

4 Análise dos Resultados

4.1. Análise por Microtomografia

4.1.1. Análise das imagens de Microtomografia das amostras cilíndricas de bege bahia

A imagem captura do vídeo da microtomografia da amostra cilíndrica BB1, antes da interação com a energia radiante do laser, revela o posicionamento de um *vugg* no corpo de prova pelo eixo XY, demonstrado também pelo corte na seção na vista superior da amostra, Figura 36.

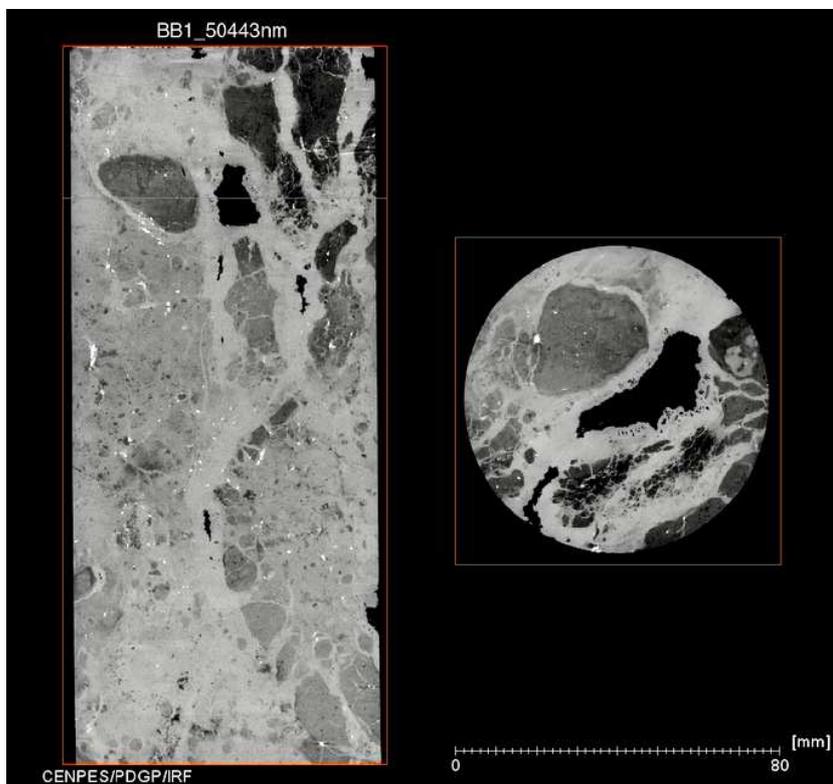


Figura 36 – Vistas da tomografia da amostra BB1 pelo eixo XY antes da irradiação a laser

Fonte: O autor (2013).

Na Figura 37, vemos em destaque que o canal criado pelo laser termina dentro do vugg. Este fato criou um problema de quantificação para o canal da amostra BB1.

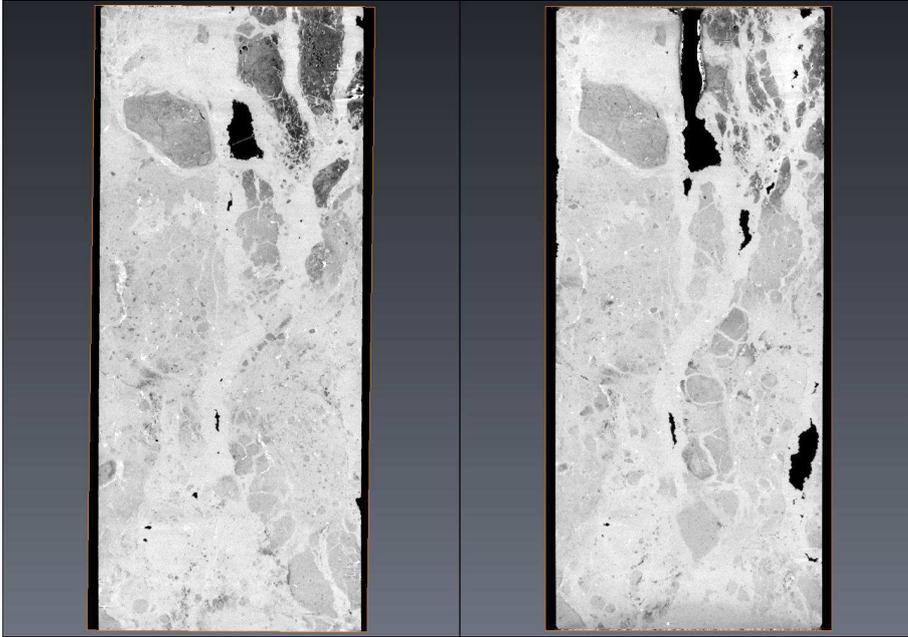


Figura 37 – Imagens da Micro-tomografia da amostra BB1, cilindro de Bege Bahia após a irradiação com laser
Fonte: O autor (2013).

Através da análise das imagens das amostras cilíndricas BB2, BB3 e BB4, que se encontram na Figura 38, pode-se observar que ocorreu a formação de fraturas nas amostras, o que provavelmente vai aumentar a permeabilidade da amostra ao redor do canal criado pelo laser.

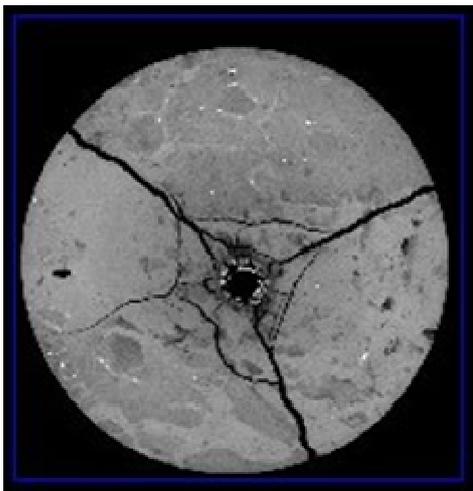


Figura 38 – Imagem da Microtomografia da vista superior da amostra BB2, cilindro de Bege Bahia após a irradiação com laser
Fonte: O autor (2013).

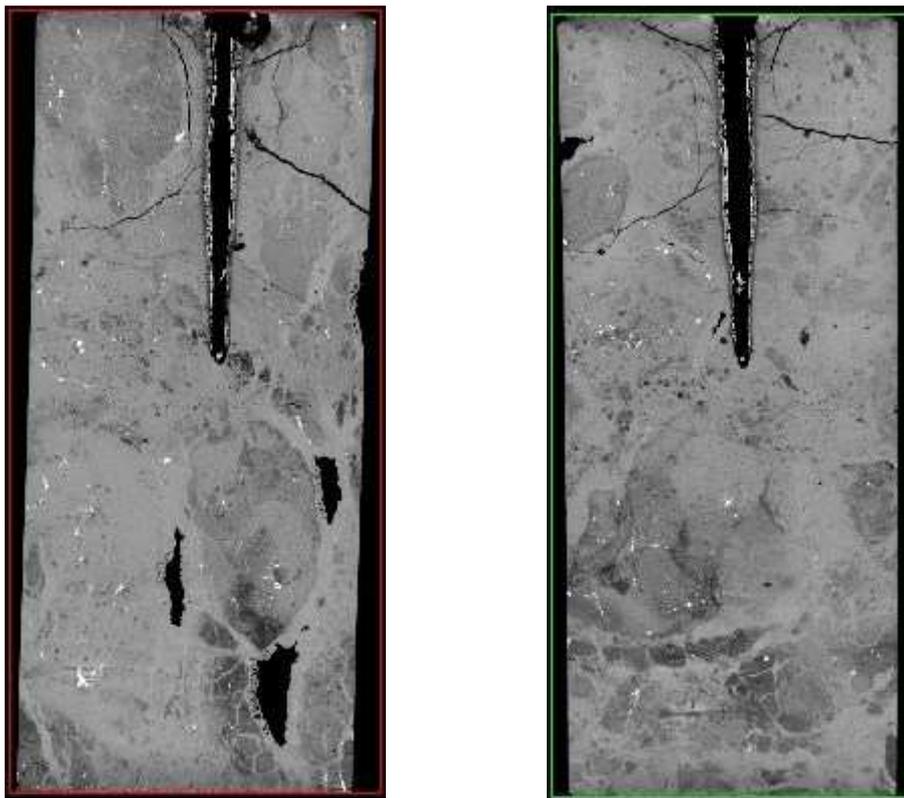


Figura 39 – Imagens da Microtomografia da amostra BB2, cilindro de Bege Bahia após a irradiação do laser com laser
Fonte: O autor (2013).



Figura 40 – Imagem da Micro-tomografia da vista superior da amostra BB3, cilindro de Bege Bahia após a irradiação com laser
Fonte: O autor (2013).

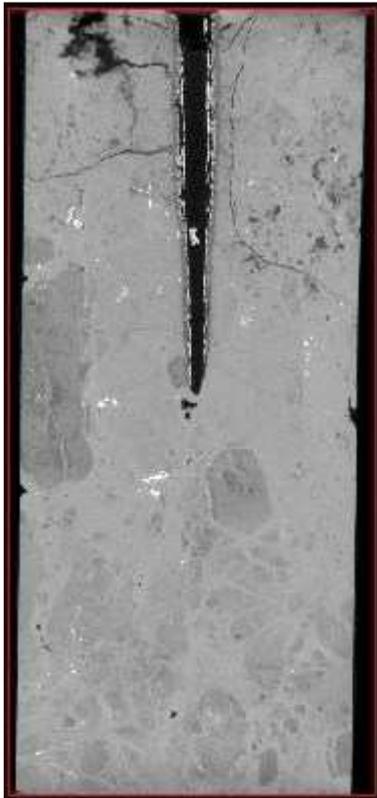
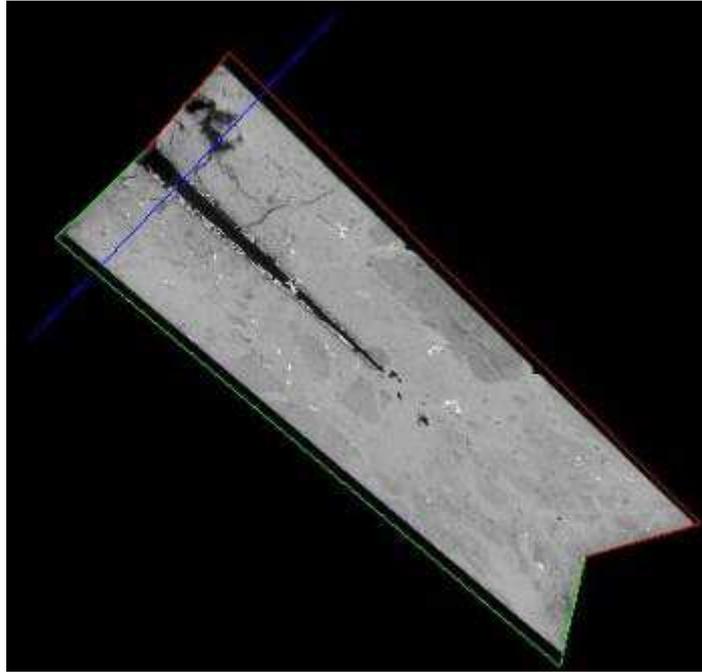


Figura 41 – Imagens da Microtomografia da amostra BB3, cilindro de Bege Bahia após a irradiação com laser
Fonte: O autor (2013).



Figura 42 – Imagem da Microtomografia da vista superior da amostra BB4, cilindro de Bege Bahia após a irradiação do laser com laser
Fonte: O autor (2013).

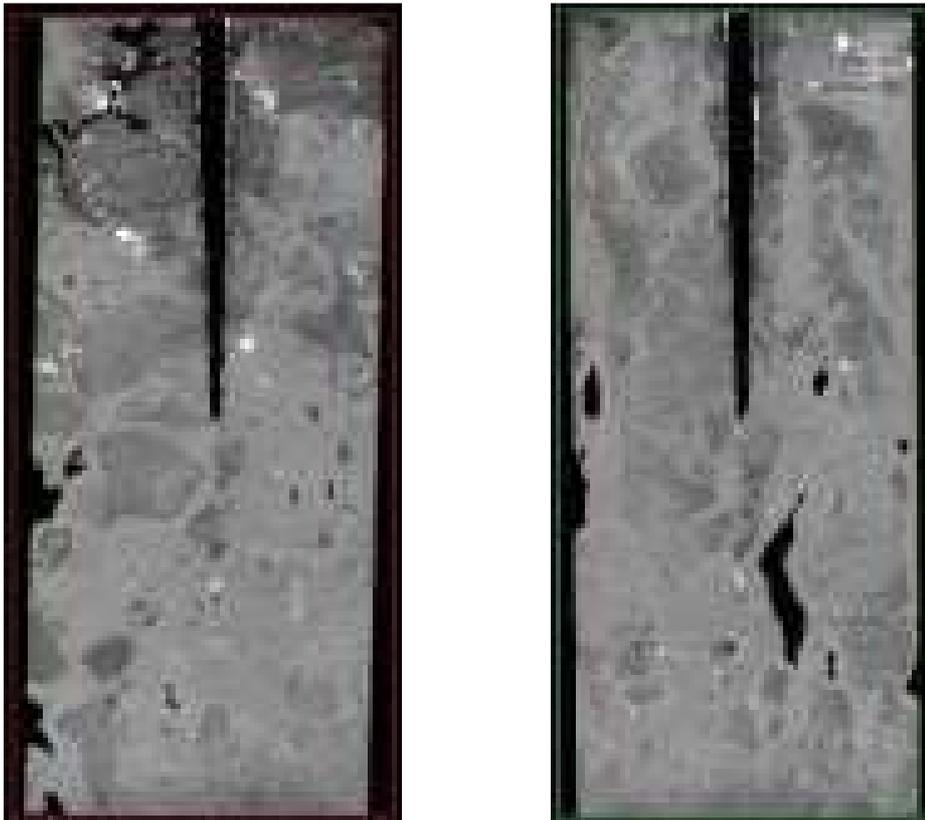


Figura 43 – Imagens da Microtomografia da amostra BB4, cilindro de Bege Bahia após a irradiação com laser
Fonte: O autor (2013).

Pode-se verificar no Gráfico 7 que os comprimentos dos canais perfurados com laser são diferentes entre si. Ao investigar o tempo de exposição das amostras à irradiação do laser podemos observar não proporcionalidade entre comprimento

de canal e tempo de exposição devido provavelmente à heterogeneidade das amostras.

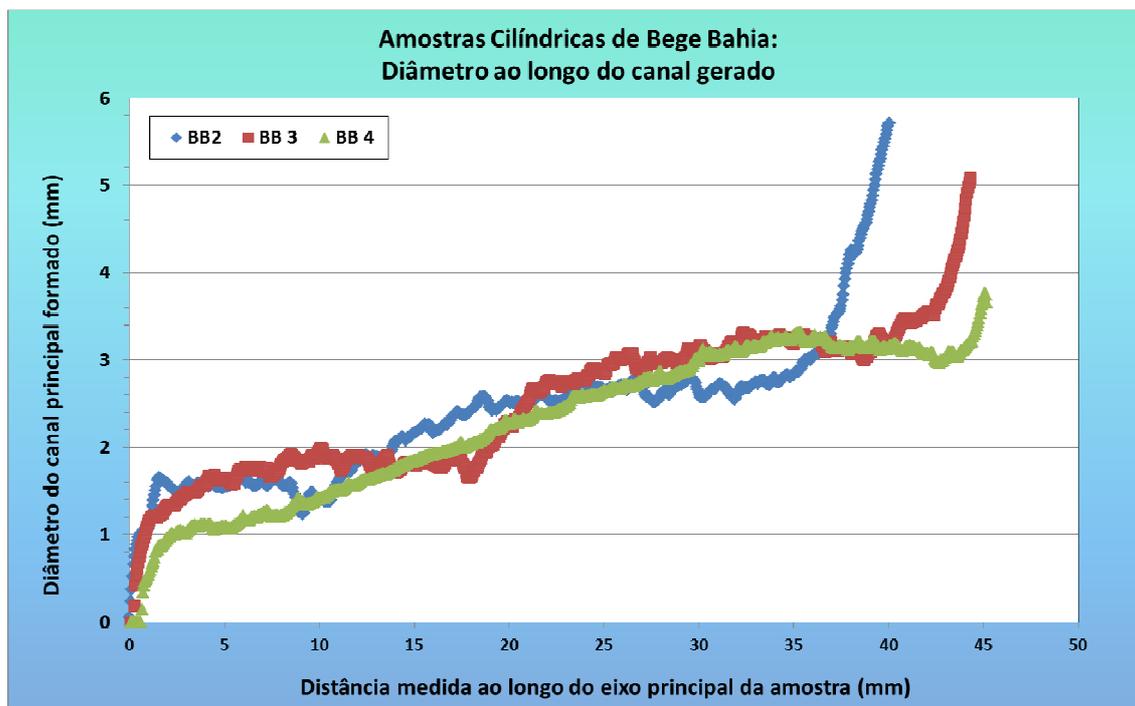


Gráfico 7 – Comparação dos diâmetros dos canais ao longo do comprimento das amostras cilíndricas BB2, BB3 e BB4

Fonte: O autor (2013).

Tabela12 – Comparativa do comprimento, diâmetro e volume dos canais das amostras cilíndricas

Amostras Cilíndricas	Potência (W)	Tempo (s)	Canal formado		
			Comprimento (mm)	Diâmetro Inicial (mm ²)	Volume do Canal (mm ³)
BB 1	1500	2,5			
BB 4	1500	5,0	45,7	3,8	211
BB 2	1500	7,5	40,5	5,8	199
BB 3	1500	10	44,9	5,1	238

Fonte: O autor (2013).

Podemos observar que a amostra BB 1, não está nos Gráficos e Tabelas apresentadas anteriormente, pois durante a perfuração do canal com laser o mesmo interceptou um *vugg* presente na amostra interferindo na avaliação da ação do laser para criação do canal, Figura 37.

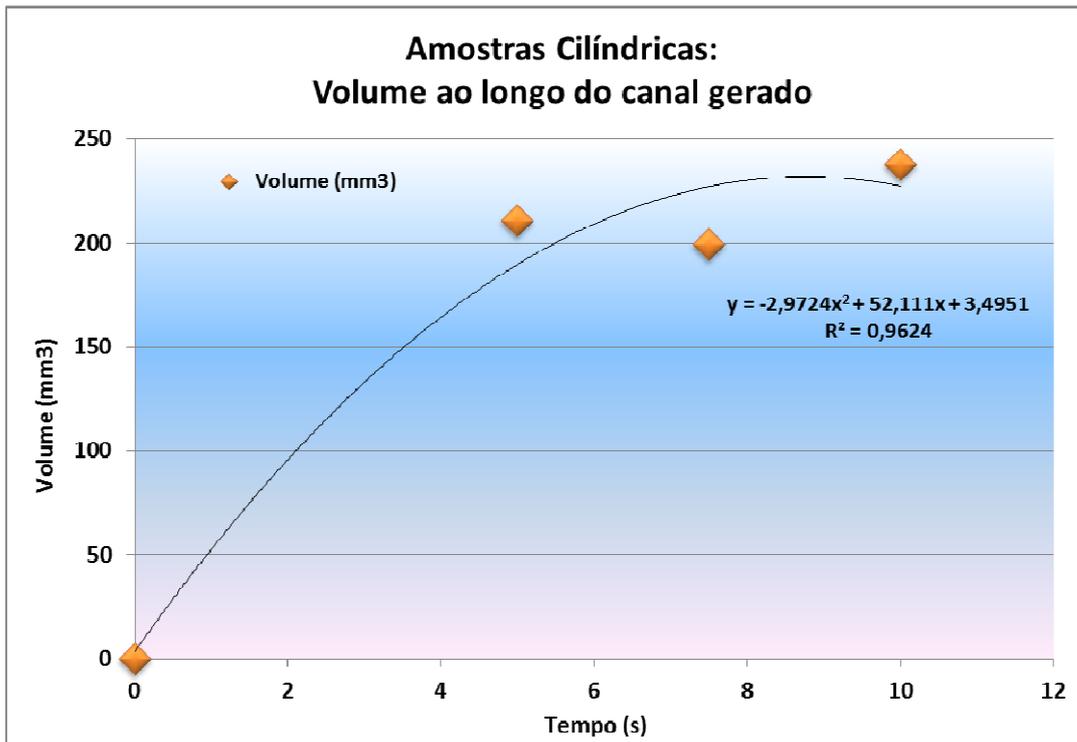


Gráfico 8 – Comparação dos volumes ao longo do comprimento dos canais formados nas amostras cilíndricas BB 2, BB 3 e BB 4
Fonte: O autor (2013).

No Gráfico 8 podemos verificar que os volumes dos canais perfurados com laser são diferentes entre si. Ao investigar a relação de tempo de exposição da amostra à irradiação do laser pode-se observar que não ocorreu uma proporcionalidade linear entre tempo de exposição e o volume do canal, este fato provavelmente se deve a heterogeneidade da amostra (ou diferença nas propriedades mecânicas da amostra).

4.1.1.2.

Energia específica das amostras cilíndricas de bege bahia

Tabela 13 – Valores de energia específica das amostras cilíndricas

Amostras de Carbonato Bege Bahia			
Amostra Cilíndrica	Potência (W)	Volume do Canal (mm ³)	Energia específica (J/mm ³)
BB 4	1500	211	35,00
BB 2	1500	199	56,00
BB 3	1500	238	63,00

Fonte: O autor (2013).

4.1.2. Microtomografia das amostras cúbicas de Bege Bahia

Segue abaixo o resultado das análises de microtomografia das amostras de carbonato bege bahia no formato cúbico de dimensões 5x5x5 cm.

4.1.2.1. Análise das imagens de Microtomografia das amostras cúbicas de dimensões de 5x5x5 cm de Bege Bahia

Na imagem captura do vídeo da microtomografia da amostra cilíndrica CBB 1, após a interação do carbonato Bege Bahia com a energia radiante do laser, pode-se observar na Figura 44 um pico no diâmetro dentro do túnel formado, o mesmo provavelmente interceptou um *vugg*, posicionado na amostra. No gráfico 9 pode-se verificar que apesar da ocorrência do vug dentro canal, observa-se um pico de diâmetro na linha azul relativa a amostra CBB1, foi possível a realizar a quantificação da amostra.

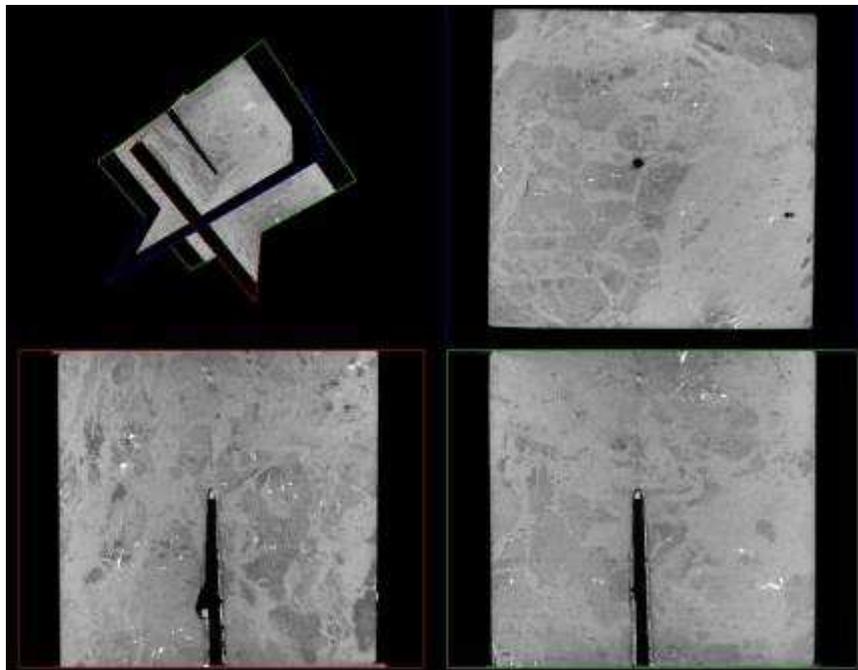


Figura 44 – Imagens da Microtomografia da amostra CBB 1 de Bege Bahia após a irradiação do laser
Fonte: O autor (2013).

Abaixo seguem as microtomografias das amostras cúbicas restantes de Bege Bahia nas quais podemos verificar que não ocorreram fraturas em todas as amostras, mas somente na amostra CBB5.

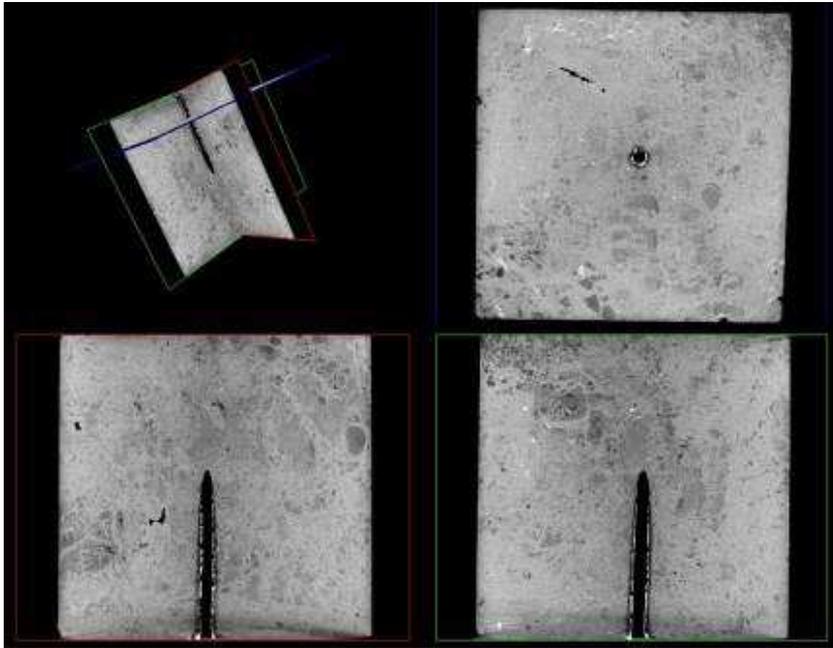


Figura 45 – Imagens da Microtomografia da amostra CBB2 de Bege Bahia após a irradiação do laser
Fonte: O autor (2013).

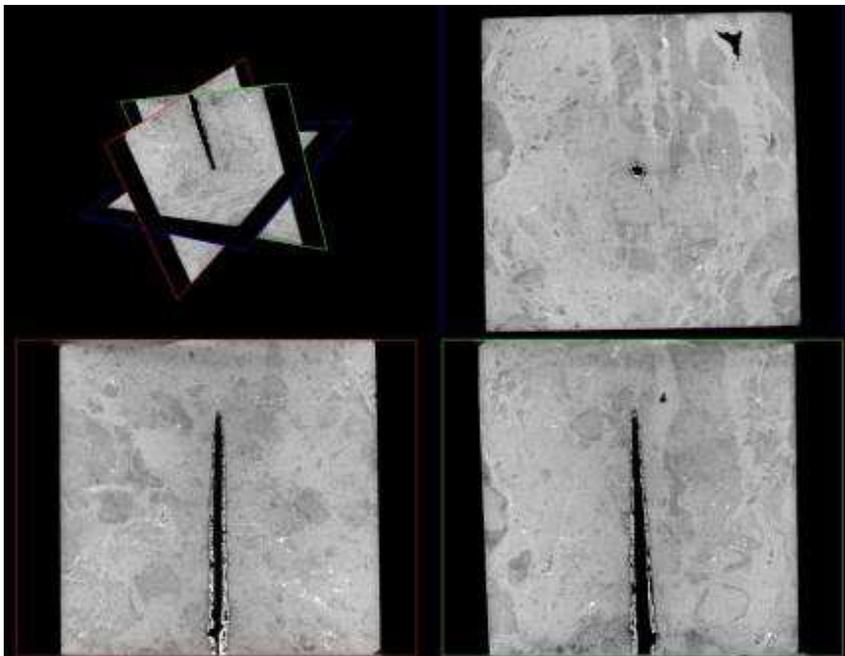


Figura 46 – Imagens da Microtomografia da amostra CBB3 de Bege Bahia após a irradiação do laser
Fonte: O autor (2013).

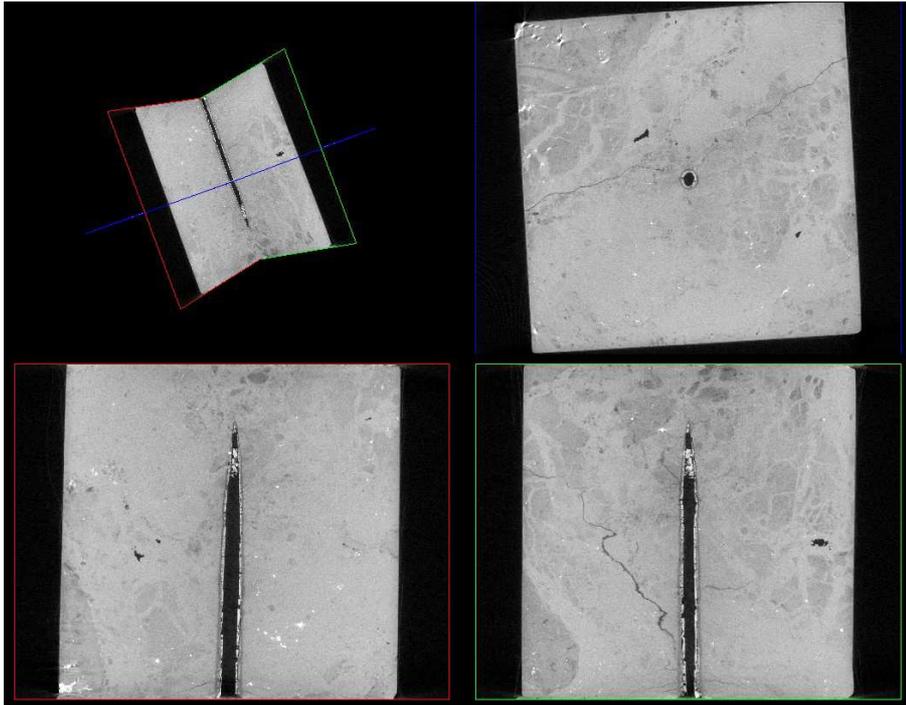


Figura 47 – Imagens da Microtomografia da amostra CBB5 de Bege Bahia após a irradiação do laser
Fonte: O autor (2013).

Verifica-se no Gráfico 9 que os comprimentos dos canais perfurados com laser são diferentes entre si. Ao comparar o tempo de exposição da amostra à irradiação do laser observamos que não ocorreu uma proporcionalidade linear entre tempo de exposição e comprimento ou volume do canal provavelmente devido a heterogeneidade das amostras.

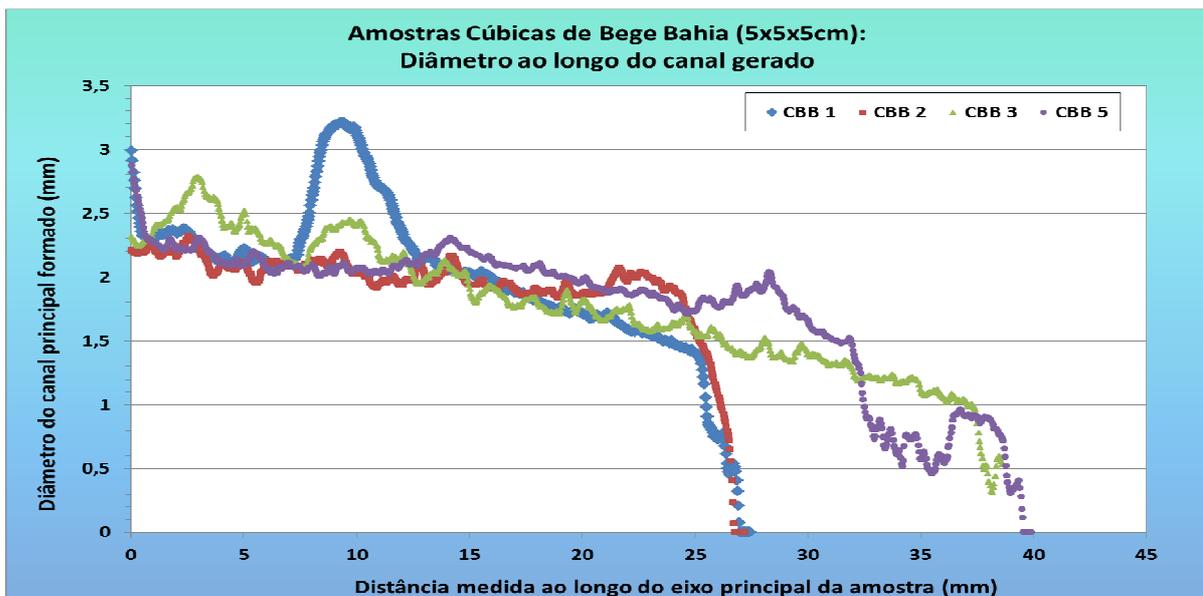


Gráfico 9 – Comparação dos diâmetros dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas CBB 1, CBB 2, CBB 3 e CBB 5
Fonte: O autor (2013).

Tabela 14 – Comparativa do comprimento, diâmetro e volume dos canais das amostras cúbicas de 5X5X5 cm de carbonato Bege Bahia

Amostras Cúbicas	Potência (W)	Tempo (s)	Canal formado		
			Comprimento (mm)	Diâmetro Inicial (mm ²)	Volume do Canal (mm ³)
CBB 1	1500	2,5	27,43	2,98	94
CBB 2	1500	3,5	27,18	2,20	82
CBB 3	1500	4,5	39,46	2,31	103
CBB 5	1500	5,5	39,90	2,87	106

Fonte: O autor (2013).

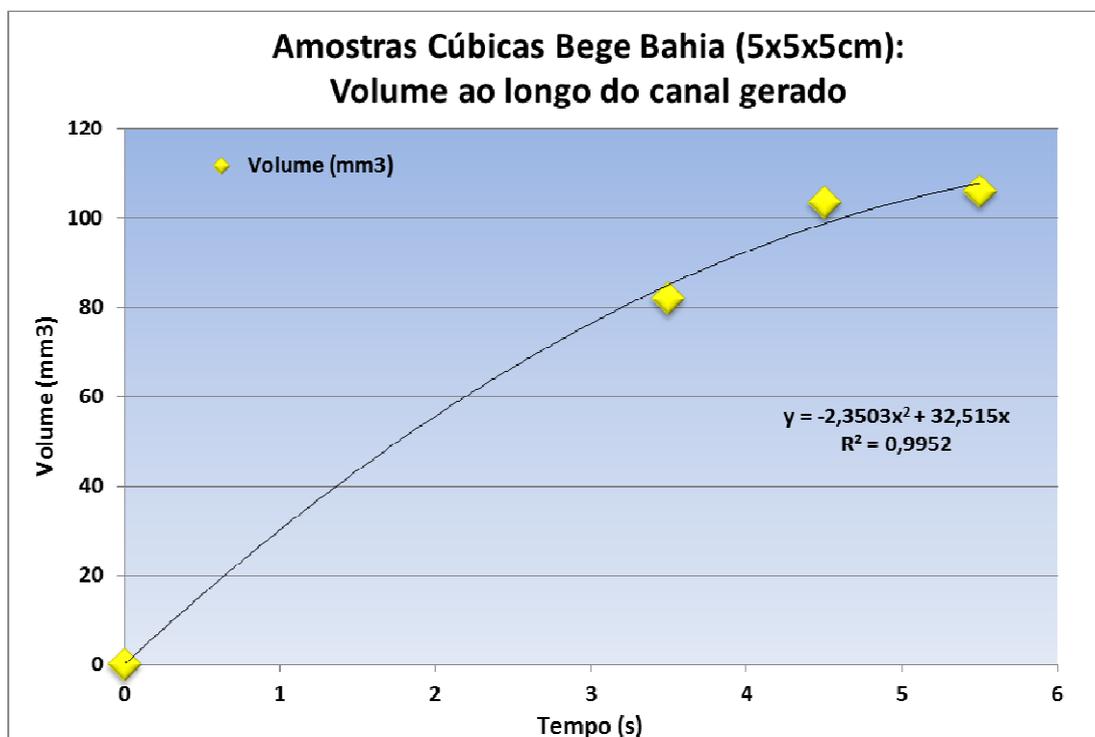


Gráfico 10 – Comparação dos volumes dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas CBB 1, CBB 2, CBB 3 e CBB 5.

Fonte: O autor (2013).

Para a análise do Gráfico 10 dos volumes dos canais foi desconsiderada a amostra CBB 1, pois durante a perfuração do canal com o laser, esta atravessou um *vugg*. Ao investigar a relação de tempo de exposição da amostra com a irradiação do laser pode-se observar que ocorreu uma proporcionalidade entre tempo de exposição, volume e o comprimento, porém esta relação não é linear.

Na análise comparativa dos volumes gerados dos canais criados, nas amostras de carbonato Bege Bahia com as amostras cilíndricas versus amostras

cúbicas, durante o tempo de aplicação da irradiação do laser nas mesmas, pode ser observada no gráfico 11.

Pode-se observar que as amostras cilíndricas formaram um canal com volume maior do que as amostras cúbicas. Esta diferença pode ter origem em dois fatores; a distância da borda do canal para a extremidade da amostra e ou ao estresse mecânico gerado no corpo de prova durante o processo de corte destes nas amostras cilíndricas.

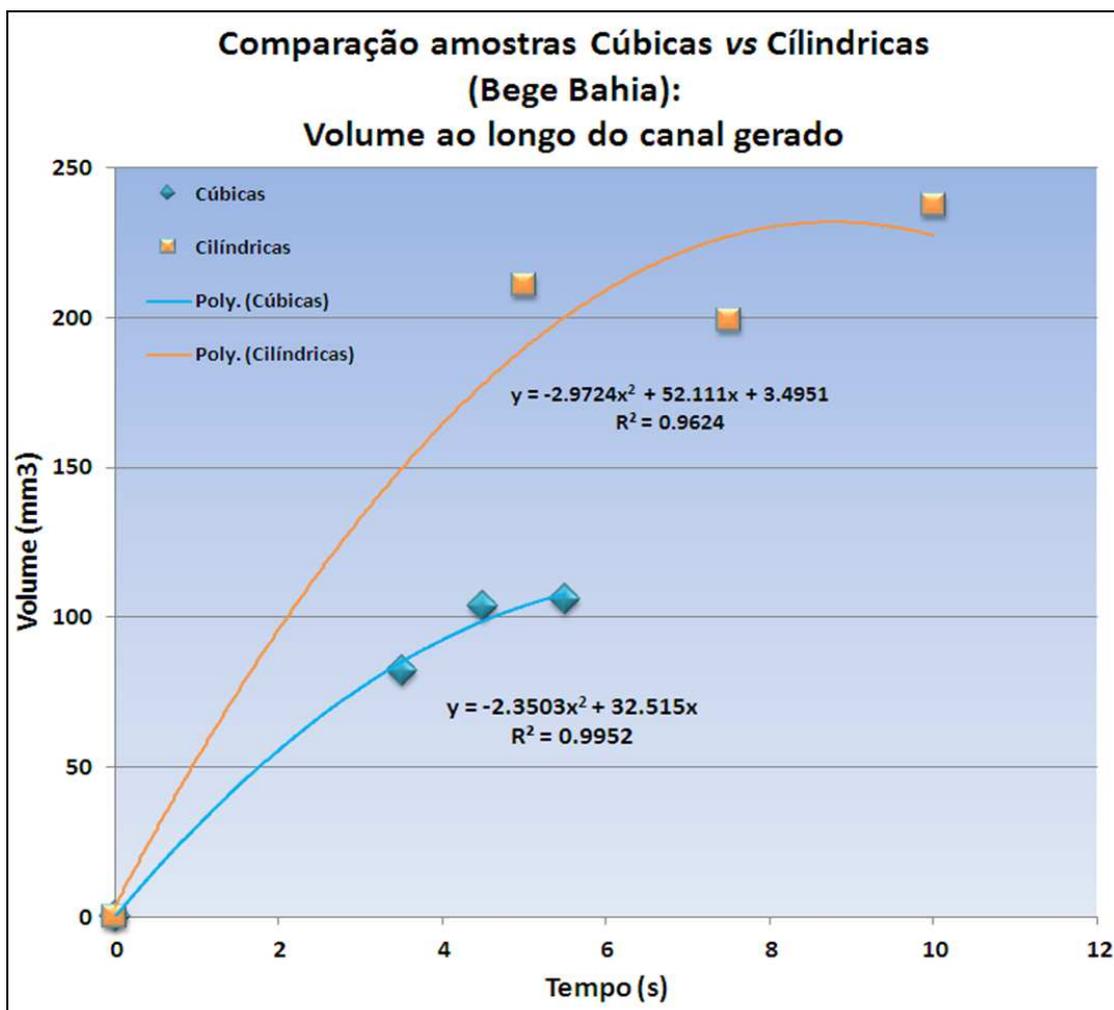


Gráfico 11 – Comparação do volume ao longo canal das amostras cúbicas versus amostras cilíndricas

Fonte: O autor (2013).

4.1.3. Análise Termogravimétrica (ATG) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) do carbonato Bege Bahia

Foram realizadas análises de Análise Termogravimétrica (ATG) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) em duas amostras de carbonato

Bege Bahia: Na mostra 05.04/2013 no Gráfico 12, com a massa na abscissa e a temperatura na ordenada, foi observado que a decomposição térmica do carbonato numa faixa de temperatura que inicia em 580 °C e vai até 930 °C.

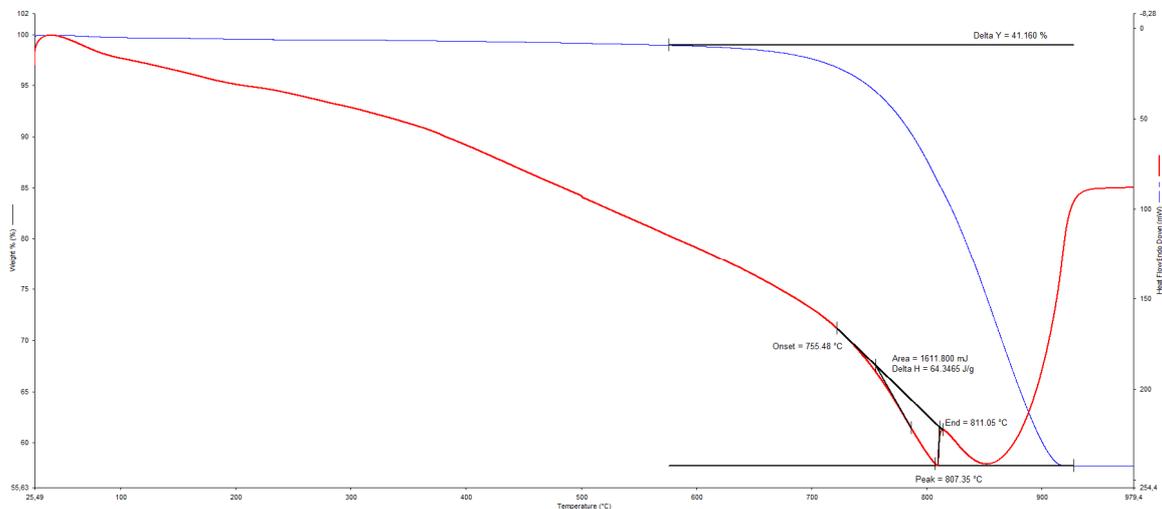


Gráfico 12 – ATG/DSC da amostra 05.04/2013 de carbonato bege bahia
Fonte: O autor (2013).

Na mostra 06.04/2013 no Gráfico 13, foi observada a decomposição térmica do carbonato numa faixa de temperatura que inicia em 600 °C e vai até 960 °C.

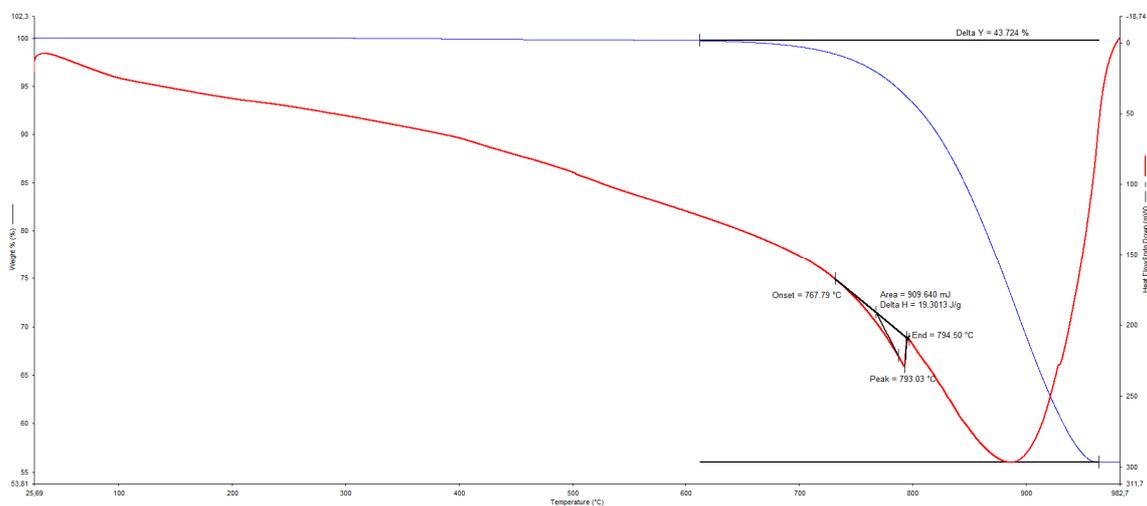


Gráfico 13 – ATG/DSC da amostra 06.04/2013 de carbonato bege bahia
Fonte: O autor (2013).

4.1.4.

Análise das imagens de Microtomografia das amostras cúbicas de Pasta de Cimento Curadas nas dimensões de 5x5x5 cm

O Gráfico 14 apresenta o resultado das análises de microtomografia das amostras de Pasta de Cimento pura curada (CIM 040/13) no formato cúbico de dimensões 5x5x5 cm. A diferença observada de resultados entre a amostra 1 e 6 pode ser em função da diferença de porosidade das amostras.

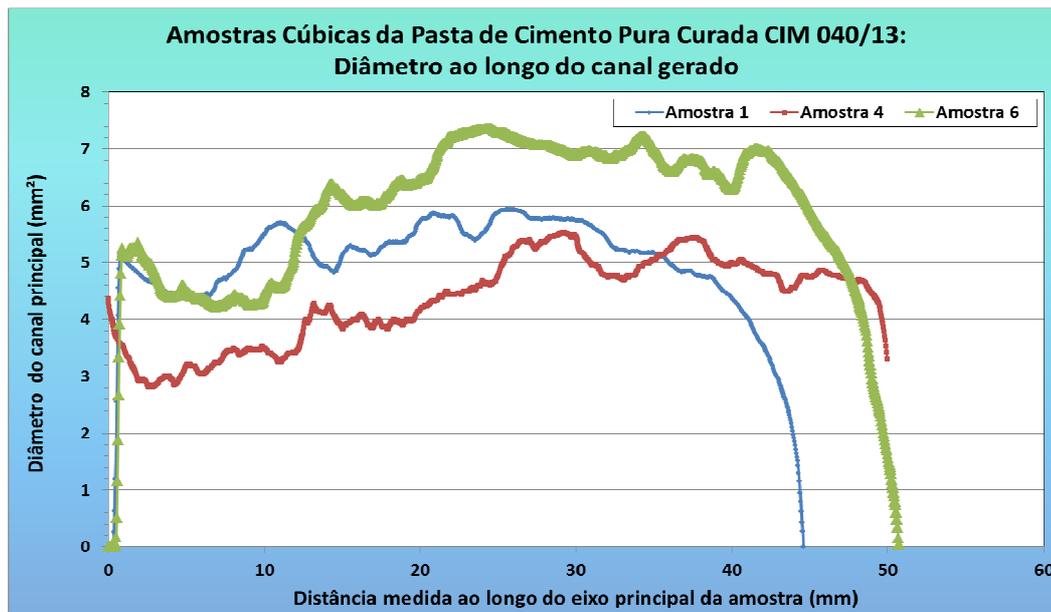


Gráfico 14 – Comparação dos diâmetros dos canais ao longo do comprimento das três amostras cúbicas de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13)

Fonte: O autor (2013).

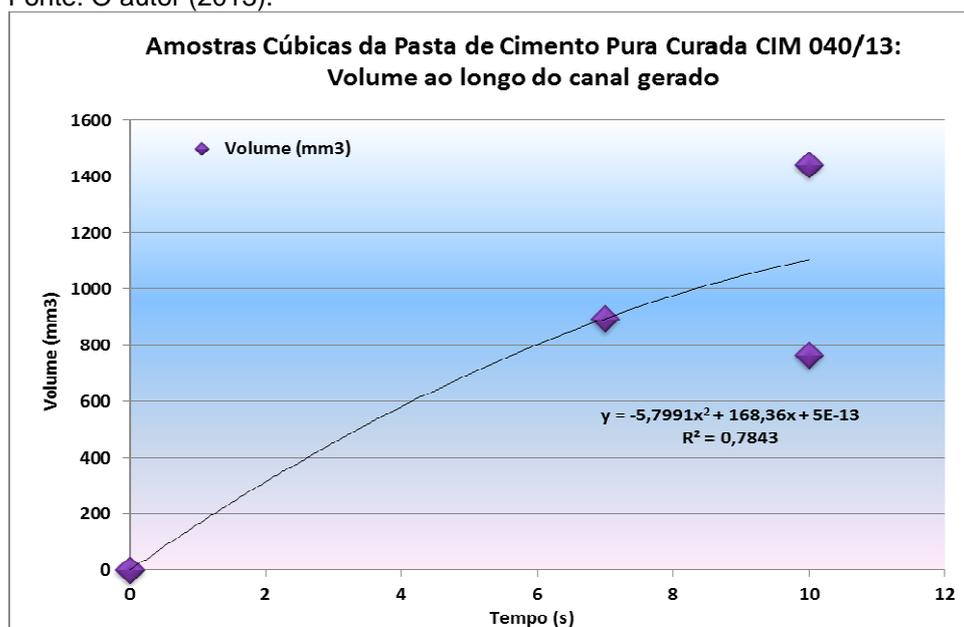


Gráfico 15 – Comparação dos volumes dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13)

Fonte: O autor (2013).

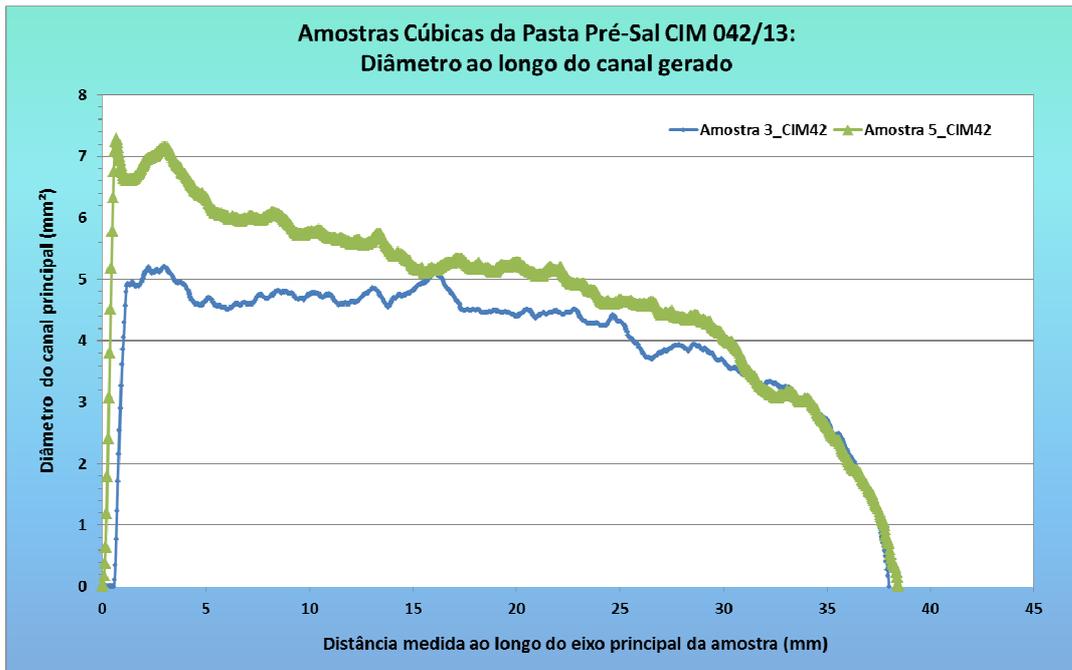


Gráfico 16 – Comparação dos diâmetros dos canais ao longo do comprimento das duas amostras cúbicas de pasta pré-sal (CIM 042/13)
Fonte: O autor (2013).

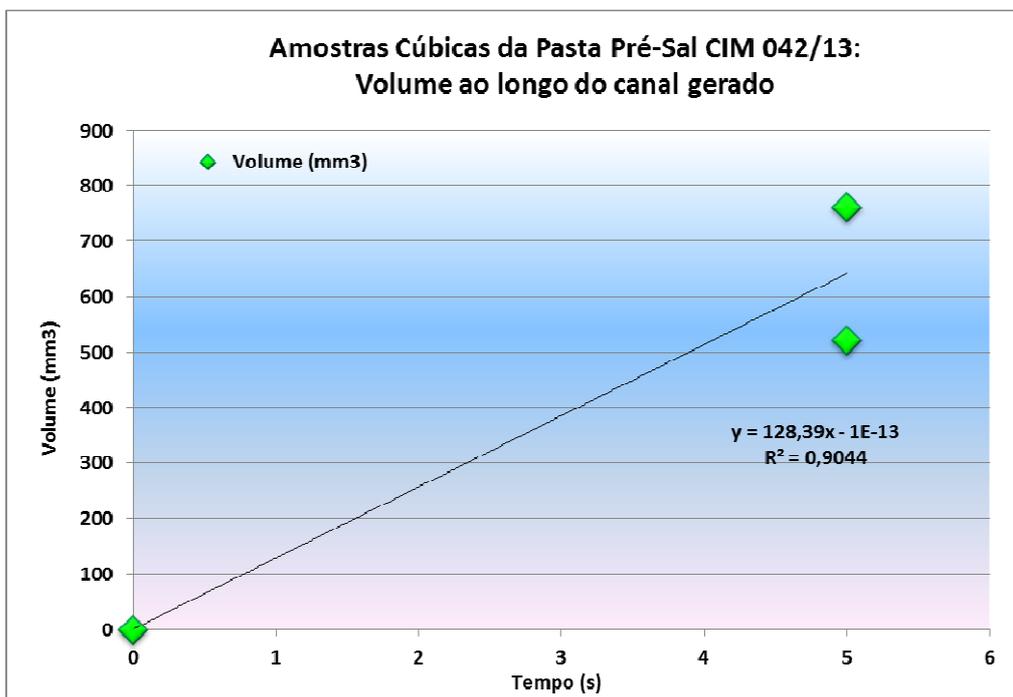


Gráfico 17 – Comparação dos volumes dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas de pasta pré-sal (CIM 042/13)
Fonte: O autor (2013).

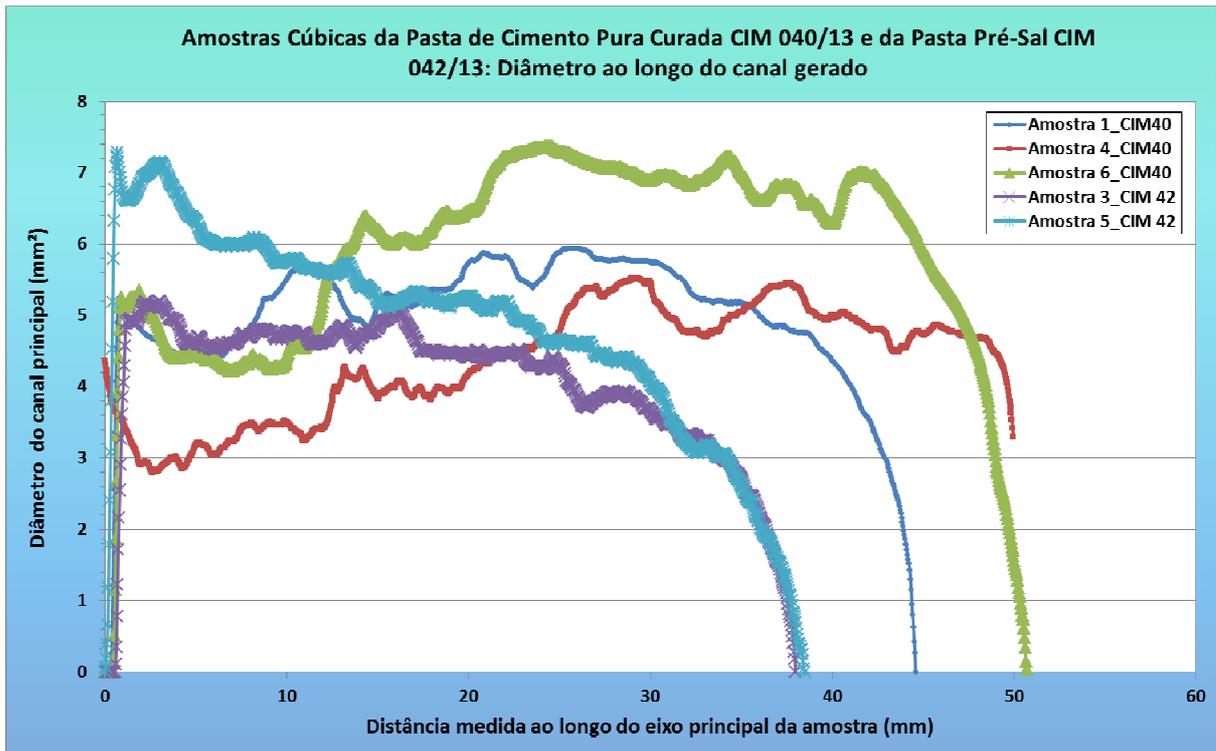


Gráfico 18 – Comparação dos diâmetros dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e pasta pré-sal (CIM 042/13)

Fonte: O autor (2013).

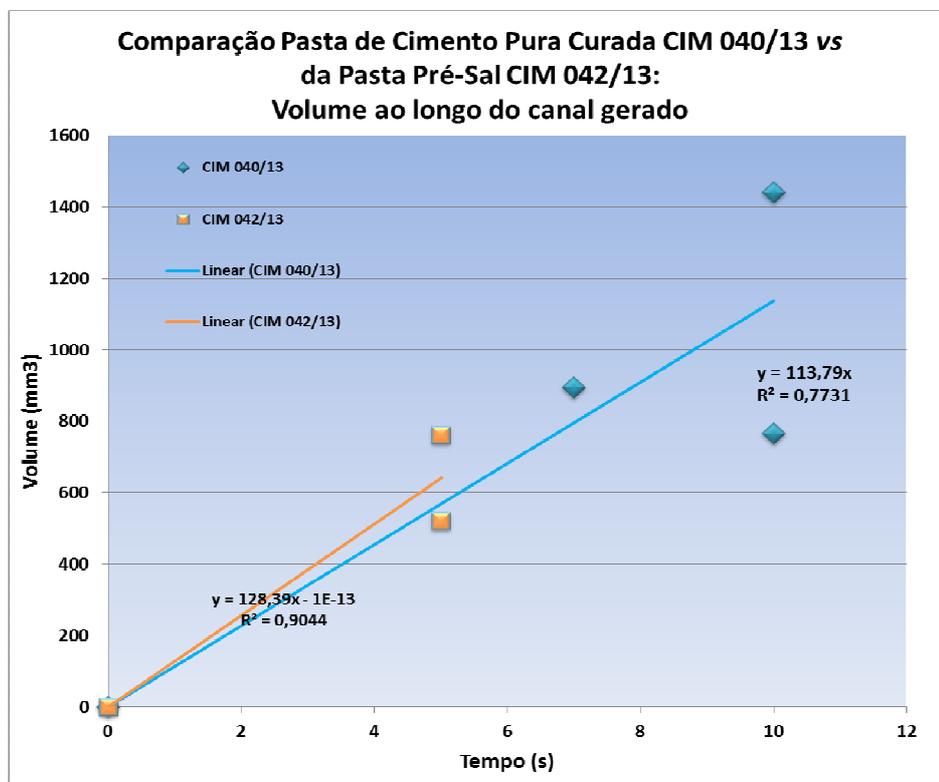


Gráfico 19 – Comparação dos volumes dos canais ao longo do comprimento das amostras cúbicas de pasta cimento pura curada (CIM 040/13) e pasta pré-sal (CIM 042/13)

Fonte: O autor (2013).

Tabela 15 – Comparativa do comprimento, diâmetro e volume dos canais das amostras cúbicas de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e pasta pré-sal (CIM 042/13)

Amostras	Tempo(s)	Potência(W)	Canal		
			Comprimento (mm)	Diâmetro Inicial (mm)	Volume (mm ³)
40	7	1200	43	5,0	900
40	10	1200	50	5,3	1450
40	10	1200	51	4,4	770
42	10	1200	*	*	*
42	5	1200	36	5,3	530
42	5	1200	37	7,3	770

Fonte: O autor (2013).

No primeiro ensaio realizado em laboratório, com a irradiação do laser, na amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13), onde foi aplicado o laser com potência de 1200 W durante 7 segundos. O túnel criado atravessou a amostra, sendo que ao final da criação do túnel, foi observado o rompimento da amostra em duas partes (Figura 47). Foi decidido então reduzir o tempo de exposição das outras duas amostras de pasta pré-sal (CIM 042/13) para 5 segundos.



Figura 48 – Rompimento da amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13) ao final da criação do canal a laser

Fonte: O autor (2013).

Na análise do Gráfico dos volumes dos canais criados nas amostras de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e pasta de cimento pré-sal (CIM 042/13),

foi observada a proporcionalidade entre tempo de exposição versus comprimento do túnel criado, em relação ao volume não foi observada uma linearidade. Este fato pode ter relação com a diferença de porosidade destas como observado nas Figuras 50 e 51.

Na 4ª amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) foi observado que o maior volume de canal criado que foi de 1450 mm³, muito acima do observado nas outras amostras, na Figura 49 podemos ver a análise de microtomografia desta amostra.

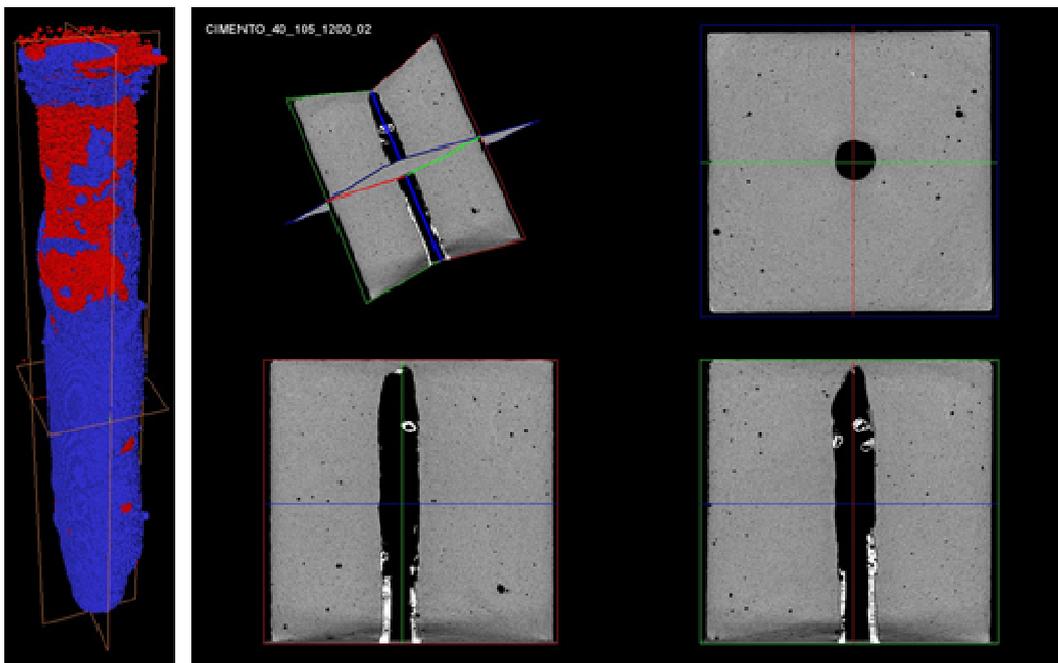


Figura 49 – Vídeo da 4ª amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) com o canal criado pelo laser
Fonte: O autor (2013).

O destaque à esquerda do canal criado pelo laser em azul que representa a área do canal com resíduo que é igual à área colorida de azul na imagem acima e em vermelho somente o resíduo.

Na 3ª amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13) foi observado o menor volume de canal criado que foi de 530 mm³, abaixo do observado nas outras amostras, na Figura 50 podemos ver a análise de microtomografia desta amostra.

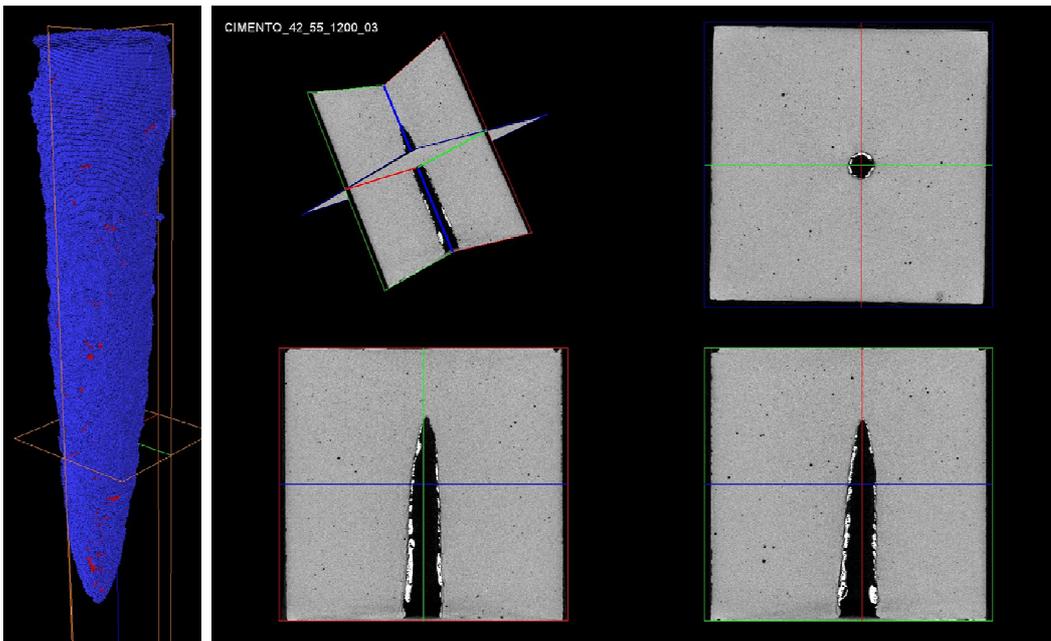


Figura 50 – Vídeo da 3ª Amostra de pasta de cimento pré-sal (CIM 042/13) com o canal criado pelo laser
 Fonte: O autor (2013).

Na Figura 51 são mostrados os principais poros da amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) antes do ensaio de estimulação a laser. No vídeo à direita uma visão tridimensional da parte sólida da amostra. Nota-se claramente a estratificação vertical de poros causada no preparo do corpo de prova.

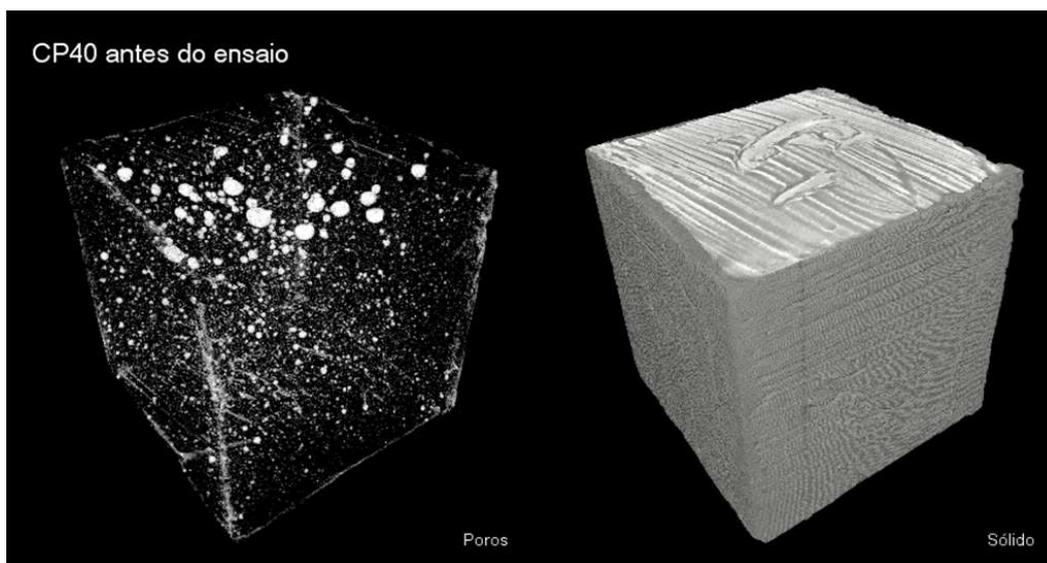


Figura 51 – Análise da porosidade de uma amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) através de microtomografia antes da exposição ao laser
 Fonte: O autor (2013).

Através da comparação da porosidade nas microtomografias das amostras de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) na Figura 51 e pasta pré-sal (CIM 042/13) na Figura 52, podemos observar que a amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) apresenta uma porosidade superior à amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13) como pode ser visto no Gráfico 17.

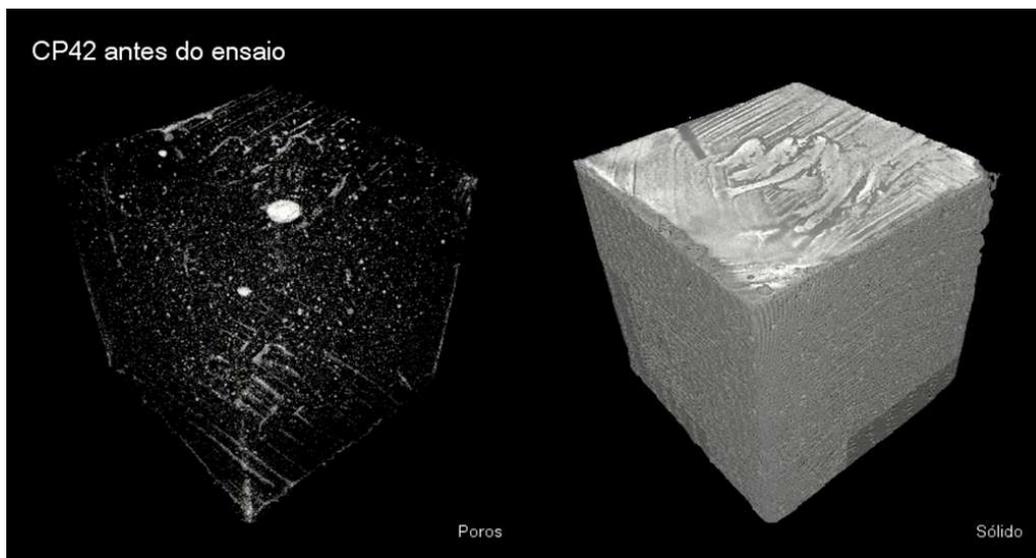


Figura 52 – Análise da porosidade de uma amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13) através de microtomografia antes da exposição ao laser
Fonte: O autor (2013).

No gráfico 19 ao longo do eixo principal das amostras do lado esquerdo se encontra a parte superior das amostras e do lado direito à parte interior.

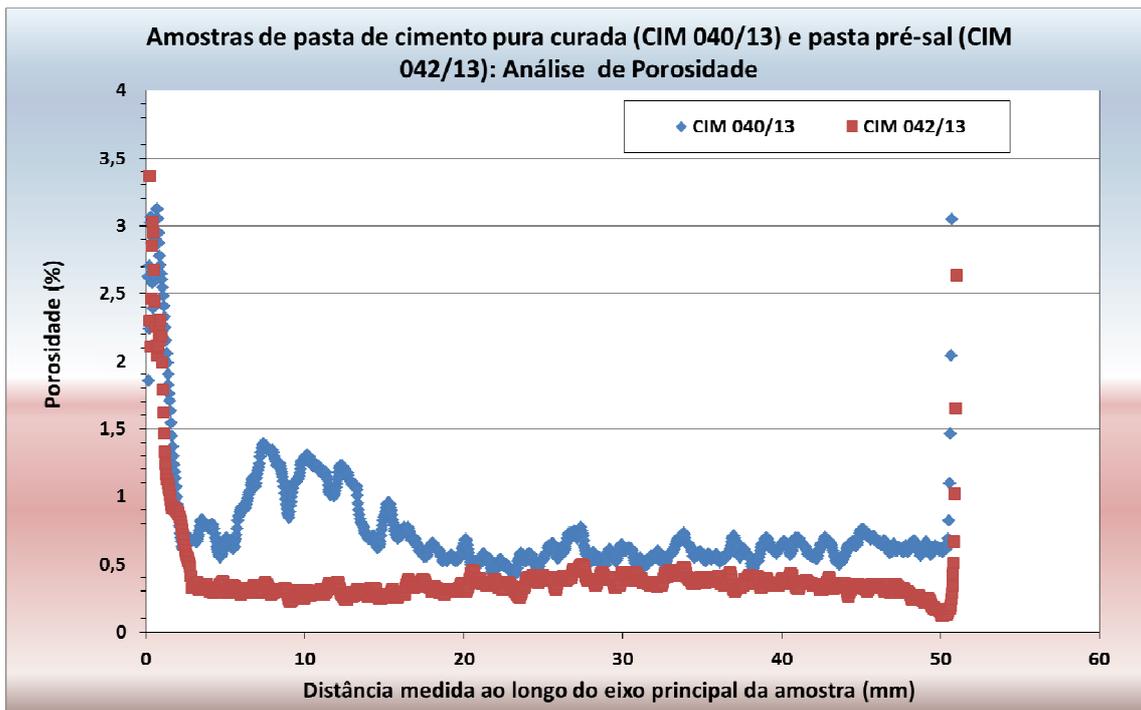


Gráfico 20 – Porosidade das amostras de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e pasta pré-sal (CIM 042/13)
 Fonte: O autor (2013).

A Figura 53 mostra a 1ª amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) depois do ensaio de estimulação a laser. Destaca-se na região central da amostra o canal formado pelo processo.



Figura 53 – Análise da porosidade da 1ª amostra de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) através de microtomografia após a exposição ao laser
 Fonte: O autor (2013).

A 3ª amostra de cimento de pasta pré-sal (CIM 042/13) depois do ensaio de estimulação a laser. Destaca-se na região central da amostra o canal formado pelo processo.

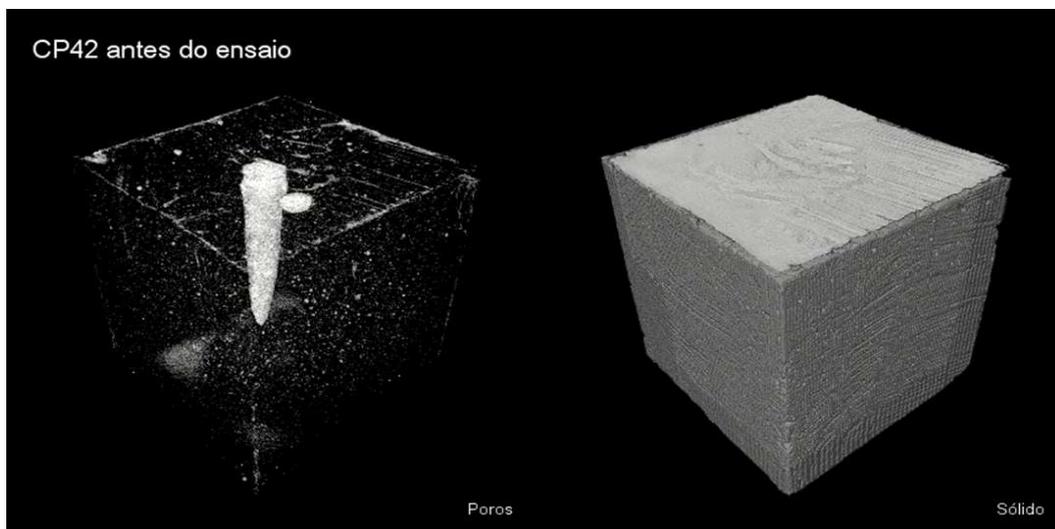


Figura 54 – Análise da porosidade da 3ª amostra de pasta pré-sal (CIM 042/13) através de microtomografia após a exposição ao laser
Fonte: O autor (2013).

4.2. Fluorescência de Raios X

Para as amostras, 1ª de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e a 2ª pasta pré-sal (CIM 042/13), Figura 48, foram realizadas análises de Fluorescência de Raio X para caracterização comparativa entre a região fora do laser (corpo de prova) e a região do laser (dentro do canal criado pelo laser) conforme Tabela 15.

Para as análises de EDX as amostras foram identificadas como a seguir pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) por (Scad 2013-013060-51) e pasta pré-sal (CIM 042/13) por (Scad 2013-013061-32).

Resultados da análise semi-quantitativa por FRX (EDX Shimadzu HS 800):

		Elemento (%)									
		Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Sr	Zr
2013-013060-51	região fora do laser	9,0	0,0	0,7	45,5	0,3	0,1	10,5	0,1	0,4	< 0,1
	região do laser	9,8	0,0	0,0	42,8	0,3	0,1	12,5	0,1	0,3	< 0,1
2013-013061-32	região fora do laser	5,8	3,9	0,9	47,3	0,0	0,1	10,7	0,1	0,6	< 0,1
	região do laser	0,0	0,0	0,0	53,9	0,4	0,1	16,2	0,0	0,5	< 0,1

Tabela 16 – Análise de fluorescência de Raio X das amostras pasta de cimento pura curada (CIM 040/13)/(Scad 2013-013060-51) e pasta pré-sal (CIM 042/13)/(Scad 2013-013061-32)

Fonte: O autor (2013).

Na análise de Fluorescência de Raio X da amostra pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) por (Scad 2013-013060-51) podemos observar que na comparação entre a região do canal fora do laser com a região do canal criado pelo laser, houve aumento do teor de Silício em 0,8 %, do ferro em 2,0 % e uma redução do cálcio de 2,7 %.

Na análise de Fluorescência de Raio X da amostra pasta pré-sal (CIM 042/13) por (Scad 2013-013061-32) podemos observar que na comparação entre a região do canal fora do laser com a região do canal criado pelo laser, houve aumento do teor de Cálcio em 6,6 %, do ferro em 5,5 % embora o Si não tenha sido detectado pela técnica de EDX na amostra 2013-013061-32 (região do laser).

4.3. Análise Difração de Raios X

Para as amostras, 1ª de pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) e a 2ª de pasta pré-sal (CIM 042/13), Figura 47, foram realizadas análises de Difração de Raio-X para caracterização comparativa entre a região fora do laser (corpo de prova) e a região do laser (dentro do canal criado pelo laser) Tabela 16.

Para as análises de μ -DRX as amostras foram identificadas como a seguir pasta de cimento pura curada (CIM 040/13) por (Scad 2013-013060-51) e a pasta pré-sal (CIM 042/13) por (Scad 2013-013061-32).

Resultados da análise de identificação de fases cristalinas por DRX (μ -DRX Bruker D8):

Amostra	Scad	Região Analisada	Fases Cristalinas
CiM040/13	2013-013060-51	Região fora do laser	C3S (alita) e CH (portlandita)
		Região do laser	C3S (alita), CH (portlandita) e calcita
CiM042/13	2013-013061-32	Região fora do laser	C3S (alita), CH (portlandita) e calcita. Possível presença de KFeO ₂
		Região do	C3S (alita), CH (portlandita) e

Amostra	Scad	Região Analisada	Fases Cristalinas
		laser	calcita

Tabela 17 – Análise de Difração de Raio X das amostras pasta de cimento pura curada (CIM 040/13)/ (Scad 2013-013060-51) e pasta pré-sal (CIM 042/13)/(Scad 2013-013061-32)

Fonte: O autor (2013).

As variações observadas nas análises não foram relevantes devido a estarem dentro da margem de erro do equipamento.

4.4. Avaliação da Capacidade de perfuração do Aço-Cimento-Formação

Para a avaliação da capacidade de perfuração dos corpos de prova de aço/cimento/carbonato foi utilizada a tomografia médica. Esta técnica de análise foi escolhida em função das dimensões da amostra. Também foi realizada a análise visual dos corpos de prova. Segue o resultado destas análises.

4.4.1. Tomografia de Raios-X

Para a 1ª amostra de pasta de cimento pré-sal (CIM 042/13), o laser foi programado com uma potência de 1200 watts, com distância focal de 2,5 cm, por um tempo de 26 segundos, que após a irradiação do laser, apresentou um furo de 1 mm de diâmetro na placa de aço, que atravessou o corpo de prova entrando pela placa de aço e saindo pelo carbonato travertino conforme pode ser visto na microtomografia da Figura 54.



Figura 55 – Vista transversal do 1º corpo de prova de aço/cimento/carbonato travertino (pasta pré-sal) com um furo central que atravessou a amostra
Fonte: O autor (2013).

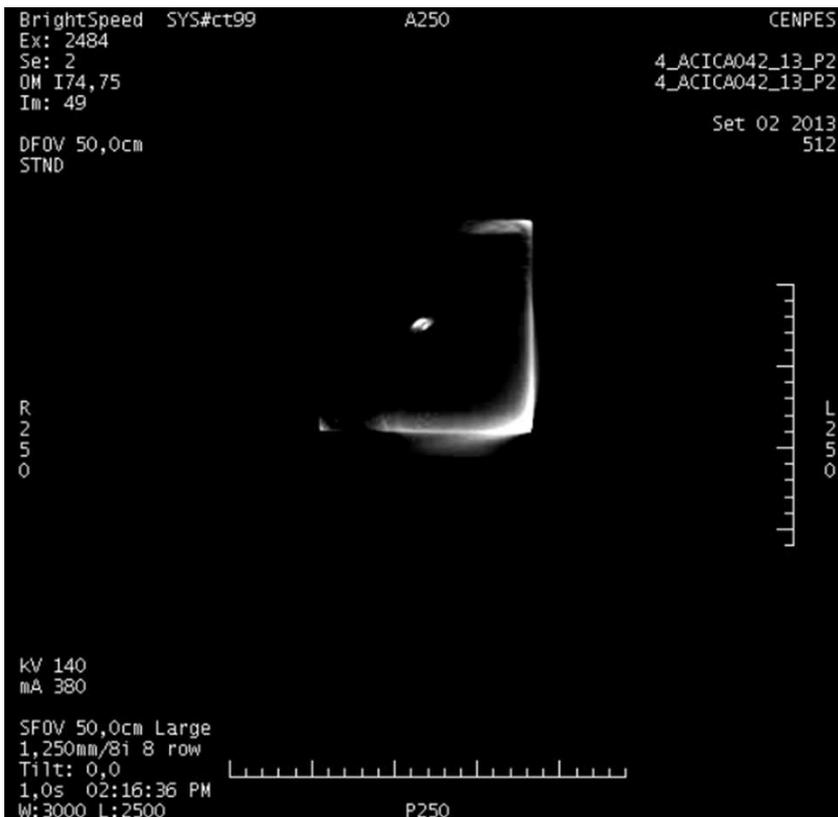


Figura 56 – Vista longitudinal do 1º corpo de prova de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal) com um canal central que atravessou a amostra
Fonte: O autor (2013).

Na 4ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13-pasta de cimento pura), o laser foi programado com uma potência de 1200 watts, com distância focal de 2,5 cm, sendo os dois primeiros furos com um tempo de 26 segundos e o terceiro furo com 1,20 segundos. Pode-se verificar que a tomografia, no sentido transversal, mostra os três furos realizados na placa de aço Figura 56, porém somente o terceiro furo, com 1,5 mm de diâmetro na placa de aço, criou o canal que atravessou a amostra na posição à direita inferior do corpo de prova no sentido longitudinal conforme Figura 57.



Figura 57 – Tomografia do 4º corpo de prova de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada)
 Fonte: O autor (2013).

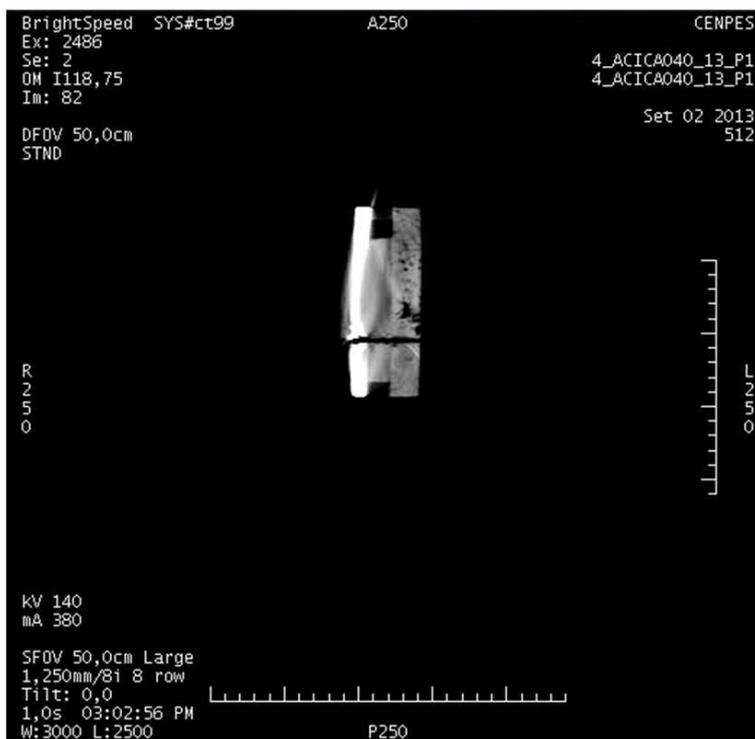


Figura 58 – Tomografia do 4º corpo de prova de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada)
Fonte: O autor (2013).

A tomografia de raios-X demonstrou ser eficiente para avaliar a formação dos canais através das amostras, mostrando o canal que atravessou no centro do 1º corpo de prova, e os três furos na placa de aço no 4º corpo de prova.

4.5 Análise Visual

Uma segunda corrida de teste foi realizada com amostras de aço/cimento/carbonato porém as análises realizadas com estas foram visuais.

Na amostra 5ª de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada) foi aplicada irradiação laser com 1500 watts de potência em distância focal de 3 mm em uma série de furos conforme a Tabela 18, sendo que a identificação da amostra foi usada como correlação sempre ao lado direito.

Tabela 18 – Posição e sequência de aplicações de laser na 5ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada)

Ordem	Posição do furo	Potência (W)	Tempo (s)	Resultado
	Na amostra			
1º	centro	1500	30	Não

Ordem	Posição do furo Na amostra	Potência (W)	Tempo (s)	Resultado
				atravessou
2º	esquerda superior	1500	25	Não atravessou
3º	esquerda inferior	1500	20	atravessou
4º	direita inferior	1500	31	Não atravessou
5º	Direita superior	1500	15	Não atravessou
6º	No centro inferior	1500	20	atravessou

Fonte: O autor (2013).

Foi observado que apenas o terceiro e o sexto furo realizados na 5ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada), em destaque com círculo branco na Figura 58, atravessaram completamente a amostra, na placa de travertino o 3º furo, com 2 mm de diâmetro na entrada na placa de aço e 2 mm de diâmetro de saída na placa de carbonato este marcado com círculo vermelho, embora o 6º tenha indicado durante a aplicação do laser que atravessou a placa. A projeção do laser se deu pela rachadura presente na placa de travertino conforme a Figura 59.



Figura 59 – Vista dos furos na placa de aço e na placa de travertino (nos círculos vermelhos) da 5ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada)

Fonte: O autor (2013).

Na 2ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal) foi aplicada irradiação laser com 1500 watts de potência em distância focal de 3 mm e a realização de 3 furos conforme a Tabela 18, sendo que a identificação da amostra foi usada como correlação sempre ao lado direito.

Tabela 19 – Posição e sequência de aplicações de laser na amostra 2ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal)

Ordem	Posição do furo Na amostra	Potência (W)	Tempo (s)	Resultado
1º	centro	1500	18	atravessou
2º	esquerda superior	1500	31	atravessou
3º	direita inferior	1500	25	Não atravessou

Fonte: O autor (2013).

Foi observado que apenas o primeiro e o segundo furo, com diâmetro de entrada de 1 mm na placa de aço e de 2 mm de saída na placa de carbonato, atravessaram completamente a 2ª amostra CIM 042/13, em destaque com círculo branco na placa de aço na Figura 59 .



Figura 60 – Vista dos furos na placa de aço e na placa de travertino (nos círculos amarelos) da 2ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal)

Fonte: O autor (2013).

Na 3ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal) foi aplicada irradiação laser com 1500 watts de potência em distância focal de 5 mm no tempo de 1 minuto e 21 segundos, com a realização de 1 furo com 4,8 mm de diâmetro de entrada na placa de aço e na placa de carbonato. Para a

construção dos furos foi aplicado movimento giratório helicoidal do canhão de laser, no centro da amostra, que atravessou a mesma conforme Figura 61.

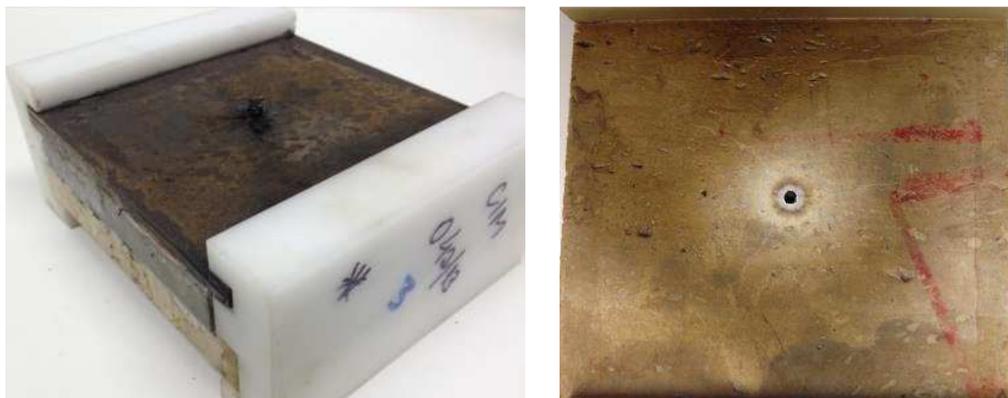


Figura 61 – Vista do furo central na placa de aço e na placa de travertino da 3ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal)
Fonte: O autor (2013).

Foi observado que o furo atravessou completamente a 3ª amostra, iniciado na placa de aço e finalizado na placa de travertino conforme a Figura 61.



Figura 62 – Medida do diâmetro do furo central com paquímetro digital na placa de aço da 3ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal)
Fonte: O autor (2013).

4º teste: Na 6ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada) foi aplicada irradiação laser com 1500 watts de potência em distância focal de 5 mm no tempo de 1 minuto e 21 segundos, o furo com diâmetro de entrada de 4.8 mm na placa de aço, realizado com movimento giratório helicoidal do canhão de laser, no centro da amostra, porém não atravessou completamente a mesma conforme Figura 63.



Figura 63 – Vista do furo central na placa de aço da 6ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 040/13 - pasta de cimento pura curada)
Fonte: O autor (2013).

3ª amostra de aço/cimento/carbonato travertino (CIM 042/13 - pasta pré-sal), canhoneada com movimento giratório helicoidal do canhão de laser, formou um furo com maior diâmetro na entrada pela placa de aço e na saída pela placa de carbonato, do que as amostras canhoneadas com o canhão na posição fixa, demonstrando que este método é mais eficiente.