

Nº 179653

Avaliações preliminares da incrustação de sulfato de bário

Wagner Aldeia

Vitória Silva Lourenço

Mayara Menezes

Caíque Mattos

Gabriel Nunes

*Palestra apresentado no Workshop de
Métodos Físicos para Mitigação de
Incrustações, 6., 2025, Porto Alegre. 20
slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

PROIBIDO REPRODUÇÃO

VI Workshop de Métodos Físicos para Mitigação de Incrustações

AVALIAÇÕES PRELIMINARES DA INCRUSTAÇÃO DE SULFATO DE BÁRIO

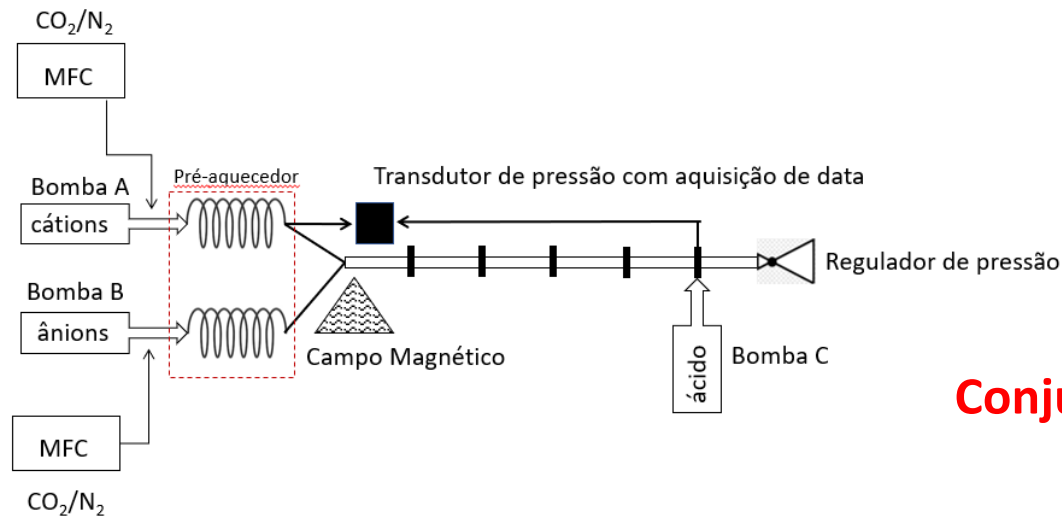
Equipe
Wagner Aldeia
Vitória Lourenço
Mayra Menezes
Caíque Mattos
Gabriel Nunes



Sumário

- ✓ Avaliação preliminares:
 - ✓ Incrustação de BaSO_4
 - ✓ Co-precipitação com CaCO_3
 - ✓ Efeito do CM na incrustação
 - ✓ Impacto no MIC com e sem CO_2

Metodologia - Sistema



Condições:
 $T = 70 \text{ e } 60 \text{ }^\circ\text{C};$
 $Q = 270 \text{ mL/min};$
 $V = 0,5 \text{ m/s};$
 $B = 2,2 \text{ Tesla};$
 $B \times V > 10000;$

**Conjunto de aproximadamente
550 ensaios**

- Sistema possibilita análise de massa incrustada e partículas aderidas;
- Separação das partículas aderidas por jateamento de água – simulação da força de cisalhamento no escoamento real;
- Análise de massa, análise de sólidos por microscopia ótica ou microscopia eletrônica de varredura.

Metodologia - Composições das águas avaliadas

- Avaliação de soluções representativas de fundo de poço;
- Mudança da supersaturação com adição do reagente limitante – adição de cloreto de bário;

	Massa precipitável BaSO ₄ (mg/h)	SI para Barita
Poço 2 e água do mar	3.208	2,44
Poço 2+mar (alta supersaturação)	9040	3,23
Poço 1	810	2,09
Poço 1 (média supersaturação)	4.520	3,19
Poço 1 (alta supersaturação)	9.040	3,47
Poço 2	10.028	2,05

(mg/L)	Poço 1	Poço 2 e água do mar (50/50)	Poço 3
Na ⁺	17803	29253,5	63512
K ⁺	263	348	0
Mg ²⁺	505	1138	1013
Ca ²⁺	674	2362	9436
Ba²⁺	30	116,5	472
Sr ²⁺	92	216	3434
Cl ⁻	28054	51192	119404
SO ₄ ²⁻	1456	1421,5	255
Br ⁻	18	0	178
HCO ₃ ⁻	396	0	1626
CH ₃ COO ⁻	32	6	0
pH (25°C)	7,1	7,25	6

Metodologia - Composições das águas avaliadas

- Mudança da supersaturação com adição do reagente limitante – adição de NaHCO_3 ;

	Massa precipitável CaCO_3 (mg/h)
Poço 2 normal	0
Poço 2 adição 4,7 g NaHCO_3 /18L	1.247
Poço 2 adição 77 g NaHCO_3 /18L	40.412
Poço 1 normal	5.087
Poço 1 s/ NaHCO_3	0
Poço 3	21.546

(mg/L)	Poço 1	Poço 2 e água do mar (50/50)	Poço 3
Na^+	17803	29253,5	63512
K^+	263	348	0
Mg^{2+}	505	1138	1013
Ca^{2+}	674	2362	9436
Ba^{2+}	30	116,5	472
Sr^{2+}	92	216	3434
Cl^-	28054	51192	119404
SO_4^{2-}	1456	1421,5	255
Br^-	18	0	178
HCO_3^-	396	0	1626
CH_3COO^-	32	6	0
pH (25°C)	7,1	7,25	6

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita sem co-precipitação (Poço 1)

■ 40°C

SS de $\text{BaSO}_4 = 810 \text{ mg/h}$
SS de $\text{CaCO}_3 = 0$

Poço 1 s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	$250,1 \pm 1$	$216,8 \pm 16$
CC	$242,3 \pm 8$	$208,6 \pm 5$
SC c/ CO_2	$188,9 \pm 7$	$170,6 \pm 31$
CC c/ CO_2	$230,2 \pm 1$	189 ± 4

■ 60°C

SS de $\text{BaSO}_4 = 810 \text{ mg/h}$
SS de $\text{CaCO}_3 = 0$

Poço 1 s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	$262,8 \pm 0,5$	$224,0 \pm 0,1$
CC	$267,7 \pm 7$	$194,9 \pm 8$
SC c/ CO_2	$269,28 \pm 4$	$275,88 \pm 0,2$
CC c/ CO_2	$244,32 \pm 8$	$210,24 \pm 3$

■ 70°C

SS de $\text{BaSO}_4 = 810 \text{ mg/h}$
SS de $\text{CaCO}_3 = 0$

Poço 1 s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	$292,1 \pm 25$	$227,64 \pm 9$
CC	$321,1 \pm 18$	$246,36 \pm 24$
SC c/ CO_2	$367,4 \pm 33$	$278,8 \pm 3$
CC c/ CO_2	$364,4 \pm 12$	$299,9 \pm 5$

■ 80°C

SS de $\text{BaSO}_4 = 810 \text{ mg/h}$
SS de $\text{CaCO}_3 = 0$

Poço 1 s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	$298,3 \pm 3$	$238,7 \pm 2$
CC	$328,4 \pm 1$	$271,0 \pm 0,2$
SC c/ CO_2	$390,5 \pm 14$	$311,4 \pm 1$
CC c/ CO_2	$332,5 \pm 14$	$255,1 \pm 3$

- Ocorre um discreto aumento da massa incrustada com o aumento da temperatura.
- O CM não apresenta efeitos, tanto sem quanto com o dióxido de carbono.
- Exceto 40° C, aparentemente o dióxido de carbono aumenta a massa de barita incrustada.

SI barita = 2,09 (SSP 2021)

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita sem co-precipitação (Poço 2)

SI barita = 2,44 (SSP 2021)

■ 60°C

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h

SS de CaCO_3 = 0

Poço 2 normal	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	1139,7 ± 27	793,8 ± 19
CC	1073,7 ± 21	771 ± 64
SC c/ CO_2	1188,9 ± 26	1043,4 ± 9
CC c/ CO_2	1178,4 ± 16	1064,4 ± 6

■ 70°C

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h

SS de CaCO_3 = 0

Poço 2 normal	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	1078,0 ± 42	780,32 ± 125
CC	1089,3 ± 45	796,52 ± 147
SC c/ CO_2	1219,6 ± 40	792,7 ± 17
CC c/ CO_2	1187,4 ± 23	778,3 ± 127

- O CM não apresenta efeitos nas massas incrustadas.
- O dióxido de carbono aumenta a massa incrustada em menor temperatura.

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita sem co-precipitação (Poço 2)

SI barita = 2,44 (SSP 2021)

SI barita = 3,23 (SSP 2021)

■ 70 °C

■ 70 °C

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h

SS de CaCO_3 = 0

SS de BaSO_4 = 9.040 mg/h

SS de CaCO_3 = 0

Poço 2 normal	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	1078,0 ± 42	780,32 ± 125
CC	1089,3 ± 45	796,52 ± 147
SC c/CO ₂	1219,6 ± 40	792,7 ± 17
CC c/ CO ₂	1187,4 ± 23	778,3 ± 127

Poço 2 supersaturada	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	5120 ± 118	1191 ± 117
CC	4753 ± 444	1229 ± 89
SC c/CO ₂	5002	2188
CC c/ CO ₂	4491 ± 234	2009 ± 35

- O CM não apresenta efeitos nas massas incrustadas.
- O dióxido de carbono aumenta a massa incrustada em maior SI

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita com co-precipitação

Selecionando esta condição e variando a massa precipitável de CaCO_3

■ 40°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 5.087 mg/h

■ 60°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 5.087 mg/h

■ 70°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 5.087 mg/h

Poço 1 normal (SS 50 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	166,1 ± 6	137,2 ± 2
CC	205,3 ± 12	177,5 ± 5
SC c/CO ₂	201,6 ± 15	160,7 ± 7
CC c/ CO ₂	239 ± 16	217,3 ± 18

Poço 1 normal (SS 50 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	324 ± 23	236,7 ± 52
CC	338,8 ± 47	196,6 ± 5
SC c/CO ₂	312,6 ± 6	254,2 ± 9
CC c/ CO ₂	267,6 ± 8	252,1 ± 9

Poço 1 normal (SS 50 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	378,3 ± 12	102,2 ± 5
CC	378 ± 13	155,4 ± 1
SC c/CO ₂	415,7 ± 41	236,8 ± 30
CC c/ CO ₂	417,6 ± 55	280,6 ± 28

- A massa total precipitada aumenta com o aumento da temperatura.
- A massa incrustada aumenta de 40 para 60 °C (calcita), e diminui, sem CO₂, em 70 °C (aragonita).
- Com CO₂ em temperatura de 70 °C, ocorre um aumento das massas incrustadas.

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita com co-precipitação

■ 70°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 0

MLS s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	292,1 ± 25	227,64 ± 9
CC	321,1 ± 18	246,36 ± 24
SC c/ CO_2	367,4 ± 33	278,8 ± 3
CC c/ CO_2	364,4 ± 12	299,9 ± 5

■ 70°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 1247 mg/h

MLS s/ NaHCO_3	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	292,4 ± 2	222,5 ± 26
CC	259,6 ± 5	225,7 ± 4
SC c/ CO_2	298,9 ± 12	267,4 ± 0,5
CC c/ CO_2	285,8 ± 23	254,3 ± 8

■ 70°C

SS de BaSO_4 = 810 mg/h
SS de CaCO_3 = 5.087 mg/h

MLS normal (SS 50 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	378,3 ± 12	102,2 ± 5
CC	378 ± 13	155,4 ± 1
SC c/ CO_2	415,7 ± 41	236,8 ± 30
CC c/ CO_2	417,6 ± 55	280,6 ± 28

- Maior massa de CaCO_3 reduz a massa incrustada do bário comparada sem CaCO_3
- O CO_2 aumenta a massa de sólidos incrustados

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita com co-precipitação

Mesmo efeito é verificado em outros poços e, depende da relação $\text{CaCO}_3/\text{BaSO}_4$

■ 60°C

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h
SS de CaCO_3 = 0

Poço 2 normal (SS 198 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	1139,7 ± 27	793,8 ± 19
CC	1073,7 ± 21	771 ± 64
SC c/CO ₂	1188,9 ± 26	1043,4 ± 9
CC c/ CO ₂	1178,4 ± 16	1064,4 ± 6

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h
SS de CaCO_3 = 1.247 mg/h

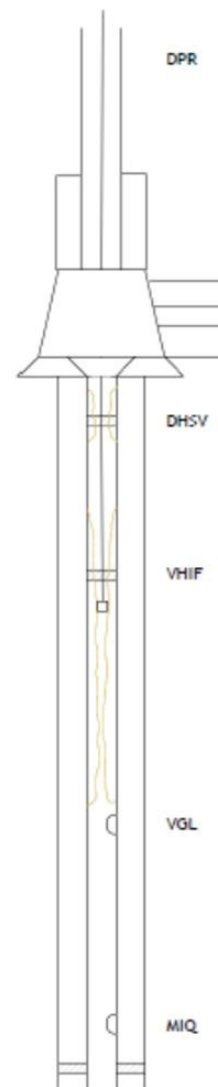
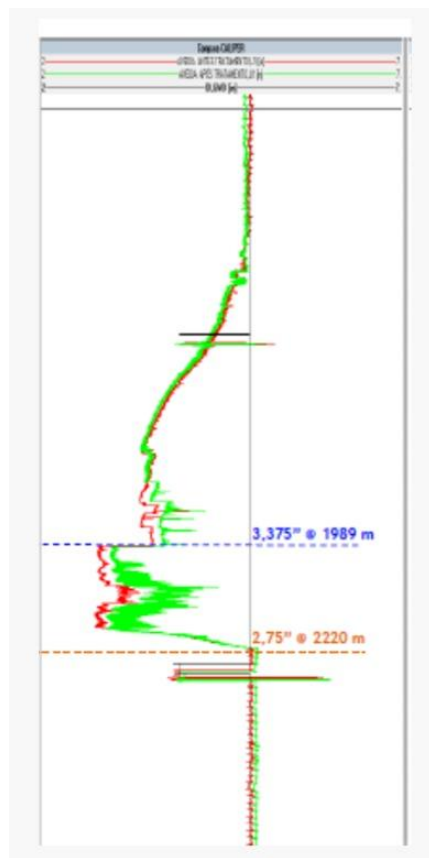
Poço 2 (SS de CaCO_3 = 77 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	916,2 ± 33	761,6 ± 30
CC	1110,6 ± 53	779,5 ± 3
SC c/CO ₂	1123,2 ± 1	988,8 ± 47
CC c/ CO ₂	958,2 ± 80	884,7 ± 52

SS de BaSO_4 = 3.208 mg/h
SS de CaCO_3 = 20.625 mg/h

Poço 2 (SS de CaCO_3 = 630 mg/L)	Massa total (mg/h)	Massa incrustada (mg/h)
SC	1895 ± 341	1657,2 ± 105
CC	2162 ± 79	1845 ± 157
SC c/CO ₂	1322 ± 200	896 ± 5
CC c/ CO ₂	1150 ± 60	992 ± 187

Efeito da aplicação de CM na incrustação da barita com co-precipitação

Perfil de incrustação
da barita no caso do
Poço 1



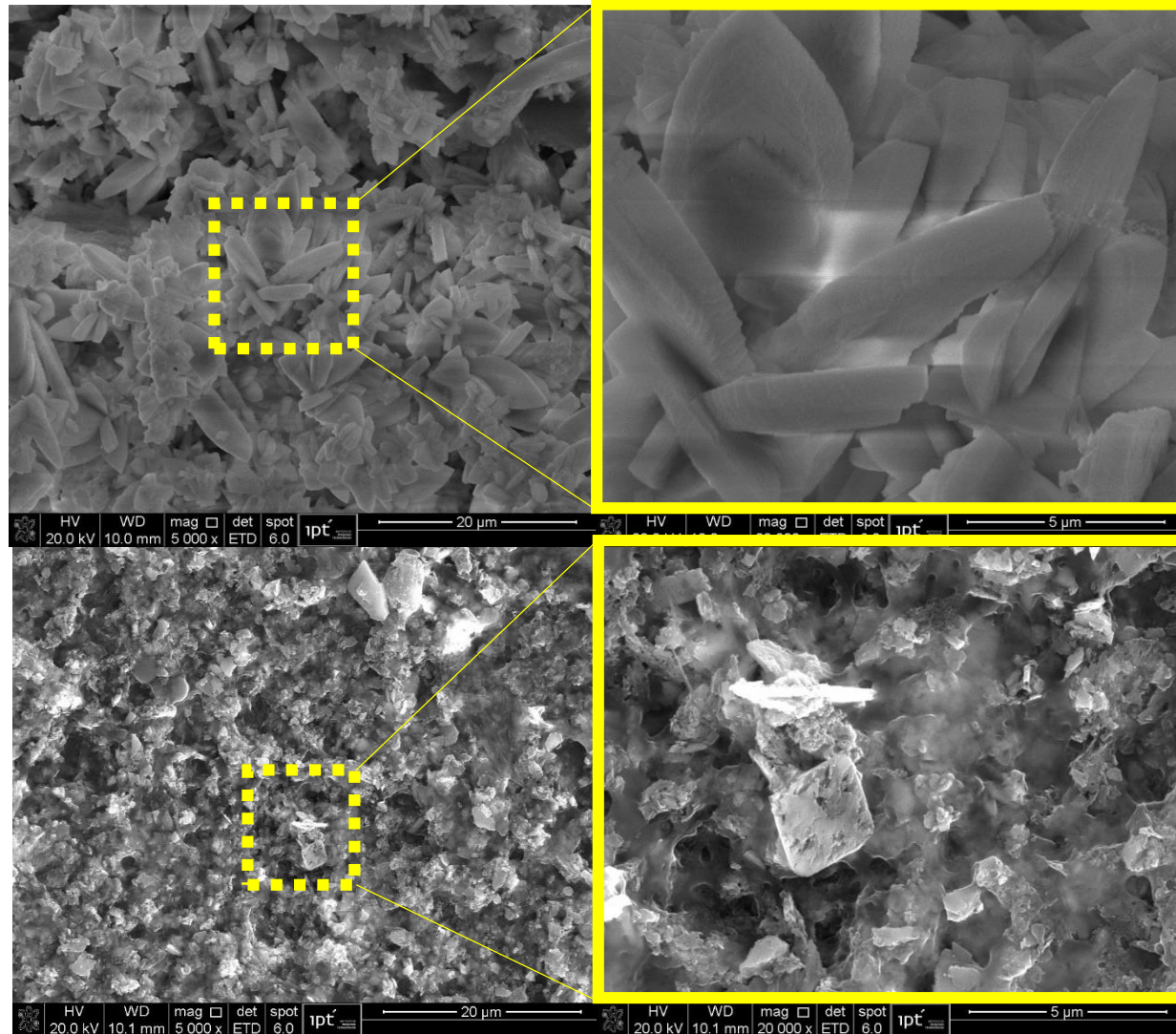
Resultados - Morfologia

✓ Variação da supersaturação de BaSO_4 ;

279 mg/L

sem CO_2 – SEM
CAMPO
(partículas retiradas
pela Wap)

50 mg/L



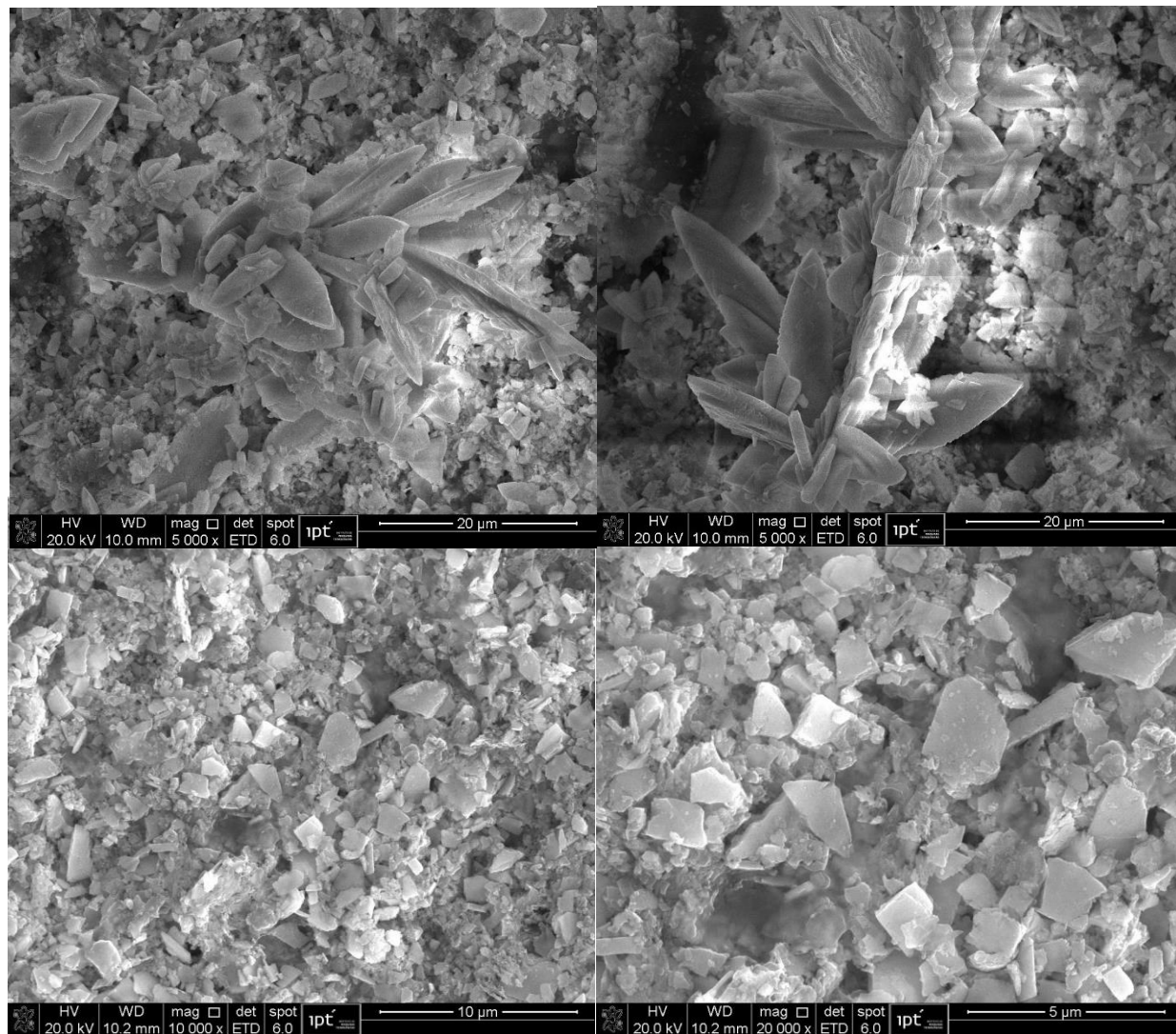
Resultados - Morfologia

- ✓ Variação da supersaturação de BaSO_4 ;

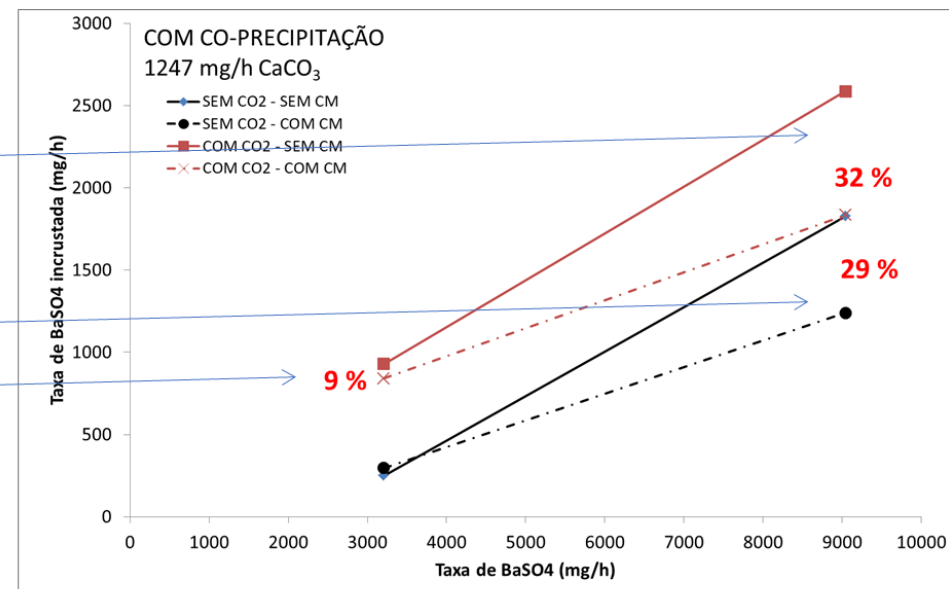
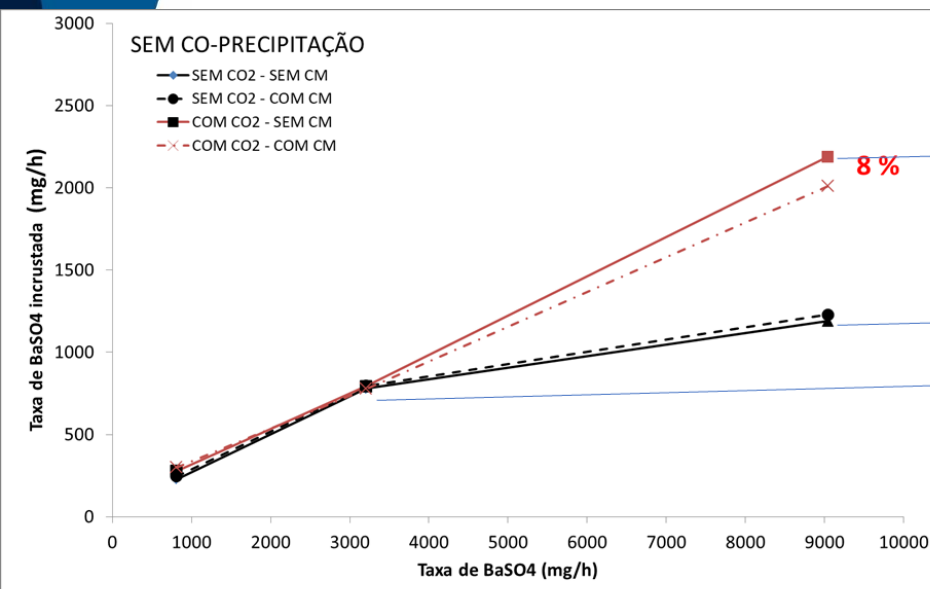
279 mg/L

sem CO_2 – COM
CAMPO
(partículas retiradas
pela Wap)

50 mg/L

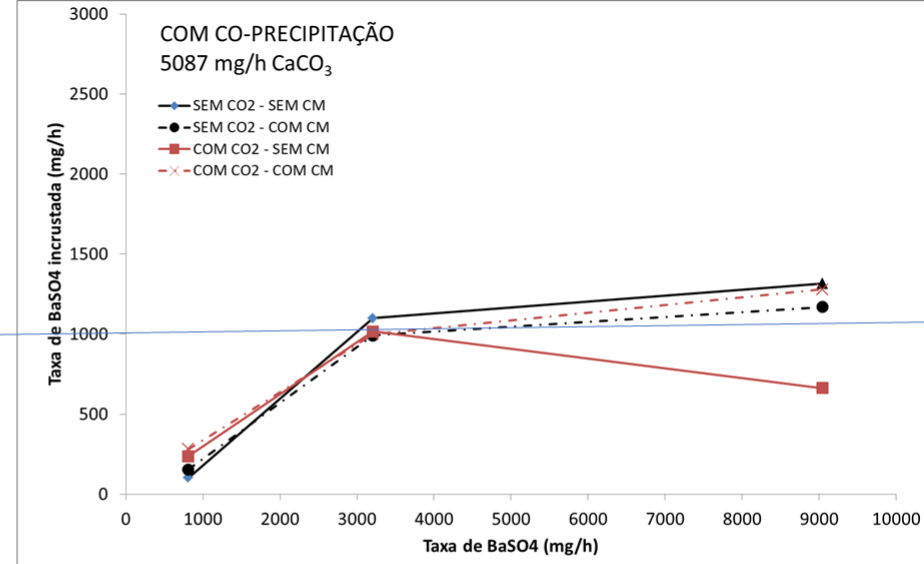
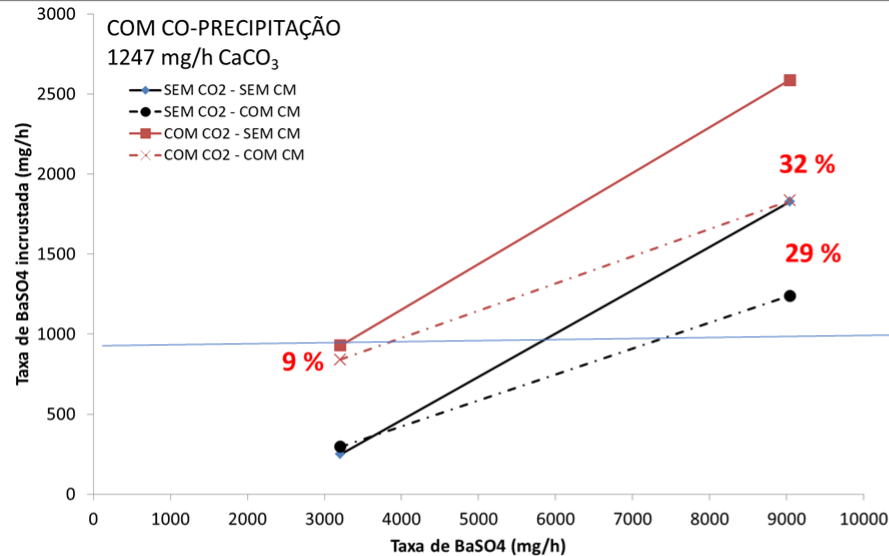


Visão geral - Co-precipitação em baixa SS



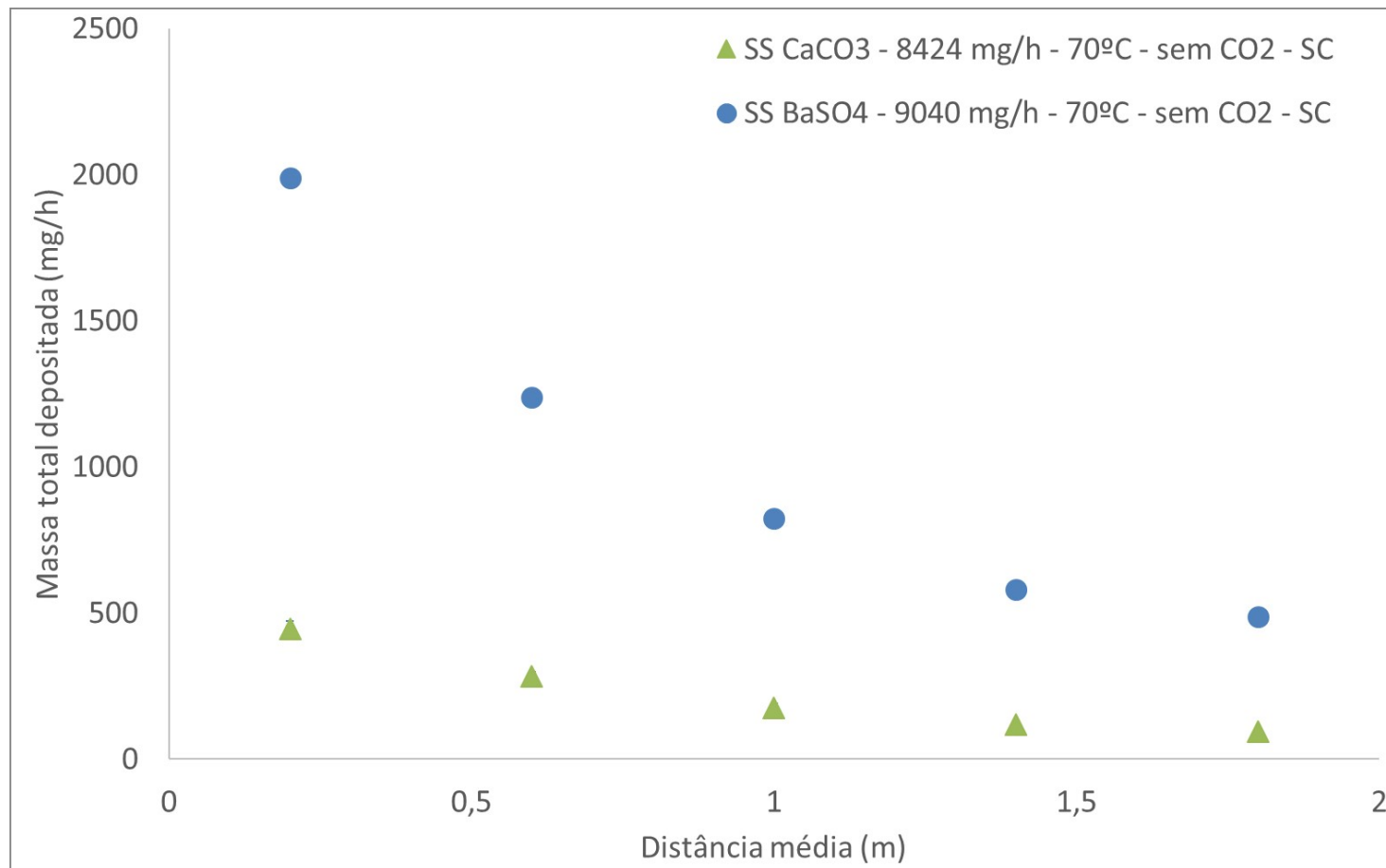
Com co-precipitação e concentração baixa de CaCO_3 , com CO_2 , o carbonato de cálcio fica dissolvido e o comportamento assume a situação de isenção de carbonato.

Visão geral - Co-precipitação em alta SS



Aparentemente a elevada taxa de carbonato na fase aragonita reduz a incrustação de maneira geral (carbonato e barita).

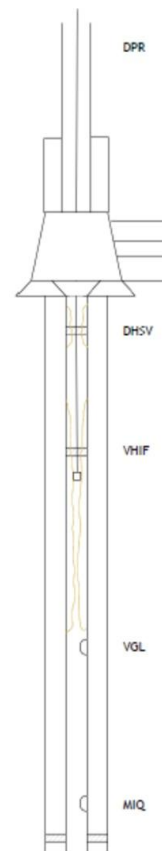
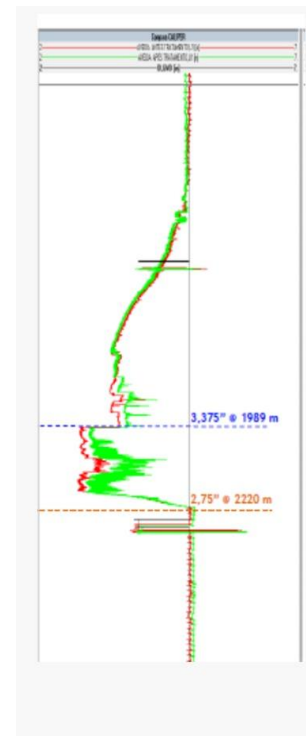
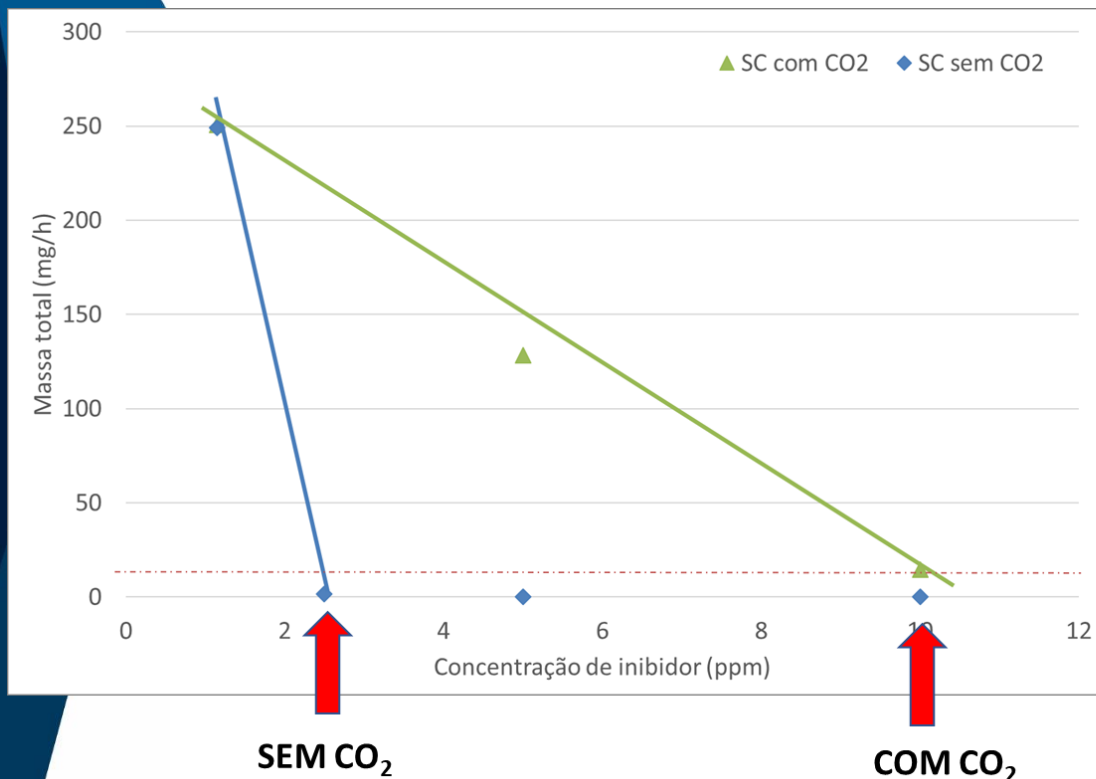
Cinéticas de precipitação



BaSO₄ é superior à do CaCO₃

Variação do MIC no poço

Dequest® 2090 - polyamino phosphonic acid based on bishexamethylene triamine (BHMTMPMP).



Válvula de gás lift

Dentre os cenários estudados:

- O campo magnético não apresentou nenhum efeito interessante em termos de atuação nos mecanismos de incrustação do sulfato de bário, exceto quando a ocorre co-precipitação e altas supersaturações de carbonato de cálcio. Este efeito pode estar associado SOMENTE aos efeitos do campo magnético na incrustação do carbonato de cálcio;
- A co-precipitação de carbonato de cálcio e sulfato de bário, altera a massa de sulfato de bário incrustada.
- O efeito positivo ou negativo da ação do campo magnético depende da relação $\text{CaCO}_3/\text{BaSO}_4$.
- Em situações com pH ácido (corrente de CO_2), sugere-se que o MIC seja determinado considerando pH ácidos.

Obrigado!