sul

**Tania Mara Martini de Brum, Pedro Luiz Juchem**  
Laboratório de Gemologia, Departamento de Mineralogia e Petrologia  
Instituto de Geociências, UFRGS  
labogem@ufrgs.br

### Resumo

No Rio Grande do Sul existem depósitos de opala associados à ágata em geodos e em fraturas nas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral e também cimentando brechas ou depositada ao longo de estruturas de fluxo dessas rochas. A opala que ocorre nesses depósitos é do tipo microcristalina, com uma variação significativa no grau de cristalinidade, sendo identificadas opala-CT e opala-C. Esse mineral tem sido extraído esporadicamente na região entre os municípios de Soledade e Salto do Jacuí, representando uma nova fonte de recursos para a região. A opala apresenta cores variadas, destacando-se a vermelha e a azul que são as mais valorizadas no mercado. Uma parte significativa da produção é lapidada, produzindo um material de boa qualidade gemológica.

Palavras chave: Opala, Grupo Serra Geral, mineralizações em geodos.

## 1| Introdução

O Rio Grande do Sul se destaca no cenário mineiro mundial pelos extensos depósitos de ágata e de ametista que ocorrem nas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral (Bacia do Paraná). Junto a esses depósitos são registradas várias ocorrências de opala em diferentes áreas da região sul do Brasil. Depósitos de opala com interesse econômico, no entanto, são conhecidos até o momento somente na região central do RS. Embora a opala do RS seja ainda pouco conhecida no mercado de gemas do País, nos últimos anos esse mineral passou a ser explorado de forma mais sistemática, representando uma nova fonte de renda para os garimpeiros e comerciantes locais, gerando divisas para as regiões produtoras.

O mapa da figura 1 mostra a localização geográfica dos principais depósitos de materiais gemológicos no Rio Grande do Sul e seu contexto geológico. Além da ágata e da ametista, que são as gemas mais conhecidas, ocorrem ainda quartzo rosa, cristal de rocha, ônix, jaspe, cornalina, opala, calcita, gipsita, zeólitas e apofilita, em depósitos nas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. Registram-se ainda depósitos de serpentinitos em rochas do embasamento cristalino no sudoeste do estado e madeiras fossilizadas em rochas sedimentares Gondwânicas, na região próxima a Santa Maria.

A opala é encontrada em depósitos de pequena extensão entre os municípios de Soledade, Espumoso, Tunas, Campos Borges, Barros Cassal, Fortaleza dos Valos e Salto do Jacuí (figura 1). Dentre as variedades de opala que ocorrem no RS, algumas se destacam pela qualidade gemológica, em especial a opala vermelha e a opala azul; além dessas, outras variedades podem ser aproveitadas como gemas lapidadas, atingindo valores expressivos no mercado nacional e internacional de gemas.

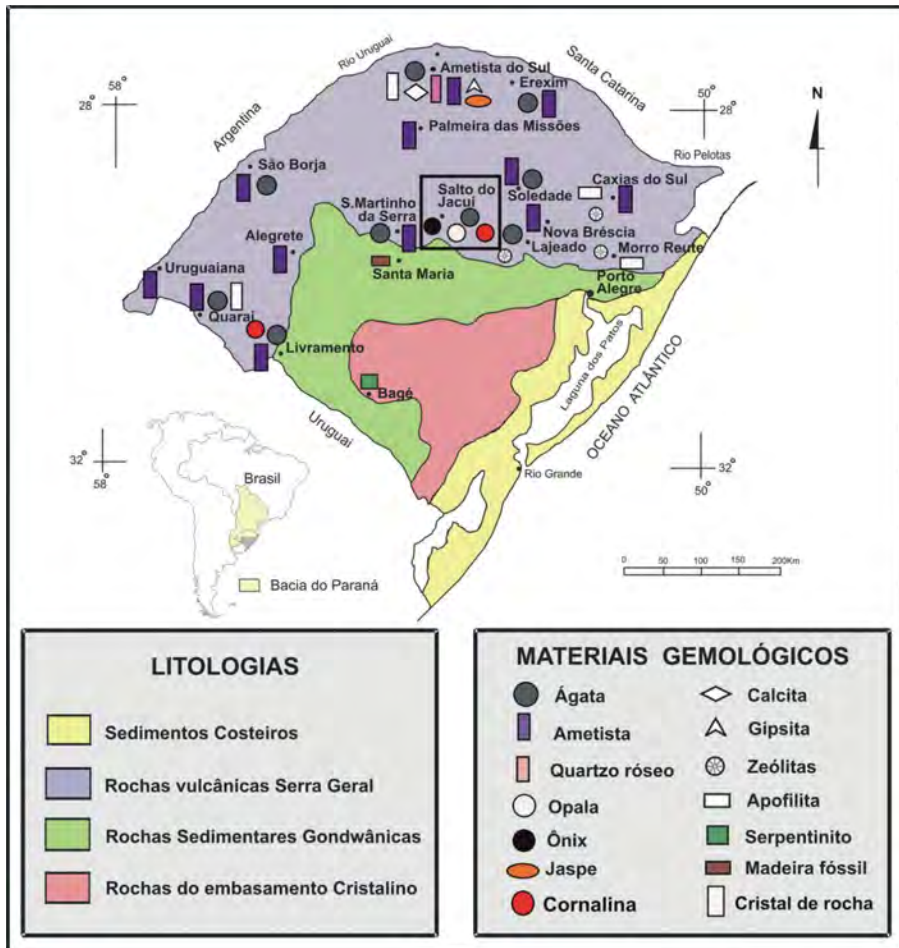


Figura 1

Mapa gemológico do Rio Grande do Sul indicando os principais depósitos de gemas e seu contexto geológico. Na área assinalada, a principal região onde ocorrem depósitos de opala. Modificado de Juchem *et al.*[1].

## 2 | Metodologia

Nas pesquisas de campo foram utilizadas cartas topográficas na escala 1:50.000, fotografias aéreas na escala 1:60.000, imagens *Google Earth* e receptor de sinais de satélite (*GPS*). As rochas e a opala foram caracterizadas em laboratório utilizando microscopia óptica e eletrônica (*MEV*) e difratometria de raios X (*DRX*) através do método do pó. Polariscópio, refratômetro de contato, balança de densidade e microscópio gemológico de imersão foram utilizados na caracterização gemológica da opala. Análises químicas de rocha total e da opala foram obtidas por fluorescência de raios X e por espectrometria por emissão de plasma (*ICP-MS - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*).

## 3 | Geologia dos Depósitos

As rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral [2], originadas pelo intenso vulcanismo fissural relacionado à ruptura do Gondwana durante o Cretáceo Inferior, cobriram um espesso pacote sedimentar depositado em uma grande unidade geotectônica denominada Bacia do Paraná [3]. São constituídas predominantemente por basaltos toleíticos (>90% do volume total) e por rochas ácidas, riolitos e riodacitos (~ 3% de volume total), que ocorrem predominantemente no topo da sequência vulcânica.

A opala no RS pode ocorrer junto à ágata (em minas do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí) ou como pequenos depósitos encontrados por agricultores durante a preparação das terras para o plantio ou durante a abertura ou manutenção de estradas (figura 2). Nesses depósitos, a opala pode ocorrer em geodos, em fraturas, em feições de fluxo da rocha hospedeira e também cimentando brechas (figura 3), em quantidades que podem variar desde pequenas acumulações até várias centenas de quilogramas desse mineral.

As rochas portadoras de opala são afaníticas e semivítreas com cores cinza a cinza escuro e castanho avermelhado, sempre bastante alteradas. Podem exibir vesículas centimétricas parcialmente preenchidas por calcedônia e quartzo.

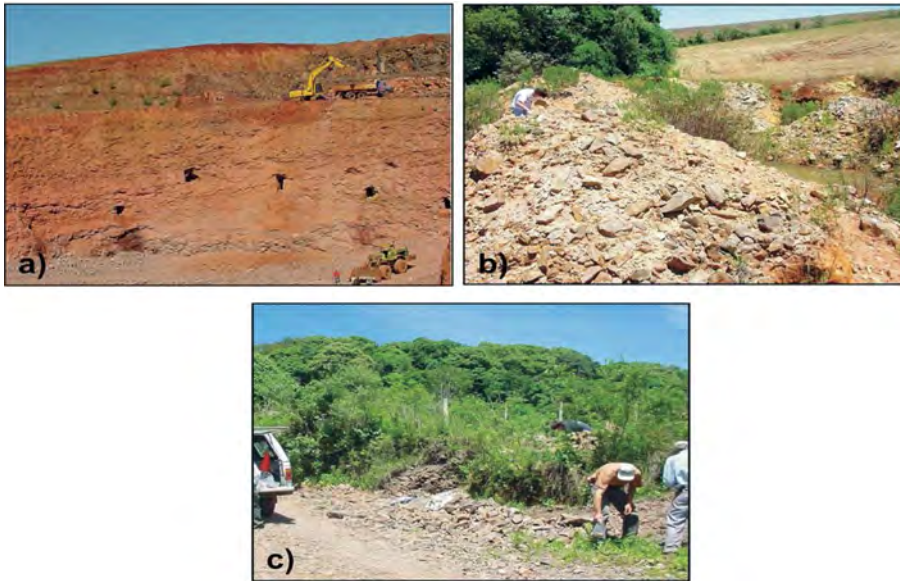


Figura 2  
Tipos de depósitos de opala: a) mina de ágata em Salto do Jacuí, onde a opala ocorre associada à ágata; b) depósito explorado em área de lavoura; c) depósito encontrado em corte de estrada.

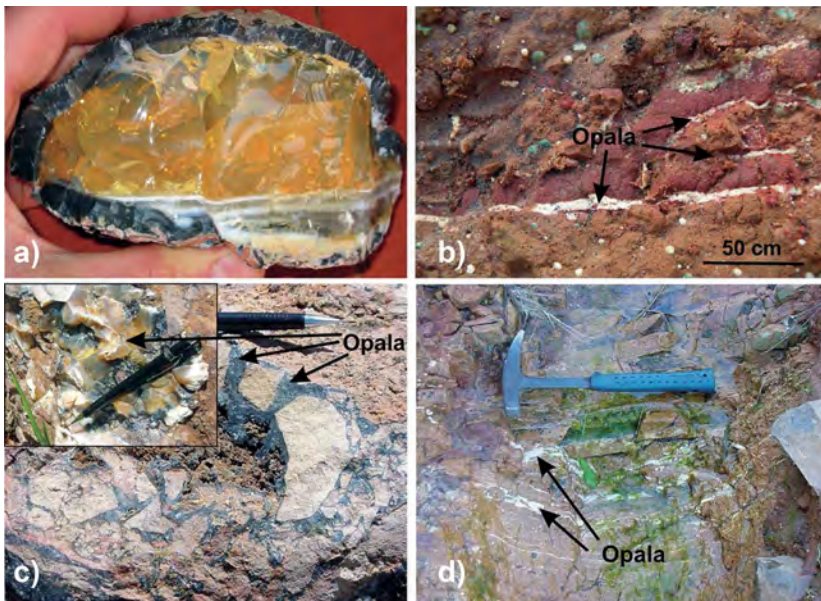


Figura 3  
Ocorrências de opala: a) opala amarela preenchendo um geodo, associada à ágata; b) opala branca leitosa em fraturas da rocha hospedeira; c) opala preta e amarelo alaranjada (no detalhe) cimentando uma brecha; d) opala branca leitosa depositada em feições de fluxo da rocha hospedeira.

Ao microscópio petrográfico são identificados microfeno­cristais de plagioclásio (labradorita), piroxênio (augita) e minerais opacos (magnetita/ilmenita), imersos em uma matriz semivítrea bastante alterada. Na matriz ocorrem micrólitos de plagioclásio e de piroxênio e cristalitos aciculares por vezes dispostos em arranjos radiados a esferulíticos. É comum a rocha conter fraturas preenchidas por quartzo macrocristalino, quartzo microcristalino granular e fibroso (calcedônia) e por vezes opala (figura 4).

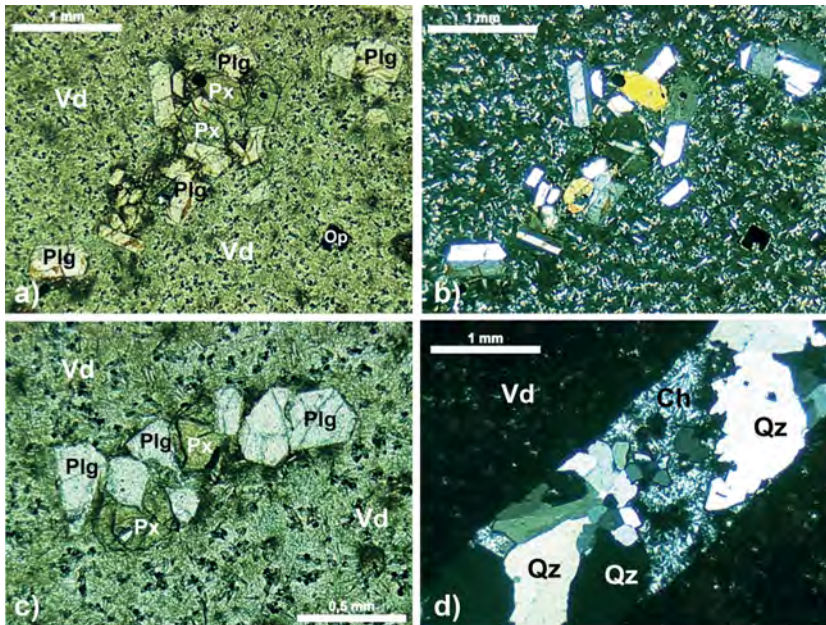


Figura 4

Fotomicrografias da rocha portadora de opala obtidas ao microscópio petrográfico: aspecto geral da rocha em a) LN e b) LP com microfeno­cristais de plagioclásio (Plg) e piroxênio (Px) e de opacos (Op) em uma matriz vítrea (Vd) com micrólitos de mesma composição e cristalitos aciculares; c) Glomeropórfiros de plagioclásio e piroxênio na matriz vítrea, com vários cristalitos aciculares formando agregados esferulíticos (LN). d) Detalhe em LP de um veio de quartzo (Qz) e calcedônia (Ch) fibrosa na matriz semivítrea isótropa (Vd) e com micrólitos.

A tabela 1 mostra os resultados de análises químicas realizadas nas rochas portadoras de opala, indicando que são ácidas, com o conteúdo de  $\text{SiO}_2$  variando entre 63% e 72%. Esses dados quando dispostos em gráficos de classificação geoquímica de rochas [4], indicam que as rochas são riodacitos e riolitos (figura 5), cujas características petrográficas e químicas permitem correlacioná-las com o fácies Palmas do Grupo Serra Geral, como descrito em Nardy *et al.* [5].

Tabela 1. Composição química das rochas portadoras de opala, em porcentagem em peso da amostra.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
OP1-2	63,40	12,75	8,80	0,08	0,91	2,88	2,92	3,73	1,21	0,35	2,80	99,80
OP1-3	63,26	12,58	9,35	0,14	0,56	1,72	2,30	4,15	1,21	0,37	4,20	99,80
OP1-4	64,50	12,41	9,21	0,14	1,30	3,94	3,05	3,21	1,16	0,36	0,50	99,79
OP3-1	71,31	11,88	5,26	0,09	0,28	1,49	2,41	5,21	0,63	0,18	1,10	99,83
OP-6	71,95	11,74	4,99	0,05	0,24	0,91	2,25	5,54	0,62	0,18	1,30	99,77
OP11-1	68,05	12,36	4,86	0,07	0,69	1,88	2,40	3,99	0,66	0,18	4,60	99,78
OP11-2	65,67	12,57	6,50	0,11	1,38	3,32	2,77	3,43	0,91	0,27	2,90	99,83
OP13-1	68,89	12,15	5,11	0,08	0,59	2,00	2,66	3,91	0,64	0,18	3,60	99,80
OP18	63,14	12,36	9,62	0,15	1,45	4,18	3,38	2,74	1,20	0,34	1,20	99,79
OP19	70,83	11,91	5,62	0,10	0,24	1,38	2,42	5,34	0,62	0,19	1,10	99,79
OP22	68,48	13,56	5,38	0,04	0,32	0,17	1,49	4,95	0,73	0,14	4,60	99,85
OP27-B	70,99	11,93	5,48	0,07	0,22	0,55	1,71	6,18	0,63	0,17	1,90	99,80

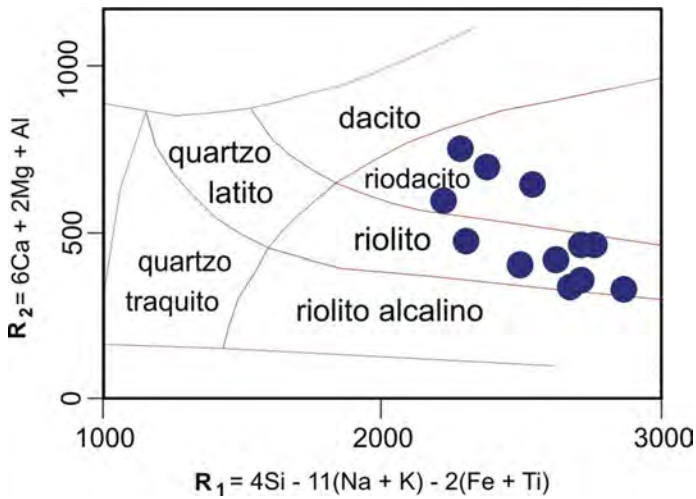


Figura 5  
Classificação litogeoquímica das rochas portadoras de opala com o diagrama multicatiônico de De La Roche *et al.* [4], indicando que as rochas são classificadas como riodacitos e riolitos.

## 4 | Opala

O oxigênio e o silício são os elementos químicos mais abundantes da litosfera e como consequência os silicatos (minerais compostos basicamente por Si, O e outros elementos) são os minerais mais comuns da grande maioria das rochas. A sílica –  $(\text{SiO}_2)_n$  – pode ocorrer também isolada, como substância amorfa (certos tipos de opala) ou como substâncias cristalinas; dentre estas, destaca-se o quartzo e suas variedades macrocristalinas (incolor, ametista, citrino, etc.) e microcristalinas (calcedônia, ágata, etc.) como um dos principais constituintes da crosta terrestre. Existem ainda outros minerais de sílica, menos abundantes e com estruturas cristalinas diferente do quartzo, como a tridimita e a cristobalita que ocorrem sempre em agregados micro a criptocristalinos. Esses minerais podem cristalizar em temperaturas altas (variedades  $\beta$ ) ou baixas (variedades  $\alpha$ ), que apresentam estruturas cristalinas compatíveis com as suas condições de cristalização. A  $\alpha$ -tridimita cristaliza no sistema ortorrômbico em temperaturas inferiores à 117 °C e a  $\alpha$ -cristobalita cristaliza no sistema tetragonal em temperaturas inferiores à 200 °C [6].



A opala, variedade não-cristalina a microcristalina de sílica, é conhecida e utilizada pelo homem desde a Antiguidade na confecção de utensílios e também como gema. Sua composição química é  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , onde o  $\text{SiO}_2$  é o constituinte principal, ocorrendo sempre em proporções iguais ou superiores a 90%. A água ocorre em teores médios que variam entre 4,0 e 10,0%, podendo, no entanto, ocorrer com valores extremos entre 0,8 e 21,0%.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  e álcalis são também encontrados em proporções variadas; e como elementos-traço, são comuns Ba, Sr, Rb, Mn, Ti e U.

A opala, considerada inicialmente como uma substância amorfa, teve suas características estruturais estabelecidas com o avanço das técnicas analíticas utilizadas na identificação dos minerais, especialmente a difração de raios X (DRX) [7, 8]. Com essa técnica, Jones *et al.* [9], mostraram que a estrutura da opala varia desde material praticamente amorfo, até  $\alpha$ -cristobalita quase perfeita. Em 1971, Jones & Segnit [7] classificaram e nomearam, baseados em DRX, três fases de sílica hidratada de baixa temperatura: opala amorfa (opala-A);  $\alpha$ -cristobalita com empilhamento acentuado de  $\alpha$ -tridimita (opala-CT); e  $\alpha$ -cristobalita ordenada com empilhamento mais restrito de  $\alpha$ -tridimita (opala-C). Segundo Graetsch [10], estudos mais detalhados da estrutura desse mineral mostram que na opala-CT o empilhamento é da ordem de 50% de  $\alpha$ -tridimita e 50% de  $\alpha$ -cristobalita. Na opala-C o empilhamento é de 20 a 30% de  $\alpha$ -tridimita e o restante de  $\alpha$ -cristobalita. Já Elzea & Rice [11] propõem que a opala-C e a opala-CT sejam parte de uma série contínua de intercrescimentos entre termos finais de seqüências empilhadas de  $\alpha$ -cristobalita e de  $\alpha$ -tridimita.

A opala pode apresentar duas características ópticas especiais: a opalescência e o jogo de cores. A opalescência, fenômeno que pode ocorrer em diversos tipos de opala, é provocada pela dispersão da luz pela estrutura interna desse mineral, causando um aspecto leitoso. O jogo de cores, efeito presente na opala nobre é causado pela superposição da reflexão e difração da luz na estrutura desse mineral, provocando o aparecimento parcial ou total das cores do espectro luminoso. Essa opala, bastante valorizada no mercado de gemas, é classificada como opala-A, apresentando um arranjo tridimensional regular formado por esferas de sílica com diâmetro entre 150 e 350 nm [12, 13].

A opala do RS ocorre em agregados maciços ou colomorfos, apresentando cores variadas – incolor, branco, branco azulado, rosa, amarelo, azul, azul acinzentado, castanho, preto e diferentes tonalidades de laranja e vermelho, caracterizando a variedade “opala de fogo” (figuras 6 e 7).

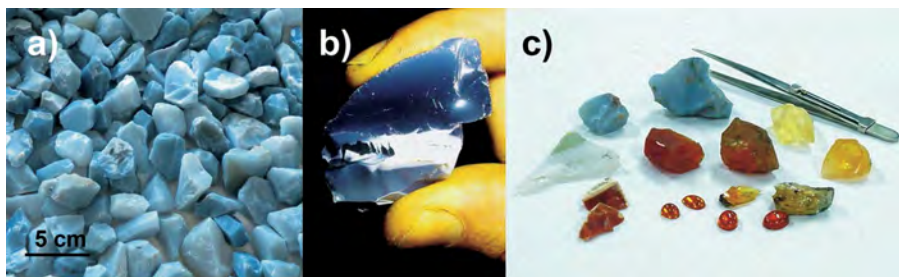


Figura 6

Variedades de opala do RS. a) Opala bruta azul em diferentes tonalidades; b) amostra de opala de cor azul intenso com opala branca intercalada; c) amostras brutas de opala do RS em diferentes cores, com quatro amostras de opala de fogo lapidadas em cabochão.

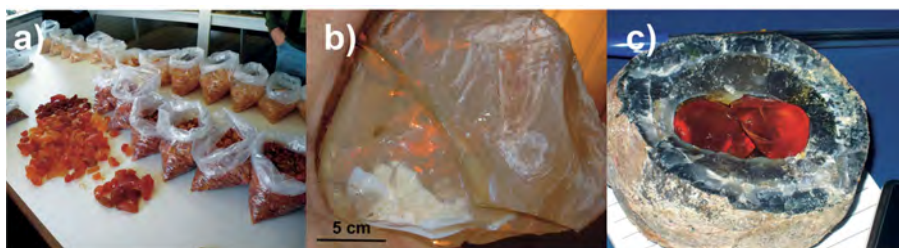
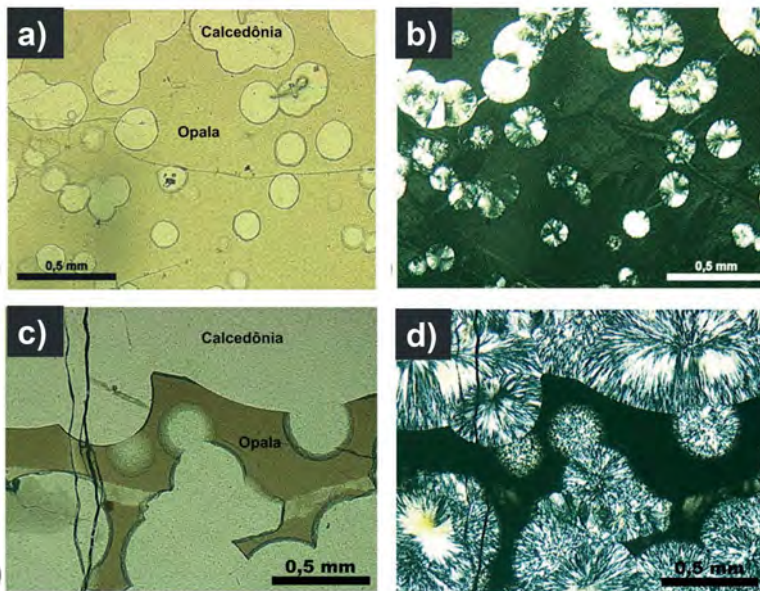


Figura 7

Opala de fogo do RS. a) Lotes de opala de fogo selecionados pela intensidade da cor e tamanho, para exportação; b) opala laranja mostrando um fraco jogo de cores em tons de vermelho e amarelo; c) dois nódulos de opala de fogo de cor vermelha intensa, depositados no interior de um geodo preenchido parcialmente com ágata.

Eventualmente, amostras de opala amarela, laranja e vermelha podem apresentar um leve jogo de cores; foi identificada ainda opalescência em amostras de opala incolor, amarela e laranja. O brilho é vítreo a resinoso e as amostras podem ser transparentes a translúcidas e eventualmente até opacas. A fratura é conchoidal a irregular, quebrando em lascas cortantes e em algumas amostras podem ser identificadas fraturas devidas à desidratação. A densidade é sempre baixa, variando entre 1,95 a 2,25 g/cm<sup>3</sup> e a

dureza Mohs varia entre 5,5 e 6,5 nas diferentes amostras testadas. Sob luz UVC somente a opala vermelha exibe uma reação fraca a moderada, emitindo diferentes tonalidades de verde. Já sob luz UVL, foi observada reação fraca a moderada nas amostras de cor branca e azul, que emitem cor violeta. Ao microscópio petrográfico, a opala apresenta um comportamento isótropo a fracamente anisótropo, o que evidencia sua estrutura microcristalina (figura 8). No polariscópio e no refratômetro a opala exibe um comportamento isótropo, mas o índice de refração pode variar nas diferentes amostras, exibindo valores entre 1,439 e 1,475.



**Figura 8**

Características da opala do RS em fotomicrografias obtidas ao microscópio petrográfico: a) opala associada a glóbulos de calcedônia (LN) que em b) LP aparecem como esferulitos de quartzo microcristalino fibroso; a opala exibe uma fraca anisotropia, evidenciando seu caráter microcristalino; c) veios de opala em calcedônia (LN); d) idem em LP, exibindo o caráter isótropo da opala e a calcedônia constituída por esferulitos de quartzo microcristalino fibroso.

A figura 9 mostra padrões de DRX representativos de amostras de opala do RS (figura 9a), comparados com DRX de cristobalita, tridimita, opala-CT e opala-C apresentados por Graetsch [10] (figura 9b). Observa-se que as amostras do RS exibem padrões compatíveis com aqueles apresentados para a opala-CT e opala-C e que há uma variação significativa na

cristalinidade das amostras, evidenciada pela maior intensidade e quantidade de picos de reflexão da amostra A em direção à amostra F (figura 9a). Nos difratogramas das amostras de opala-CT (figura 9a, gráficos A, B e C), observa-se a presença de dois picos principais em  $2\theta=20,6$  e  $21,7$  correspondendo respectivamente aos picos de  $\alpha$ -tridimita e de  $\alpha$ -cristobalita. Já nos difratogramas da opala-C (figura 9a, gráficos D, E e F), há um grande predomínio do pico correspondente à  $\alpha$ -cristobalita sobre o  $\alpha$ -tridimita; observa-se também que, à medida que o pico principal da  $\alpha$ -cristobalita aumenta de intensidade, o da  $\alpha$ -tridimita vai ficando menos intenso e que aparecem outros picos típicos da  $\alpha$ -cristobalita em  $2\theta=28,4$ ;  $2\theta=31,4$  e  $2\theta=36,0$ .

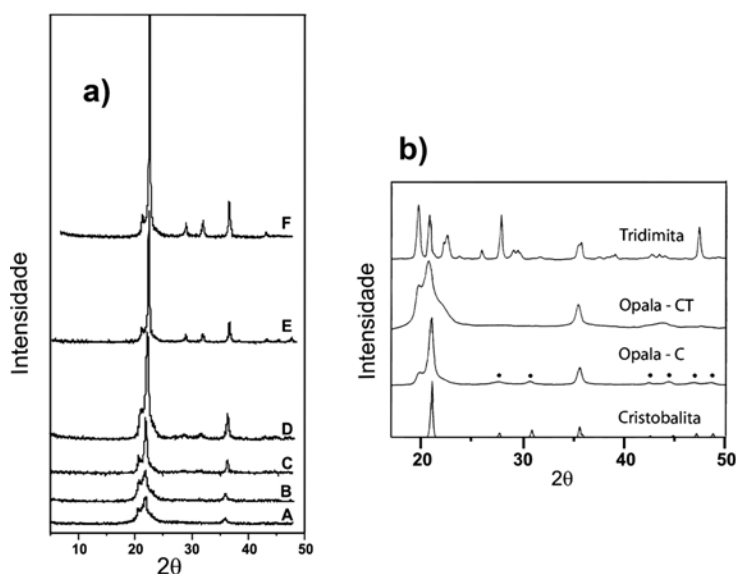


Figura 9

a) DRX representativos de opala do RS; b) DRX de tridimita, cristobalita, opala-CT e opala-C de Graetsch [10], indicando que a opala do RS varia desde opala-CT (A, B e C) a opala-C (D, E e F), com variação significativa no grau de cristalinidade do gráfico A para o gráfico F.

Análises químicas da opala RS indicam variações no teor de sílica entre 92 e 98% nas diversas amostras analisadas (tabela 2). Foram identificados também teores variados de  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  e  $MgO$ . A perda ao fogo medida teve variações entre 0,9% e 9,3%, observando-se que quanto maior o teor de sílica, menor é a perda ao fogo [14].

Tabela 2. Composição química da opala do RS, em porcentagem em peso da amostra.

	OP1 <sup>1</sup>	OP5 <sup>1</sup>	OP7 <sup>1</sup>	OP50 <sup>1</sup>	SJ2 <sup>1</sup>	OP11.4 <sup>2</sup>	OP11.8 <sup>2</sup>	OP27 <sup>2</sup>
SiO <sub>2</sub>	95,67	94,53	92,88	98,31	97,92	95,26	96,83	89,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49	0,41	0,77	0,47	0,34	0,38	0,31	0,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,02	0,05	0,02	0,03	0,85	1,31	0,67
MnO	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,01	<0,01
MgO	0,05	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,01	<0,01	0,03
CaO	0,12	0,12	0,12	0,1	0,07	0,07	0,03	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,04	0,09	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02
K <sub>2</sub> O	0,03	0,08	0,07	0,14	0,08	0,09	0,09	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,003	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,01	<0,01	<0,01
PF	3,4	4,8	6,0	0,9	1,4	3,3	1,4	9,3

<sup>1</sup> Análises realizadas por FRX; <sup>2</sup> Análises por ICP-MS.

No exame ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), Augustin [14] identificou na opala do RS a presença de lepisferas (esferulitos) formadas por lamelas de  $\alpha$ -cristobalita com empilhamento de  $\alpha$ -tridimita (figura 10). Foram identificados ainda microcristais tetragonais de  $\alpha$ -cristobalita associados a essas lepisferas, confirmando que essas fases minerais ocorrem associadas na opala do RS.

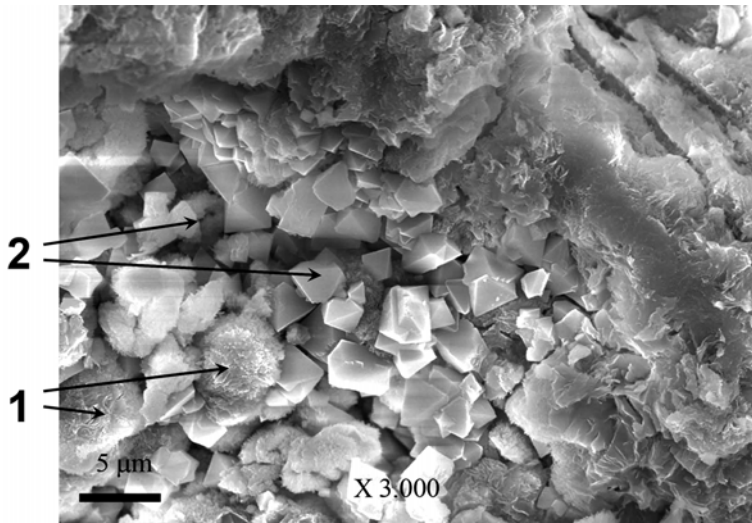


Figura 10

Imagem obtida ao MEV de opala RS, mostrando 1 – lepisferas constituídas de lamelas com empilhamento de  $\alpha$ -cristobalita e de  $\alpha$ -tridimita, e 2 – cristais de  $\alpha$ -cristobalita. Modificado de [14].

## 5 | Considerações finais

O Rio Grande do Sul apresenta um grande potencial como produtor de opala, com depósitos associados às rochas vulcânicas ácidas do Grupo Serra Geral. Esses depósitos, que são explotados de maneira esporádica, rendem um volume apreciável de material, representando uma nova fonte de divisas para as regiões produtoras. As características geológicas, mineralógicas e geoquímicas apontam para uma origem hidrotermal de baixa temperatura para esses depósitos, posterior ao vulcanismo Serra Geral [15]. Os modos de ocorrência (em geodos, estruturas de fluxo, fraturas e cimentando brechas) em riodacitos e riolitos e a origem hidrotermal, são características geológicas importantes para o estabelecimento de critérios de prospecção na busca de novos depósitos econômicos.

Todos os estudos realizados indicam que a opala RS é do tipo microcristalina, classificada como opala-CT e opala-C. Essa característica estrutural é a responsável pela não ocorrência de amostras com jogo de cores (variedade opala nobre), a mais valorizada no mercado de gemas. No entanto, a variedade de cores com que a opala do RS ocorre e a limpidez da grande maioria das amostras, produzem um material gemológico de excelente qualidade e que a cada dia passa a ser mais conhecido e valorizado no mercado de gemas nacional e internacional.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (processo 481617/2007-8) pelo auxílio financeiro concedido para o desenvolvimento das atividades de pesquisa de campo e de laboratório e à PROPESQ-UFRGS e à FAPERGS pelas bolsas de iniciação científica concedidas. Agradecimento especial ao Geólogo Claudir Kellermann, de Salto do Jacuí (RS), por permitir o desenvolvimento de parte das pesquisas de campo na sua área de mineração (figura 2a) e disponibilizar sua coleção de minerais para estudos e fotografias, à qual pertencem as amostras das figuras 3a, 7b e 7c.

## Referências bibliográficas

[1] JUCHEM, P.L., BRUM, T.M.M., CHODUR, N.L., LICCARDO, A.; Gem Materials in the South of Brazil. In: 11 GIA International Gemological Symposium, Carlsbad, CA; *Gems&Gemology* 47: 137–138, 2011.

[2] WILDNER, W., HARTMANN, L.A., LOPES, R.C.; Serra Geral Magmatism in the Paraná Basin - A new Stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures. I Workshop - Problems in Western Gondwana Geology, RGEOTEC, 8 p., 2007.

[3] MELFI, A.J., PICCIRILLO, E.M., NARDY, A.J.R.; Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction. In *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects*. E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.). IAG-USP, São Paulo, p. 1–13, 1988.

- [4] DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P.A.; Classification of volcanic and plutonic rocks and associations. *Chem. Geol.* 29: 183–210, 1980.
- [5] NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B., OLIVEIRA, M.A.F.; As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas estratigráficas; *Re. Bras. Geoc.* 38 (1): 178–195, 2008.
- [6] FRONDEL, C.; *The System of Mineralogy of J.D. Dana & E.S. Dana*, Yale University, 1837–1892 ed. 7 ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962.
- [7] JONES, J.B., SEGNI, E.R.; The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia* 18 (1): 57–68, 1971.
- [8] FLÖRKE, O.W., GRAETSCH, H., MARTIN, B., RÖLLER, K., WIRTH, R.; Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure; *Neues Jahrbuch Miner. Abh.* 163 (1): 19 – 42, 1991.
- [9] JONES, J.B., SANDERS, J.V., SEGNI, E.R.; Structure of opal; *Nature* 204 (4962): 990–991, 1964.
- [10] GRAETSCH, H.; Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. In: *Silica physical behavior, geochemistry and materials applications*. P. J. Heaney, C. T. Prewitt, G. V. Gibbs (eds.). *Reviews in Mineralogy* 29: 209–232, 1994.
- [11] ELZEA-JESSICA, M., RICE-STEPHEN, B.; TEM and X-ray diffraction evidence for cristobalite and tridymite stacking sequences in opal; *Clays and Clay Minerals* 44 (4): 492–500, 1996.
- [12] DARRAGH, P.J., GASKIN, A.J., SANDERS, J.V.; Opals; *Scientific American* 234: 84–95, 1976.
- [13] FRITSCH, E., OSTROUMOV, M., RONDEAU, B., BARREAU, A., ALBERTINI, D., MARIE, A.M., LASNIER, B., WERY, J.; Mexican gem opals nano- and micro-structure, origin of colour, comparison with other common opals of gemological significance; *Australian Gemmologist* 21: 230–233, 2002.
- [14] AUGUSTIN, A.H.; Geologia e mineralogia dos depósitos de opala da região do Salto do Jacuí, RS, Brasil. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2004.



[15] BRUM, T.M.M., JUCHEM, P.L., HARTMANN, L.A., AUGUSTIN, A.H., HOPPE, B.; Características geológicas e geoquímicas dos depósitos de opala em rochas vulcânicas ácidas no Rio Grande do Sul. In: 13º Congresso Brasileiro de Geoquímica, Gramado, RS. 1 CD-ROM. CPGQ 07, T25, p. 1517–1520, 2011.