

Isabella Longhi Bulia ([isabella.bulia@ige.unicamp.br](mailto:isabella.bulia@ige.unicamp.br)) Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Jacinta Enzweiler ([jacinta@ige.unicamp.br](mailto:jacinta@ige.unicamp.br))



Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

PIBIC – CNPq – UNICAMP

**Palavras-chave:** Hidrogeoquímica – Aquíferos – Rochas reservatório – Águas subterrâneas.

## Introdução

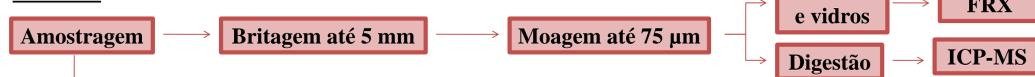
A composição mineralógica e química das rochas-reservatório influencia a hidroquímica das águas subterrâneas. Cerca de 50% da água potável consumida no campus da universidade, extraída por poços tubulares, provém de três diferentes aquíferos. Rochas semelhantes às encontradas nestes aquíferos foram amostradas e analisadas com o objetivo de entender a hidroquímica das águas subterrâneas, estudadas anteriormente, e agora com foco na concentração de urânio. Os litotipos caracterizados compreendem amostras de granito, gnaiss e diabásio e arenito. Além disso, amostras de água de quatro dos poços tubulares do campus, P2 (IB), P3 (GM), P4 (FEF) e P10 (IMECC), foram amostradas e analisadas para acompanhar temporalmente a composição das águas.



Localização dos pontos de amostragem de rochas e águas.

## Métodos

### Rochas



### Águas



## Resultados e discussões

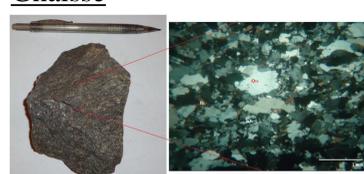
### Granito



**Composição mineralógica:** 40% Qtz, 35% Felds, 20% Bt, 4% Msc e 1% Outros (Ttn e Chl).

**Composição mineralógica a partir da composição química:** 37,21% Qtz, 25,26% Plag, 2,14% Hy, 34,25% Or, 0,1% Ap, 0,3% Ilm, 0,53% Crn, 0,03% Zr e 0,18% Mgt.

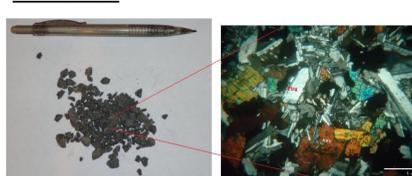
### Gnaiss



**Composição mineralógica:** 40% Qtz, 35% Felds e 25% Bt.

**Composição mineralógica a partir da composição química:** 28,79% Qtz, 32,56% Plag, 3,5% Hy, 33,48% Or, 0,33% Ap, 0,46% Ilm, 0,55% Crn, 0,03% Zr e 0,3% Mgt.

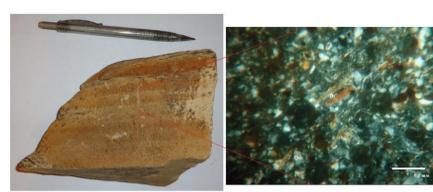
### Diabásio



**Composição mineralógica:** 60% Plag e 40% Aug.

**Composição mineralógica a partir da composição química:** 0,77% Qtz, 54,36% Plag, 17,12% Dy, 15,08% Hy, 6,24% Or, 0,58% Ap, 3,76% Ilm, 0,04% Zr e 2,05% Mgt.

### Arenito



**Composição mineralógica:** 90% Qtz, 3% Kfs e 7% Bt.

### Elementos maiores, menores e traço

Valores dos elementos maiores, menores e alguns traço para as amostras de rocha.

(%, m/m)	Granito	Gnaiss	Diabásio	Arenito PC	Arenito PE
SiO <sub>2</sub>	75,2	71,05	48,5	74,87	73,37
TiO <sub>2</sub>	0,278	0,425	3,028	0,496	0,499
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,81	14,2	14,48	10,8	9,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,58	2,64	15,74	4,46	4,46
MnO	0,018	0,03	0,186	0,018	2,061
MgO	0,51	0,77	4,52	1,95	1,45
CaO	1,38	1,83	9,95	0,45	0,28
Na <sub>2</sub> O	2,19	2,83	2,55	0,34	0,67
K <sub>2</sub> O	5,51	5,32	0,85	2,45	2,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,048	0,171	0,255	0,109	0,163
P.F.(1000°C)	0,46	0,26	+0,12*	3,67	4,06
U (µg/g)	0,53	1,70	0,48	2,23	2,29
V	17	35	955	43	52
Cu	2	< LD	175	15	10
Cr	13,7	8,7	4,7	32,2	45,9
Co	2,1	3,1	45,8	3,9	257,1
Zr	197	185	144	309	141
Rb/Cs	151,4	133,8	56	33,5	18

Para o diabásio, verificou-se elevada quantidade de V, que associado a maior quantidade de Cu e pouca de Cr pode indicar que o magma era de origem seria mais evoluída.

A composição química e mineralógica do gnaiss amostrado é muito similar à do granito estudado, sugerindo uma origem comum deste com o protólito daquele.

Na comparação da composição química da “parte clara” do arenito com a da “parte escura” observou-se que vários elementos apresentaram valores semelhantes, no entanto outros como MnO e Co, mostraram-se enriquecidos na parte escura em relação à parte clara, enquanto o contrário ocorreu para CaO e Zr.

### Águas

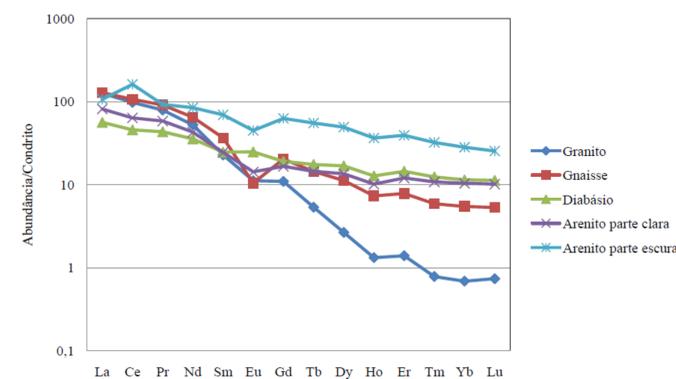
Concentrações de elementos-traço selecionados nas águas subterrâneas.

(µg/g)	P2	P2-D	P3	P3-D	P4	P4-D	P10	P10-D
Cs	0,16	0,18	0,16	0,19	0,22	0,24	0,45	0,45
Ba	13,37	14,38	41,14	44,95	50,46	55,27	6,10	6,07
Fe	<LD	<LD	109,9	127,6	1,7	1,9	5,8	0,9
Mn	0,47	0,48	21,07	21,93	9,25	9,72	0,35	0,54
Mo	0,66	0,68	2,24	2,50	5,23	5,79	1,96	1,92
V	6,48	6,86	1,03	1,21	0,46	0,47	3,28	6,13
U	4,10	4,39	43,0	49,2	15,3	16,6	3,37	3,35
Zn	5,7	6,2	151,4	157,2	13,8	14,6	14,9	11,7
Rb/Cs	15,9	15,9	17,6	17,0	19,3	19,6	7,5	7,4

Obs: os elementos em destaque na tabela são aqueles que apresentaram maior importância na composição de cada amostra.

Os dados analíticos também confirmaram concentrações elevadas mas menores de U no P3 (~ 66,2 µg.g<sup>-1</sup> em jan/2012), porém notou-se aumento significativo na concentração de U no P4 (~ 6,45 µg.g<sup>-1</sup> em jan/2012).

### ETRs



Resultados dos ETRs normalizados à média de condritos (Wakita *et al.*, 1971).

Todas as amostras apresentaram padrões com ETRL mais enriquecidos que os ETRP, sendo que esta diferença é mais acentuada para a amostra de granito. A parte escura do arenito é a amostra mais enriquecida nos ETRPs e apresenta uma anomalia positiva de Ce (Ce/Ce\* = 1,7), secundariamente relacionada com transferência da Ce<sup>4+</sup> para fases secundárias. A amostra do gnaiss apresentou uma anomalia negativa de Eu (Eu/Eu\* = 0,6) atribuída à menor quantidade de plagioclásio, no qual o Eu<sup>2+</sup> substitui o Ca<sup>2+</sup>, ao contrário do diabásio cuja anomalia positiva (Eu/Eu\* = 1,7) deve-se à maior quantidade de plagioclásio.

A razão Rb/Cs pode ser utilizada para se obter informações sobre as rochas-reservatório e processos de alteração. As razões Rb/Cs mostram que as águas coletadas não estão em equilíbrio com os minerais de alteração das rochas hospedeiras, caso contrário os valores das razões de rochas e águas deveriam ser próximos. Sugere-se que as rochas encaixantes são pouco alteradas. As razões Rb/Cs obtidas para os poços P3 e P4 podem indicar que estes poços sofrem maior influência do arenito, pois segundo um estudo realizado por Gob *et al.* (2013), águas com maior razão Rb/Cs são mais influenciadas por rochas sedimentares, sobretudo por aquelas ricas em argilominerais.

Relação entre as amostras e o litotipo que predomina na influência da composição das águas.

Amostra	Influência
P2	Mista de todos os litotipos
P3	Arenito
P4	Arenito
P10	Diabásio

## Conclusão

Foi possível averiguar a influência das rochas encaixantes na composição química das águas subterrâneas. A concentração de U no poço P3 manteve-se acima do valor máximo permitido pela portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 2.914 de 2011. As análises das amostras das rochas apontaram que a origem da anomalia de U na água do poço P3 pode ser tanto do gnaiss como do arenito, os quais apresentaram os maiores valores de U. Mas com a comparação dos valores de U nas águas dos poços, verificou-se que os poços P3 e P4, que são mais fortemente influenciados pelo arenito, apresentaram os maiores valores absolutos de U, o que leva a concluir que o U na água seja de origem sedimentar.

## Bibliografia

Gob, S.; Loges, A.; Nolde, N.; Bau, M.; Jacob, D. E.; Markl, G. 2013. Major and trace element compositions (including REE) of mineral, thermal, mine and surface waters in SW Germany and implications for water-rock interaction. Applied Geochemistry 33 (2013) 127–152.  
Portaria Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acessado em: 16 jul. 2013.