

**CRU - The Independent Authority.** [Online] [Citado em: 20 de 11 de 2011.] <http://www.crugroup.com/market-analysis/>.

**D'Abreu, J. C. 2007.** *Notas de Aula de Siderurgia.* s.l. : Departamento de Engenharia de Materiais, 2007.

**D'Abreu, J. C., et al. 2006.** *A digital microscopy technique to quantify metallic iron in self-reducing agglomerates.* Osaka, Japão : The 4th International congress on the science and technology of ironmaking, 2006.

**D'Abreu, J. C. et al. 2006.** *Digital Microscopy applied to metallic iron quantification in self-reducing briquettes.* Cleveland, Ohio - USA : Iron & Steel Technology Conference Proceedings - AISTech 2006, 2006.

**D'Abreu, J.C. 2006.** *Development of the brazilian self reducing ironmaking technology.* Osaka - Japão : The 4th International congress on the science and technology of ironmaking, 2006.

**DNPM - Departamento Nacional de Produção.** *Economia Mineral do Brasil em 2009 - Minério de Ferro e Aço.* [Online] [Citado em: 22 de 10 de 2011.] <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68>.

**Gomes, O. 2007.** *Microscopia co-localizada.* Rio de Janeiro : s.n., 2007.

**Gomes, O. 2001.** *Processamento e análise de imagens aplicados à caracterização automática de materiais.* Rio de Janeiro : s.n., 2001.

**IaBR - Instituto Aço Brasil.** [Online] [Citado em: 10 de 10 de 2011.] <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>.

**Jaroslav, SRB. e Ruzicková, Zdenka. 1998.** *Pelletization of fines.* 1998.

**Keshary, S, e Krishnan, T. 2008.** *Reduction Kinetics of Iron Ore and Pellets.* 2008.

**Molecular Express.** *Optical Microscopy Primer. Introduction to Microscopy.* [Online] [Citado em: 01 de 06 de 2010.] <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/introduction.html>.

**Molecular Expressions.** Optical Microscopy Primer. *Digital Imaging*. [Online] [Citado em: 25 de 05 de 2010.] <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/index.html>.

**Noldin Junior, J. H. 2002.** *Contribuição ao Estudo da Cinética de Redução de Briquetes Auto-redutores*. Rio de Janeiro : s.n., 2002.

**Noldin Junior, J. H., D'Abeu, J. C. e Contrucci, M. 2005.** *Tecnored Process - High Potential in Using Different Kinds of Solid Fuels*. 2005. Vol. 8.

**Noldin Junior, J. H., D'Abeu, J. C. e DE ARAÚJO, D. R.** *Tecnologias Emergentes da Siderurgia Primária. Novas Oportunidades?*

**Noldin Junior, J. H., et al. 2003.** *Cinética de Redução de Briquetes Auto-redutores*. Rio de Janeiro : s.n., Julho de 2003.

**Paciornik, S. e Mauricio, M.H.P. 2004.** Digital Imaging. [A. do livro] G.F. Vandervoort. *ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures*. 2004.

**Paciornik, S. 2010.** *Notas de aula do professor Sidnei Paciornik: Microscopia Quantitativa*. Rio de Janeiro : Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio, 2010.

**Paciornik, S. 2010.** *Notas de aula do professor Sidnei Paciornik: Processamento Digital de Imagens*. Rio de Janeiro : Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio, 2010.

**Pourghahramani, P. e Forssberg, E. 2006.** *Effects of Mechanical Activation on the Reduction Behavior*. 2006.

**Singh, A. K. 2009.** *Preparation and Characterization of Sponge Iron*. 2009.

**Smith, D. 1996.** Characterization of Lactose by Helium Pycnometer. *The Microreport: News and Ideas for Decion Makers*. 7, 1996, Vol. 2.

**UNCTAD - United Nations Conference on trade and development.** *Pesquisas Econômicas de Minério de Ferro*. [Online] [Citado em: 26 de 06 de 2010.] <http://www.unctad.org/Templates/StartPage.asp?intItemID=2068>.

**Wagner, D.T. 2008.** *Caracterização automática de aglomerados de minério de ferro*. Rio de Janeiro : Anais-XVI Seminário de iniciação científica da PUC-Rio no campus da Universidade, 2008.

**Wagner, D.T. 2010.** *Caracterização automática de aglomerados de minério de ferro*. Rio de Janeiro : Monografia de conclusão de curso da PUC-Rio, 2010.

**Wagner, D.T. 2009.** *Caracterização automática de aglomerados de minério de ferro*. Rio de Janeiro : Anais-XVII Seminário de iniciação científica da PUC-Rio no campus da Universidade, 2009.

**Wagner, D.T., et al. 2009.** *Caracterização de pelotas de minério de ferro por microscopia digital e análise de imagens*. São Paulo : s.n., 2009.

**Zeiss.** *Microscopy from the very beginning*. [Online] [Citado em: 15 de 05 de 2010.] <http://www.zeiss.de/c1256b5e0047ff3f/Contents-Frame/19f3e708aa71288ec1256c3e0036605b>.

## 9

### Apêndice I

Neste apêndice será apresentada a rotina automática para quantificação de ferro metálico e desenvolvimento dos mapas de porosidade de ferro metálico. Ao final, serão apresentadas quatro imagens-mosaico, mapas de porosidade e mapas de ferro metálico, para cada tipo de redutor – finos de carvão mineral e CVP, referentes aos briquetes com 20 mm e 25 mm de espessura e 20 min e 40 min de redução.

Para quantificação do ferro metálico, desenvolvimento dos mapas de porosidade e ferro metálico, foi confeccionado um script no programa AxioVision, que segue os seguintes passos:

1) *Open Image:*

*Output = Original*

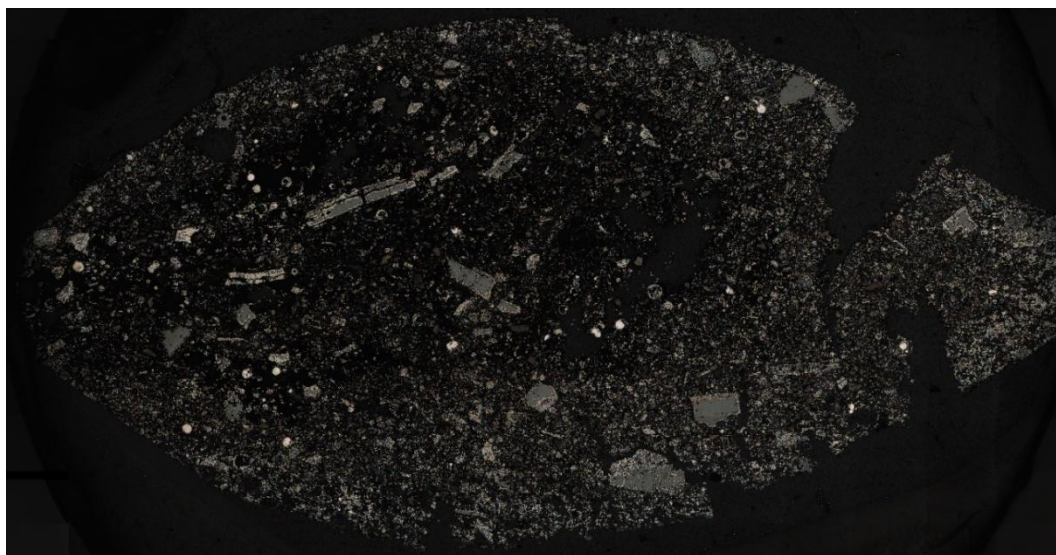


Figura 56 – Original como resultado do comando Open Image

## 2) *Split RGB Extractions:*

*Input = Original*

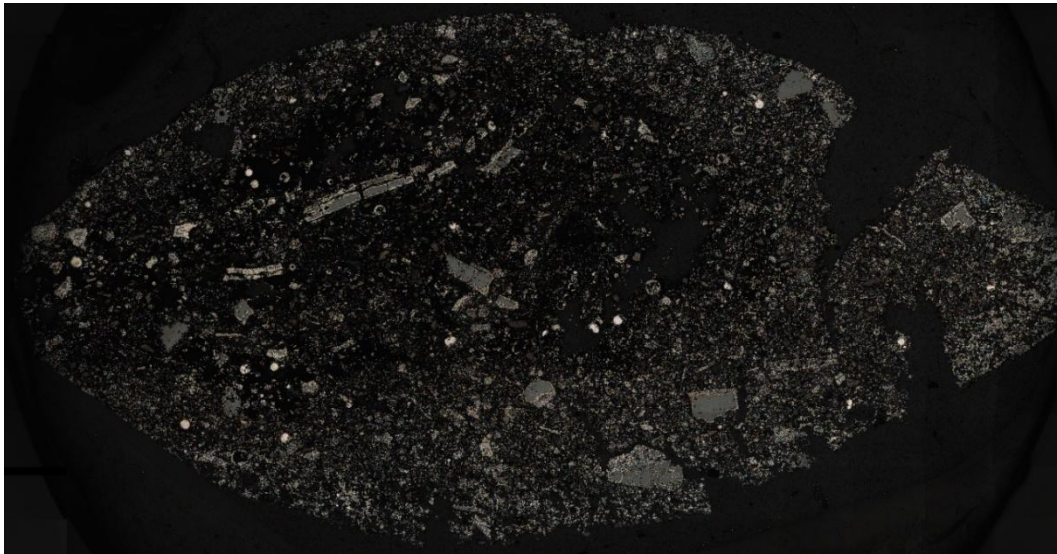


Figura 57 – Original como Input do comando Split RGB Extractions

*Output 1 = Red Channel*

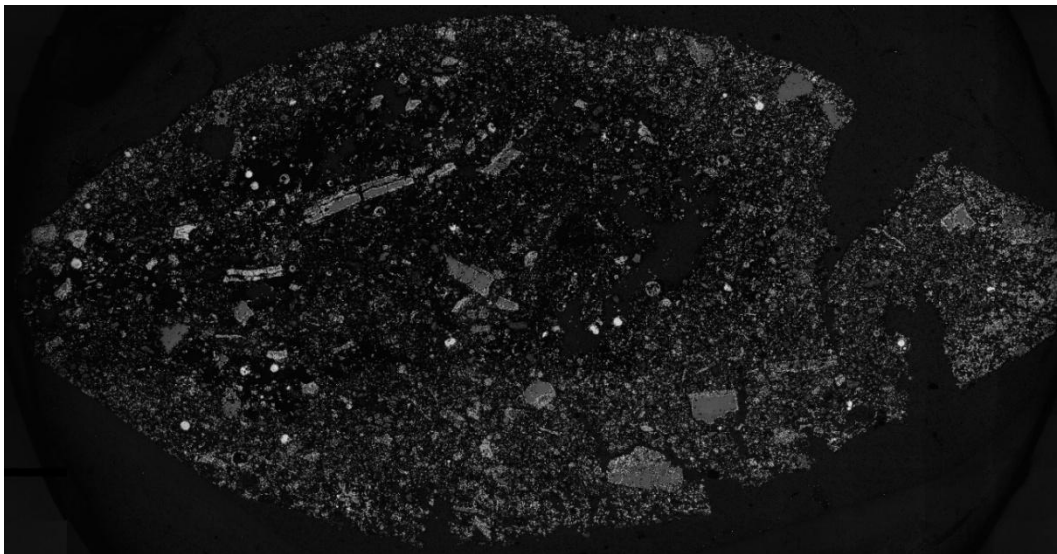


Figura 58 – Red Channel como output 1 do comando Split RGB Extractions

*Output 2 = Green Channel*

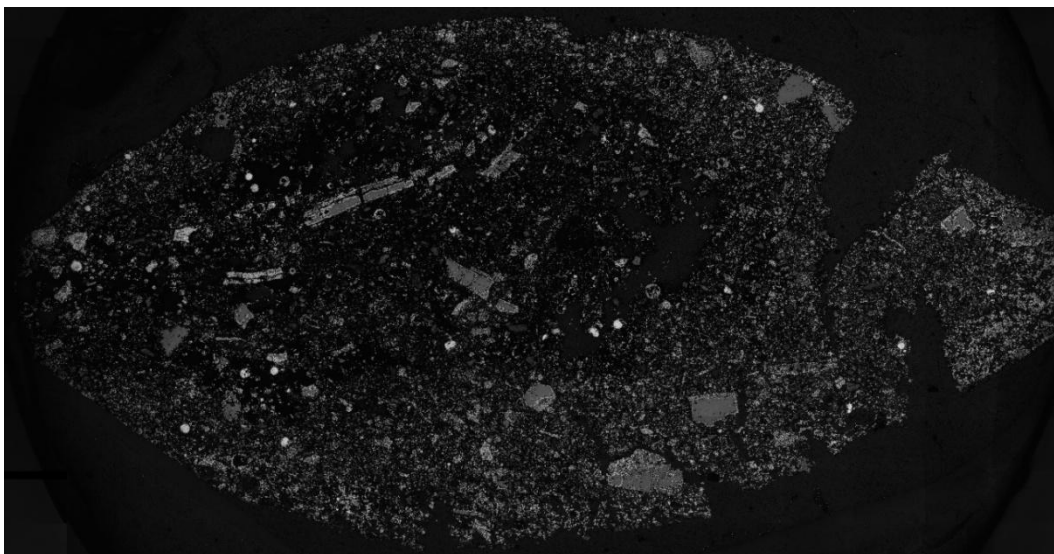


Figura 59 – Green Channel como output 2 do comando Split RGB Extractions

*Output 3 = Blue Channel*

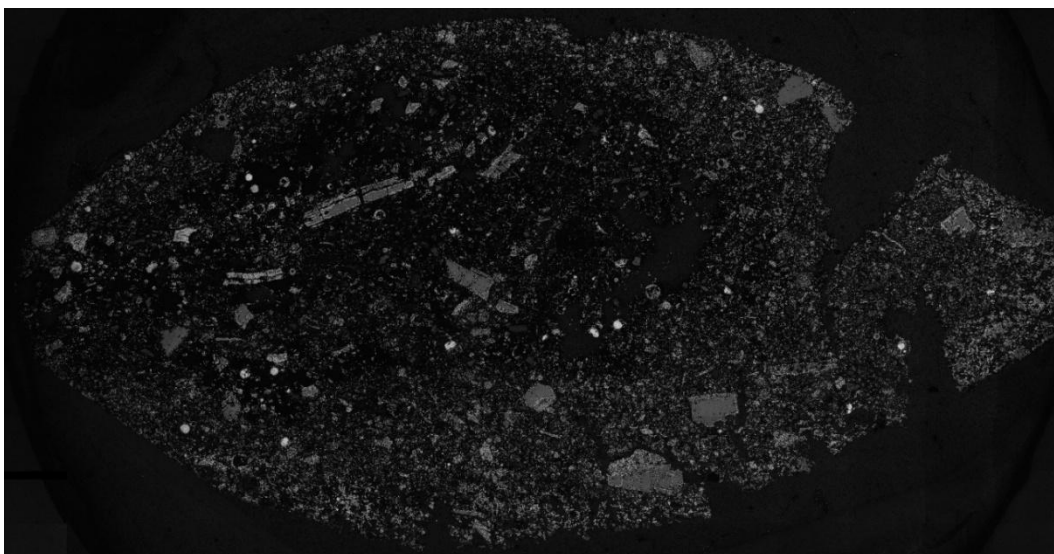


Figura 60 – Blue Channel como output 3 do comando Split RGB Extractions



### 3) *Delineate*:

*Input* = Red Channel

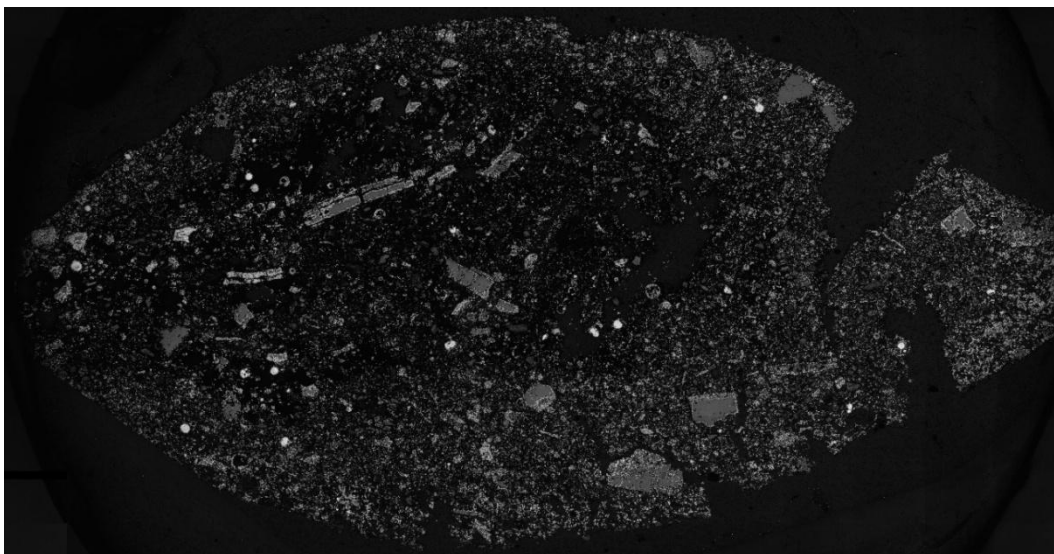


Figura 61 – Red Channel como input do comando Delineate

*Output* = Delineated Image

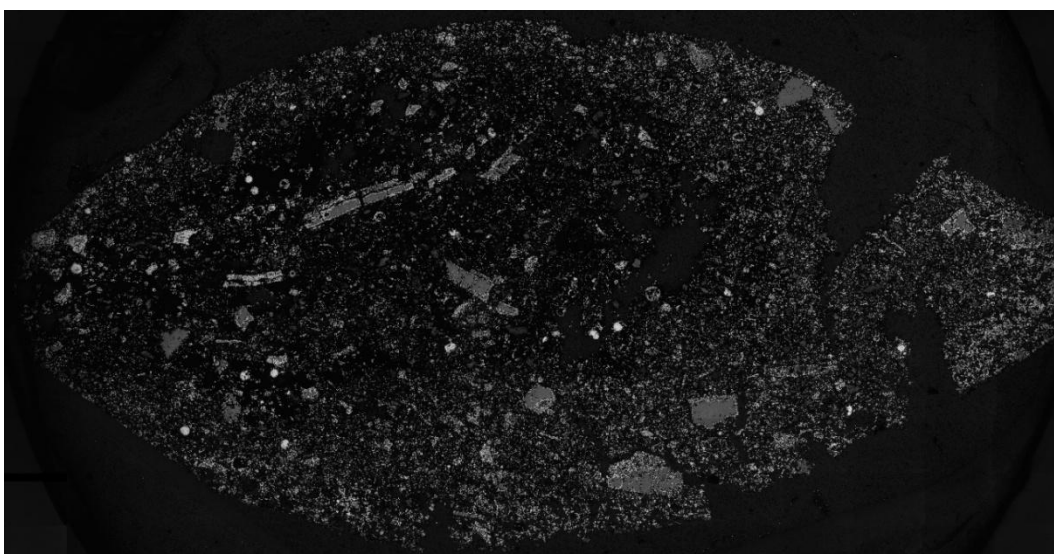


Figura 62 – Delineated Image como output do comando Delineate

#### 4) *Thresholds Interactive:*

*Input = Delineated Image*

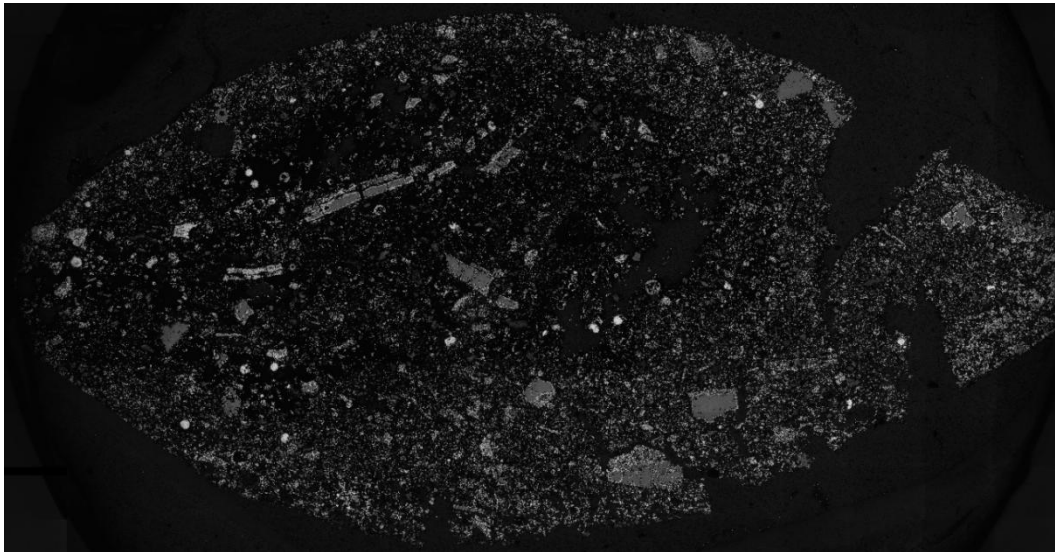


Figura 63 – Delineated Image como input do comando Thresholds Interactive

*Level Low= 0*

*Level High = 29*

*Output = Fases Sólidas*

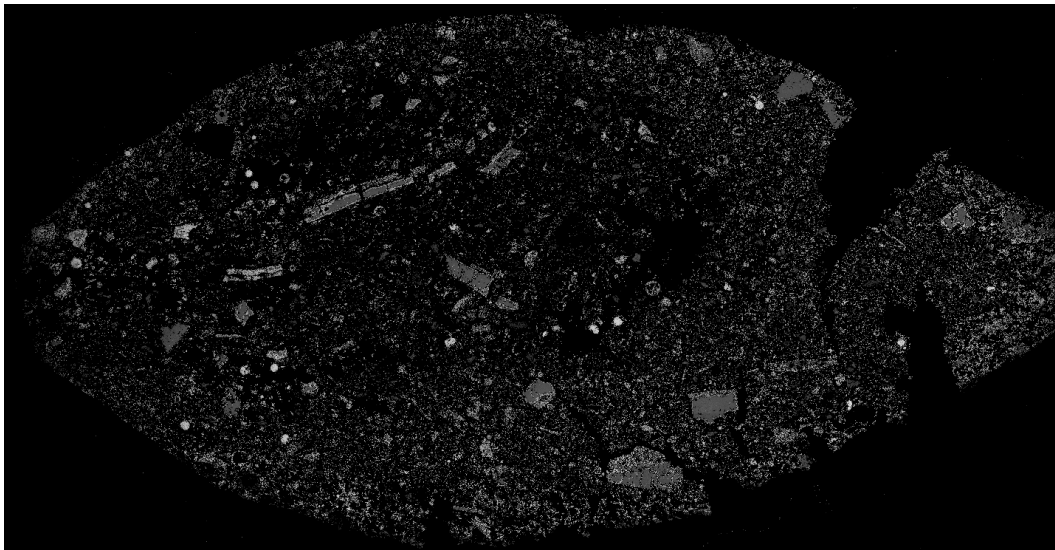


Figura 64 – Fases Sólidas como output do comando Thresholds Interactive



5) *Thresholds Interactive*:

*Input* = Fases Sólidas

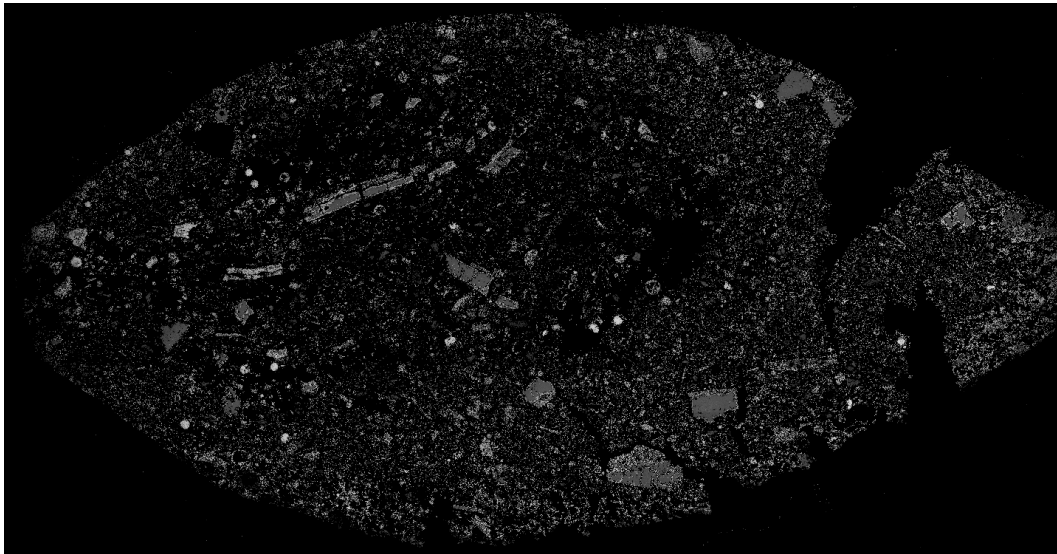


Figura 65 – Fases Sólidas como input do comando Thresholds Interactive

*Level Low* = 0

*Level High* = 1

*Output* = Fundo

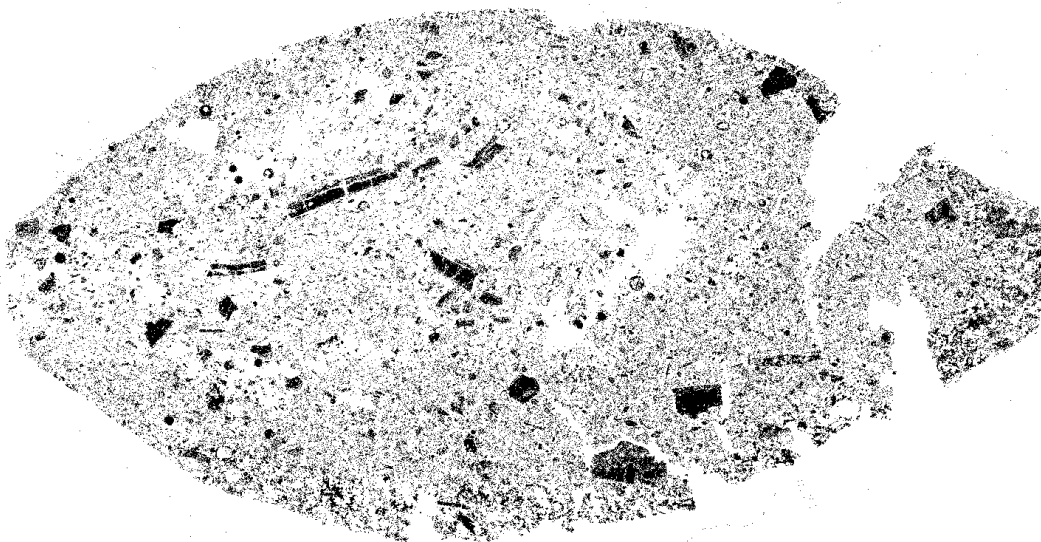


Figura 66 – Fundo como output do comando Thresholds Interactive

6) *Thresholds Interactive:*

*Input = Fases Sólidas*

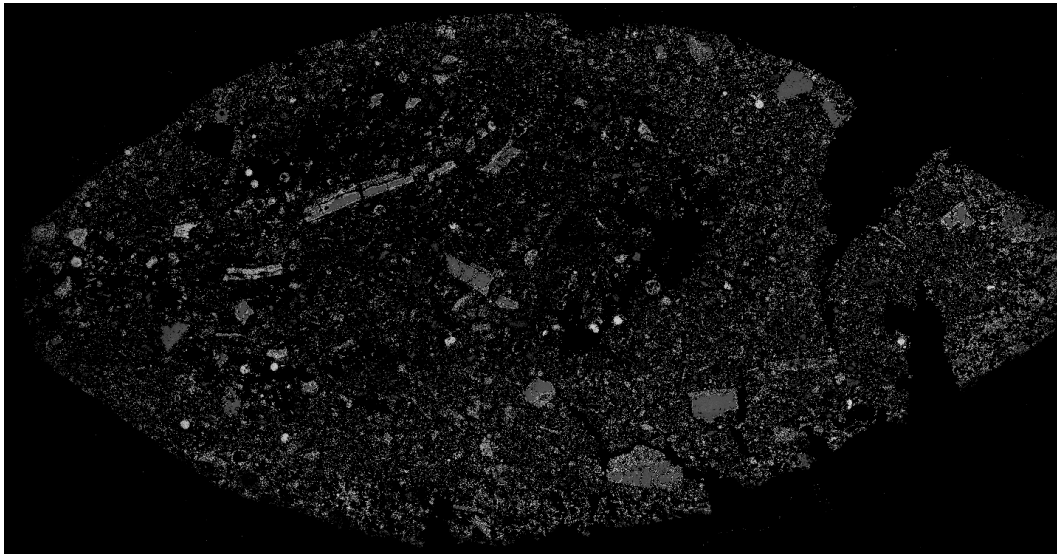


Figura 67 – Fases Sólidas como input do comando Thresholds Interactive

*Level Low = 111*

*Level High = 255*

*Output = Ferro Metálico*

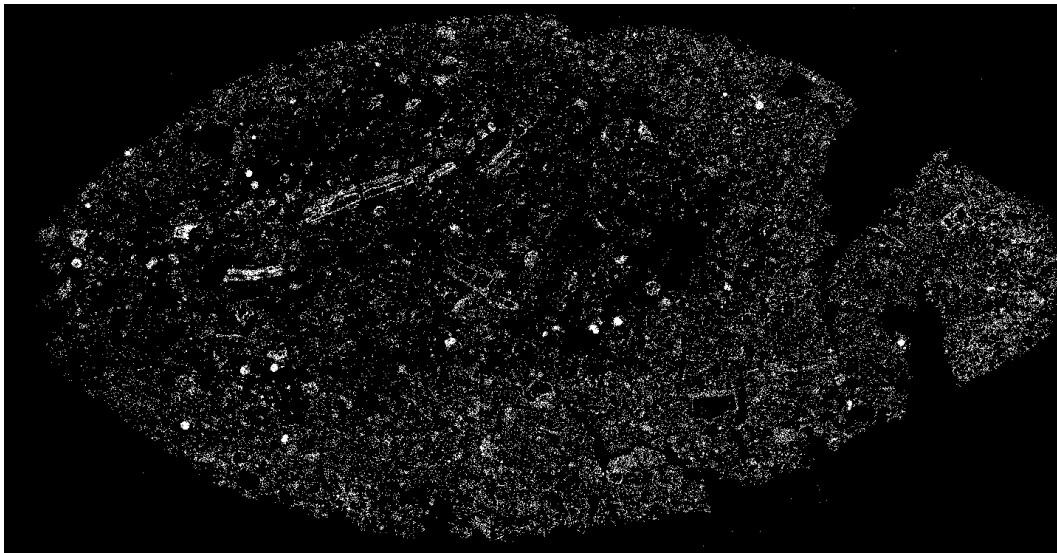


Figura 68 – Ferro Metálico como output do comando Thresholds Interactive

7) *Lowpass*:

*Input* = Ferro Metálico

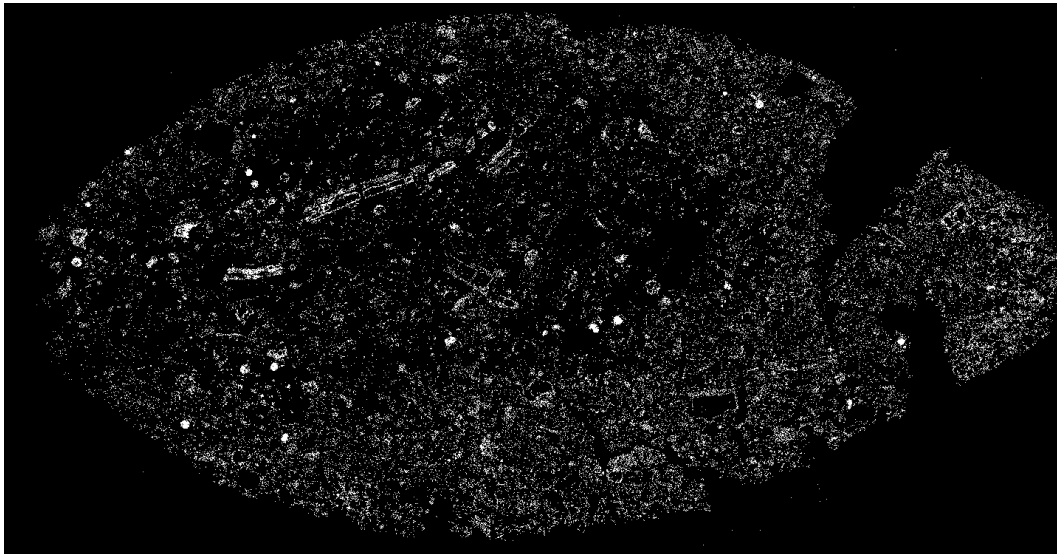


Figura 69 – Ferro Metálico como input do comando Lowpass

*Kernel Size X* = 51

*Kernel Size Y* = 51

*Kernel Size Z* = 1

*Count* = 1

*Output* = Ferro Metálico Borrada

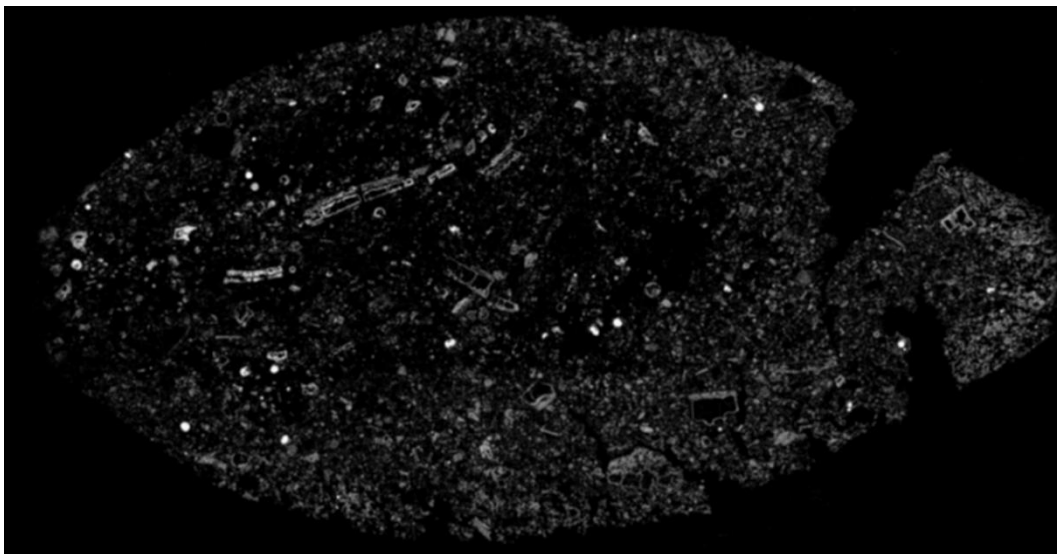


Figura 70 – Ferro Metálico Borrada como output do comando Lowpass

8) *Lowpass*:

*Input* = Fases Sólidas

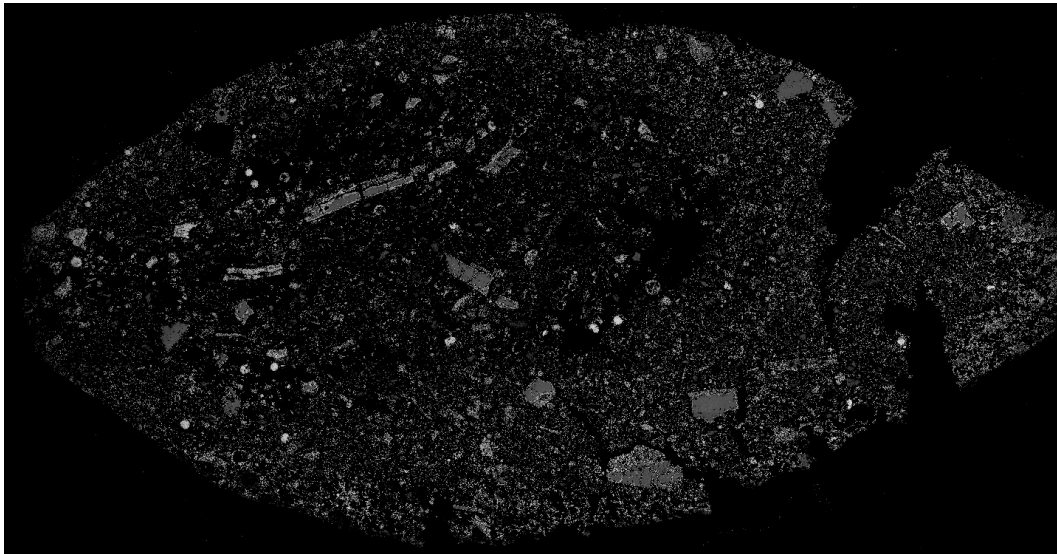


Figura 71 – Fases Sólidas como input do comando Lowpass

*Kernel Size* X = 51

*KernelSize* Y = 51

*Count* = 1

*Output* = Briquete Borrada

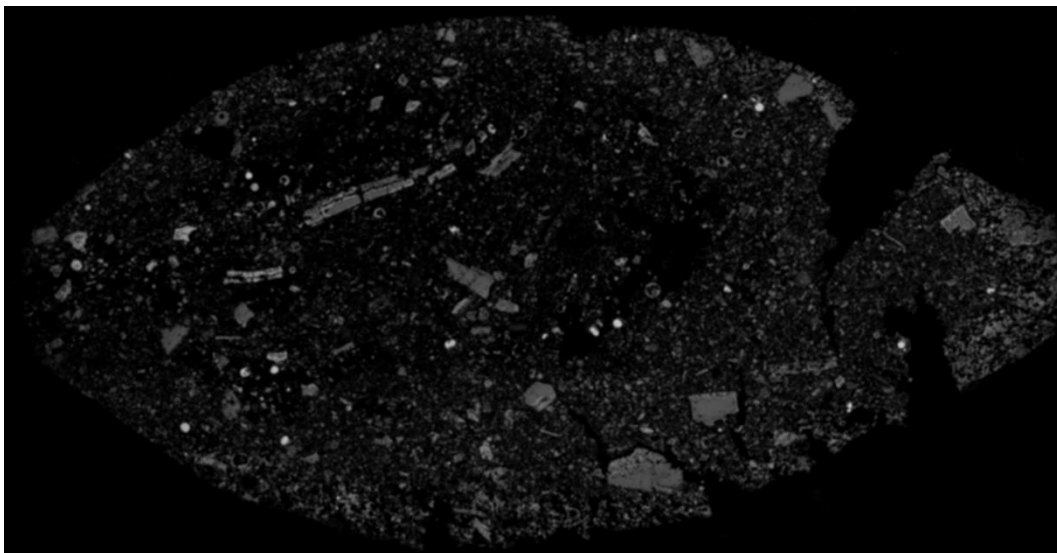


Figura 72 – Briquete Borrada como output do comando Lowpass

9) *Threshold Interactive:*

*Input = Briqueite Borrada*

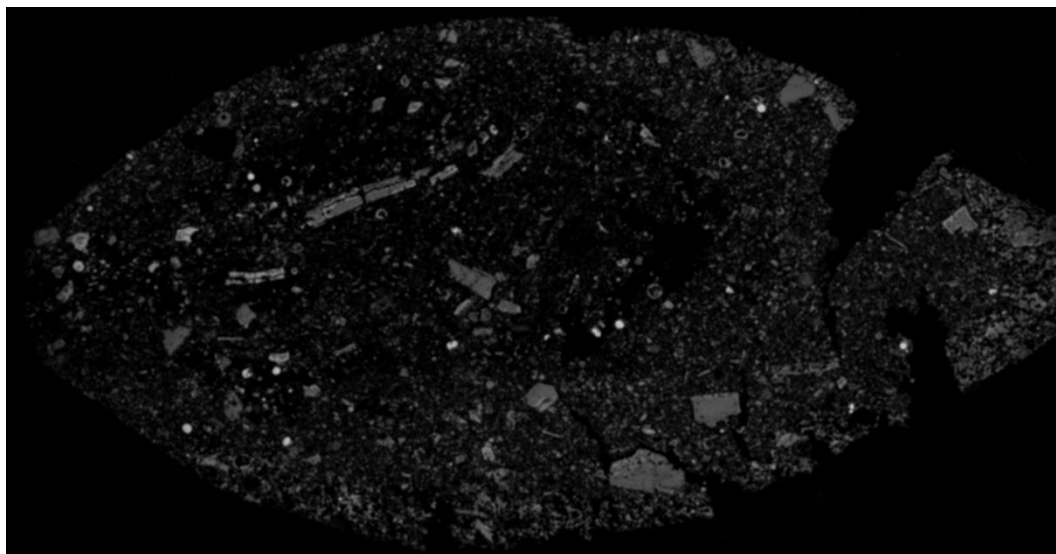


Figura 73 – Briqueite Borrada como input do comando Thresholds Interactive

*Level Low = 2*

*Level High = 255*

*Output = Binária Briqueite Borrada*

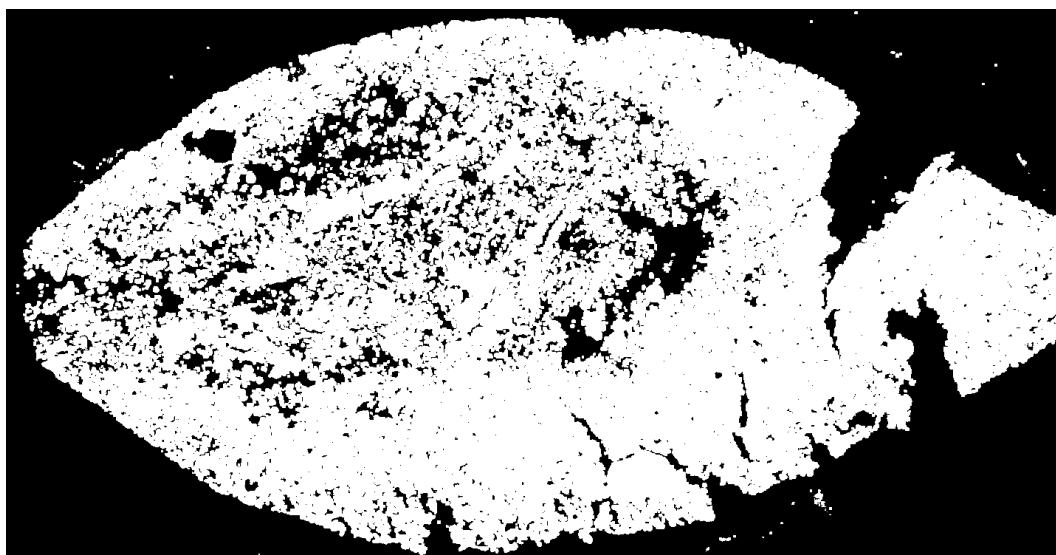


Figura 74 – Binária Briqueite Borrada como output do comando Thresholds Interactive

10) *Close*:

*Input* = Binária Briquete Borrada

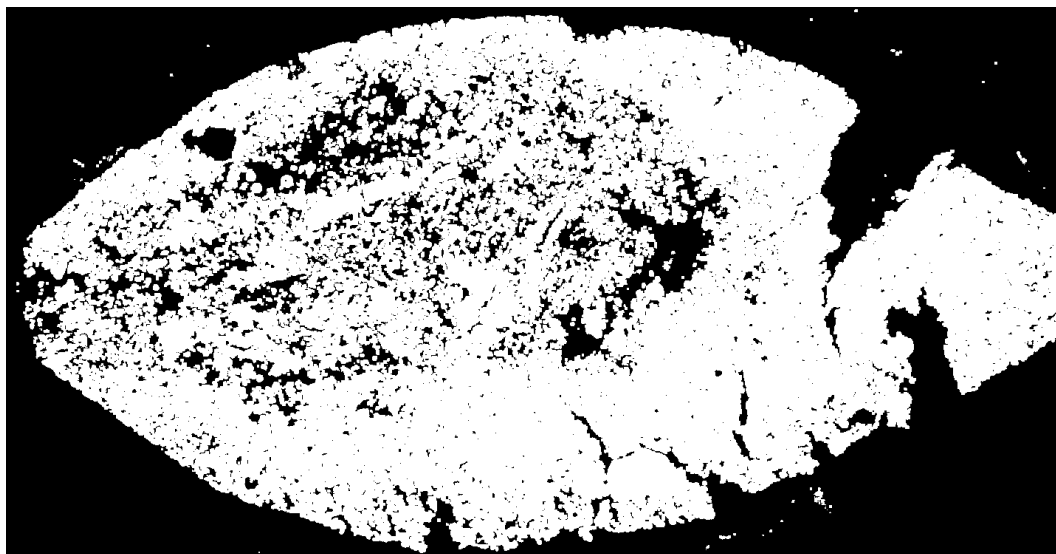


Figura 75 – Binária Briquete Borrada como input do comando Close

*Structuring Element* = Cross

*Cont* = 16

*Output* = Close Binária Briquete Borrada

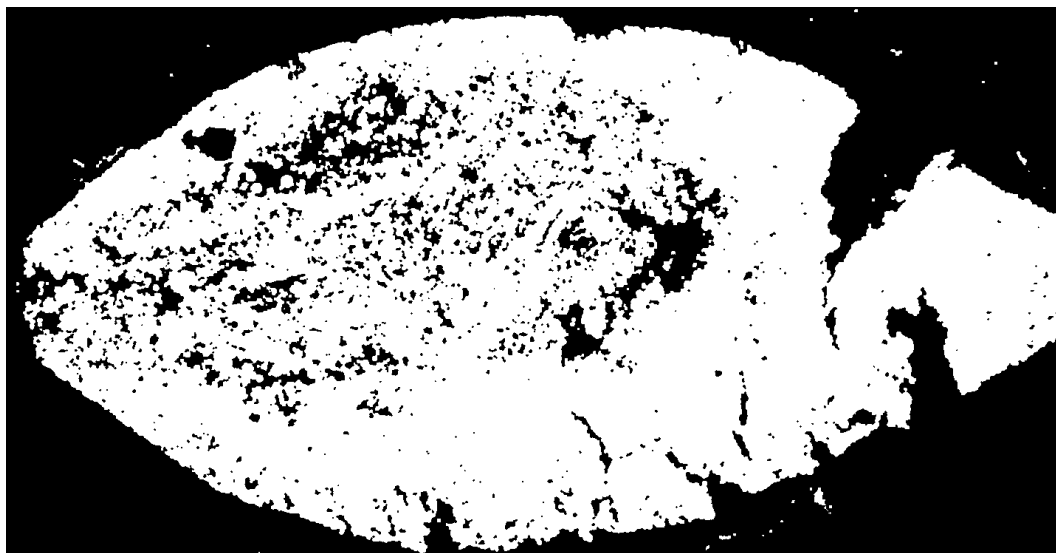


Figura 76 – Close Binária Briquete Borrada como output do comando Close



11) *Clean*:

*Input* = Close Binária Briquete Borrada

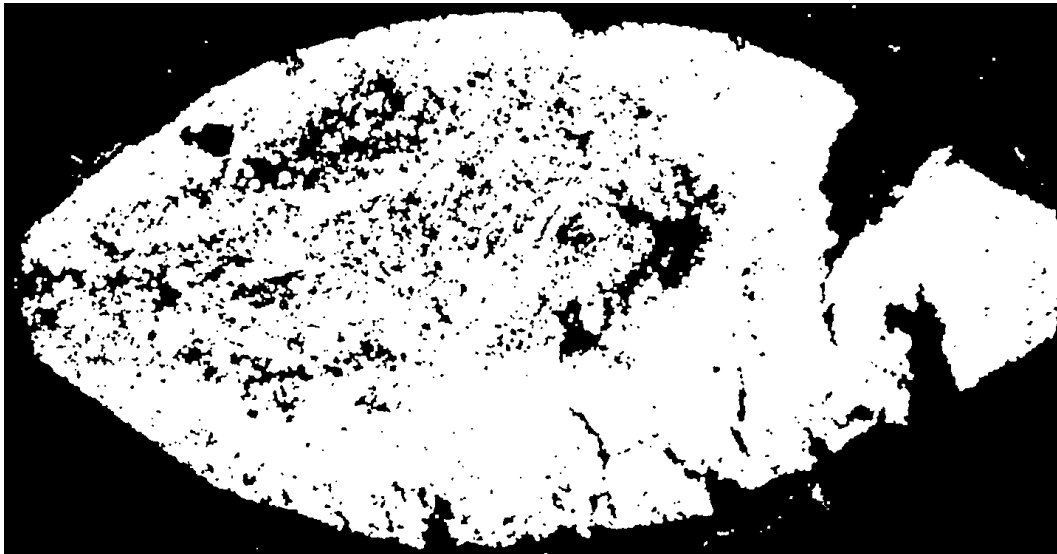


Figura 77 – Close Binária Briquete Borrada como input do comando Clean

*MinArea* = 1

*MaxArea* = 5000

*Fill* = yes

*Output* = Máscara Briquete



Figura 78 – Máscara Briquete como output do comando Clean

12) *Load Measurement Properties:*

BqtMedeArea.zma

13) *Start Measurement:*

*Dens Image* = Red Channel

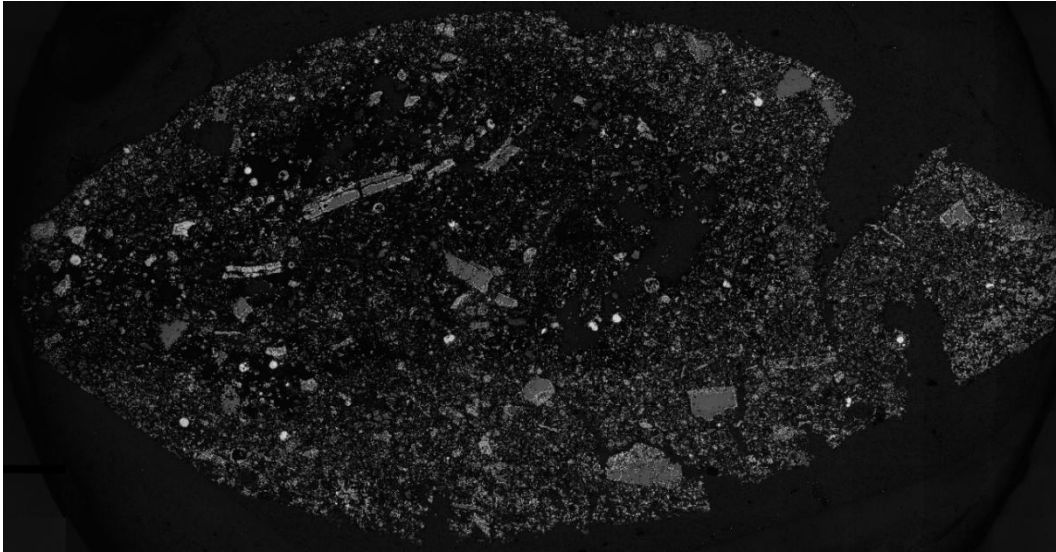


Figura 79 – Red Channel como DensImage do comando Start Measurement

*Mask Image* = Máscara Briquete



Figura 80 – Máscara Briquete como Mask Image do comando Start Measurement

*Table:* Máscara Briquete

%aMáscaraBriquete = 530447275.49  $\mu\text{m}$

14) *Start Measurement*:

*Dens Image* = Red Channel

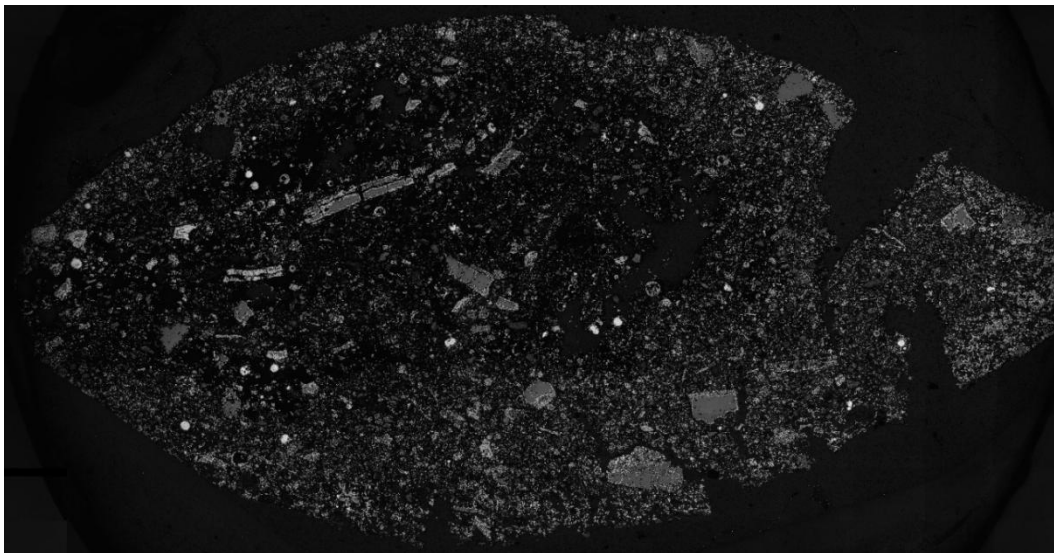


Figura 81 – Red Channel como Dens Image do comando Start Measurement

*Mask Image* = Ferro Metálico

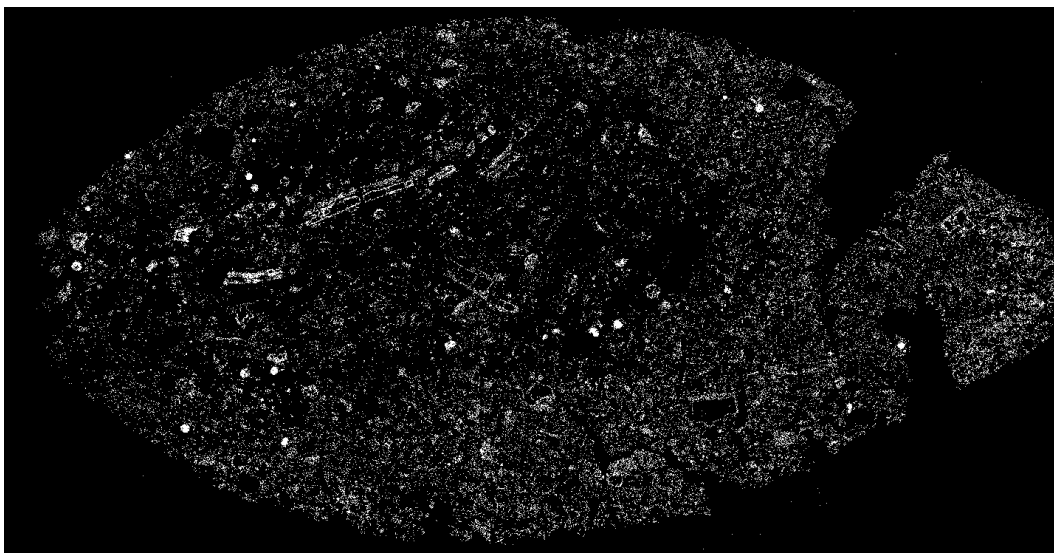


Figura 82 – Ferro Metálico como Mask Image do comando Start Measurement

*Table*: Ferro Metálico

$$\%aFerroMetálico = 34691530.58 \mu m$$

15) *Calculate table columns:*

*Input table 1 = Ferro Metálico*

$$\text{Área de Ferro Metálico} = 34691530.58 \mu m$$

*Input table 2 = Máscara Briquete*

$$\text{Área de Máscara Briquete} = 530447275.49 \mu m$$

*Output table = Fração Ferro Metálico a partir de Máscara Briquete*  
Poros Fechados

$$\%aFerroMetálicoPorosFechados = 8.02 \%$$

16) *Not*:

*Input* = Fundo

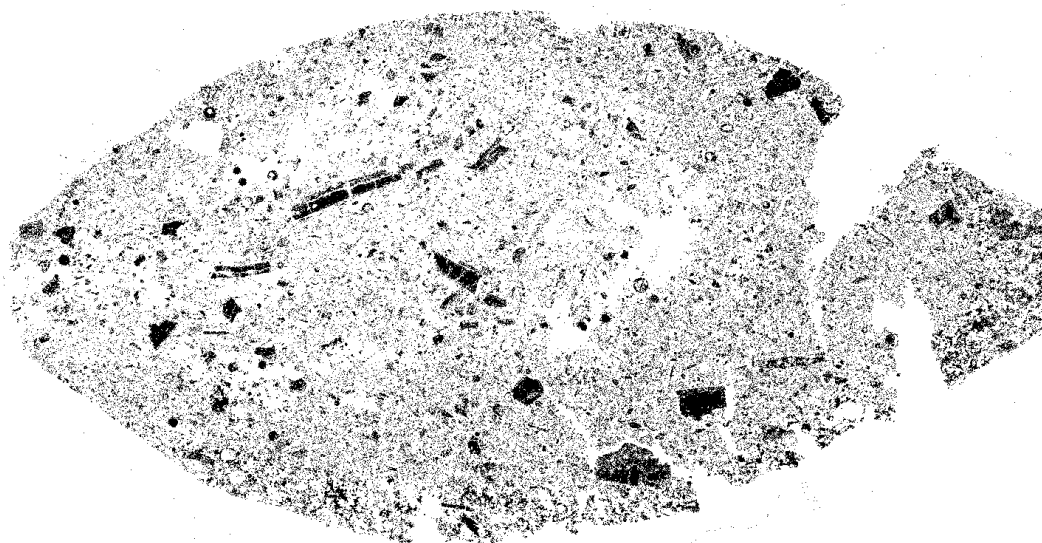


Figura 83 – Fundo como input do comando Not

*Output* = Máscara Briquete Poros Abertos

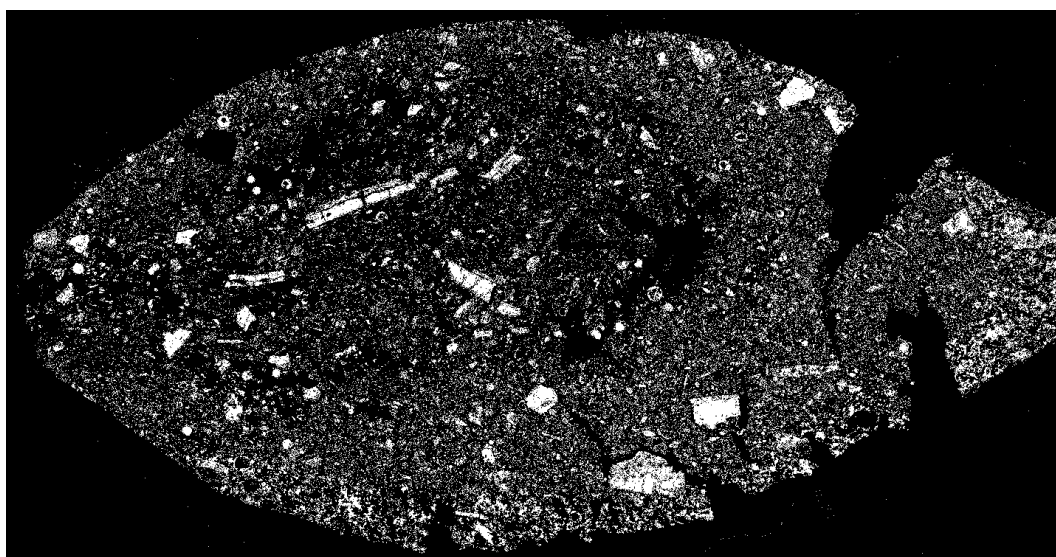


Figura 84 – Máscara Briquete Poros Abertos como output do comando Not

17) *Start Measurement:*

*Dens Image* = Red Channel

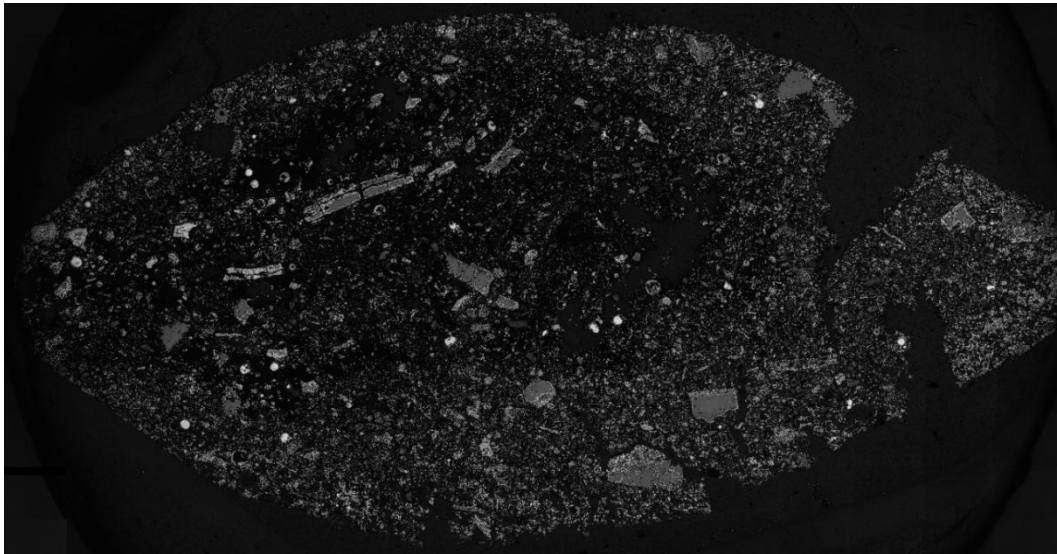


Figura 85 – Red Channel como Dens Image do comando Start Measurement

*Mask Image* = Máscara Briquete Poros Abertos

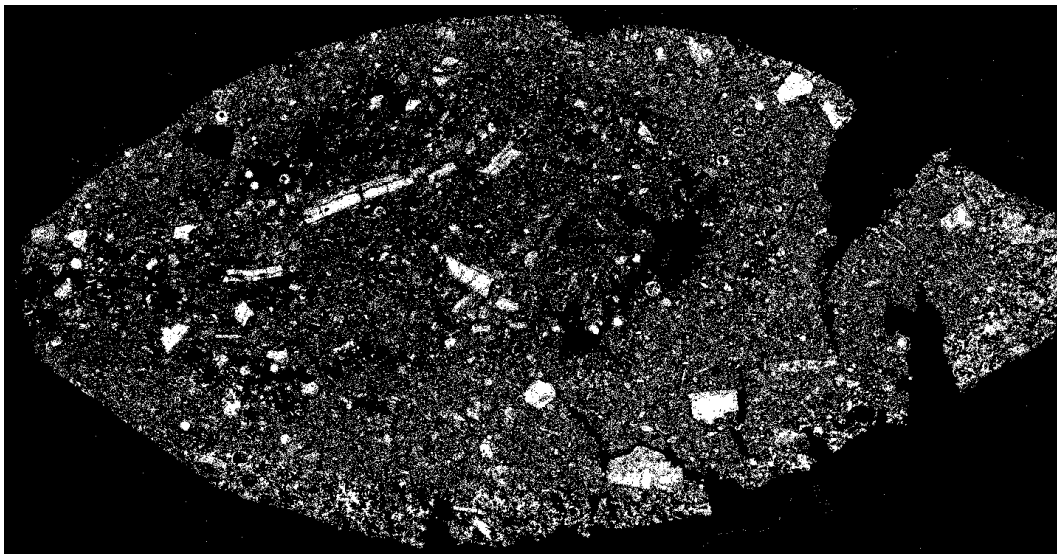


Figura 86 – Máscara Briquete Poros Abertos como Mask Image do comando Start Measurement

*Table:* Máscara Briquete Poros Abertos

Área Máscara Briquete Poros Abertos = 102033913.49  $\mu\text{m}$



18) *Calculate table Columns:*

*Input table 1 = Ferro Metálico*

Área de Ferro Metálico = 34691530.58  $\mu\text{m}$

*Input table 2 = Máscara Briquete Poros Abertos*

Área Máscara Briquete Poros Abertos = 102033913.49  $\mu\text{m}$

*Output table = Fração de Ferro Metálico a partir de Máscara  
Briquete Poros Abertos*

%aFerroMetálicoPorosAbertos = 34.00

19) *Close*:

*Input* = Máscara Briquete Poros Abertos

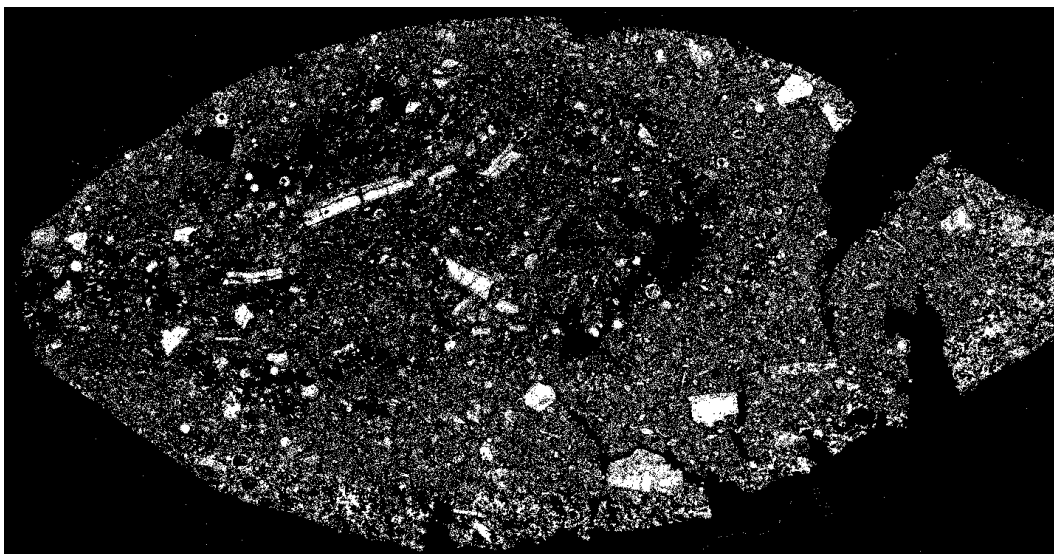


Figura 87 – Máscara Briquete Poros Abertos como input do comando Close

*Structuring Element: Cross*

*Count: 5*

*Output* = Close Máscara Briquete Poros Abertos

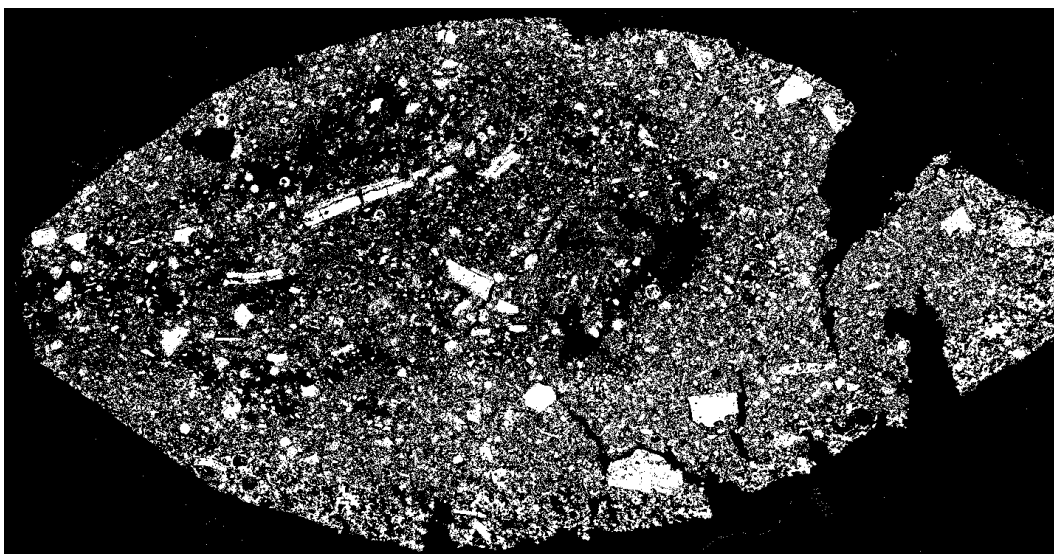


Figura 88 – Close Máscara Briquete Poros Abertos como output do comando Close

20) *Not*:

*Input* = Close Máscara Briquete Poros Abertos

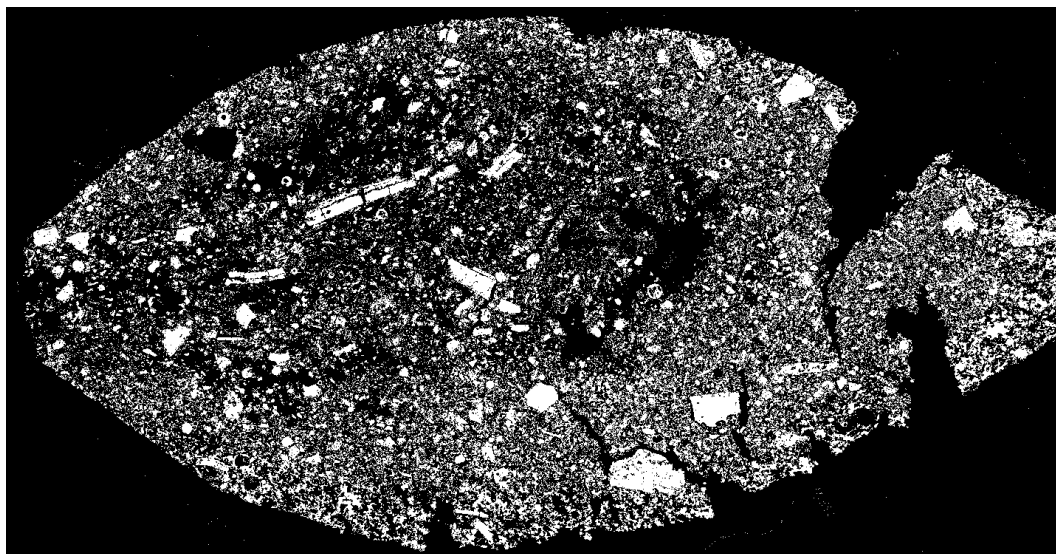


Figura 89 – Close Máscara Briquete Poros Abertos como input do comando Not

*Output* = Poros + Resina

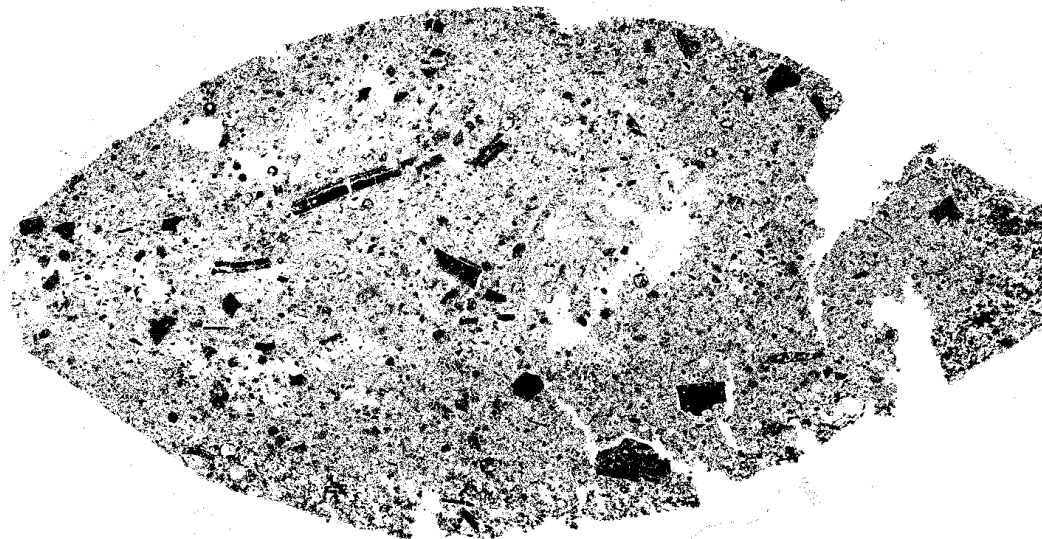


Figura 90 – Poros + Resina como output do comando Not

21) *And*:

*Input 1 = Poros + Resina*

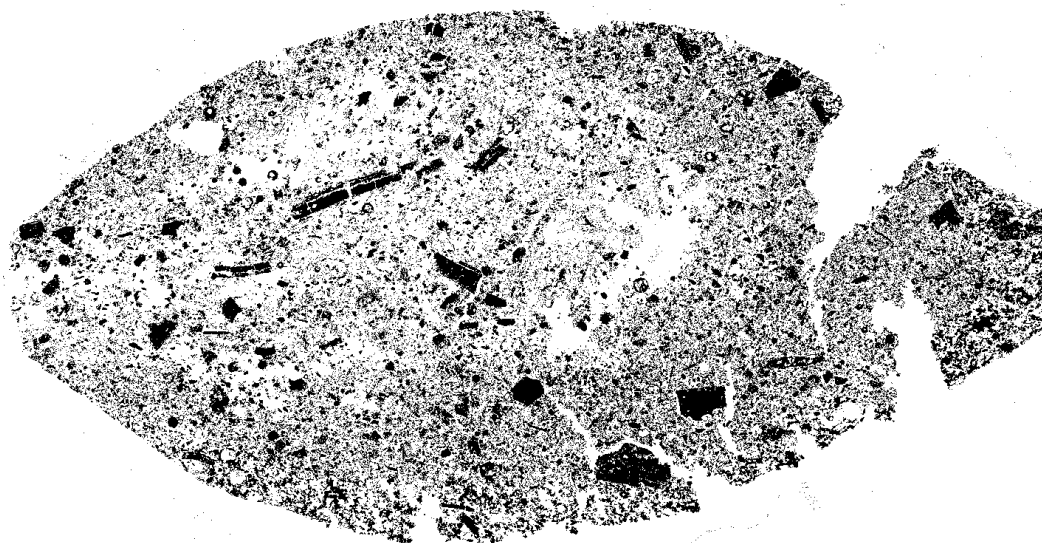


Figura 91 – Poros + Resina como input 1 do comando And

*Input 2 = Máscara Briquete*



Figura 92 – Máscara Briquete como input 2 do comando And

*Output = Poros*

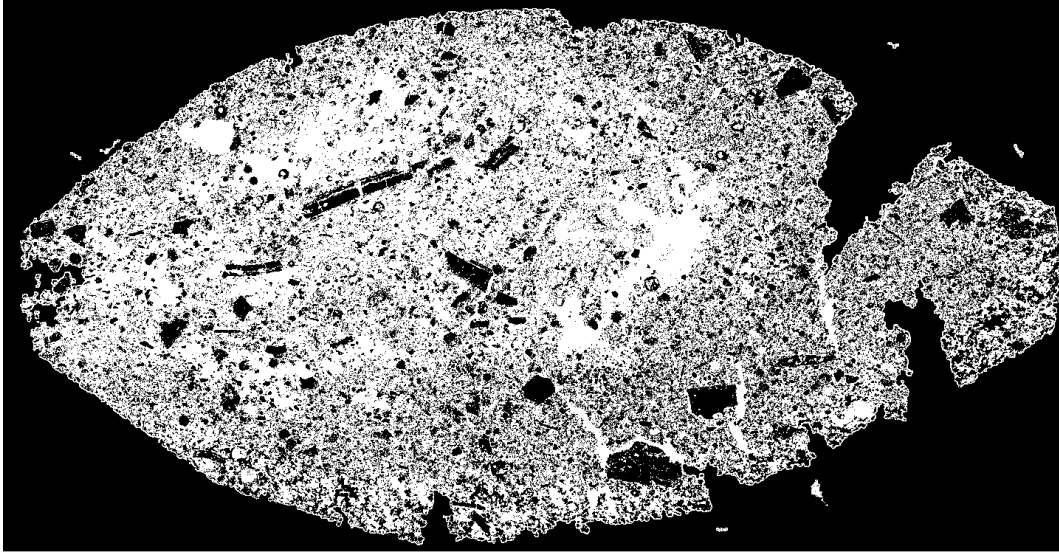


Figura 93 – Poros como output do comando And

22) *Multiply Constant*:

*Input* = Ferro Metálico Borrada

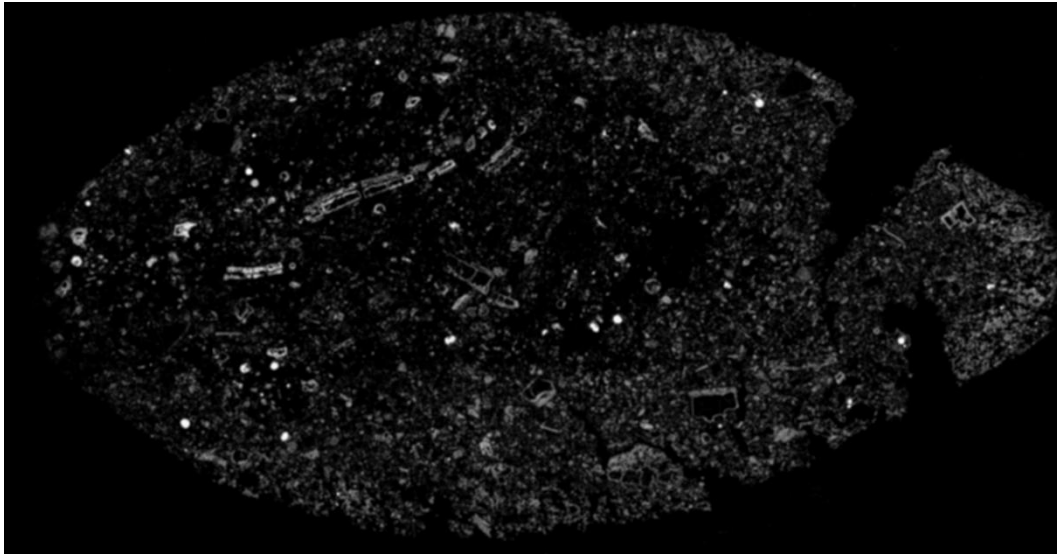


Figura 94 – Ferro Metálico Borrada como input do comando Multiply Constant

*Factor* = 0.78

*Output* = Ferro Metálico Borrada Intensidade Ajustada

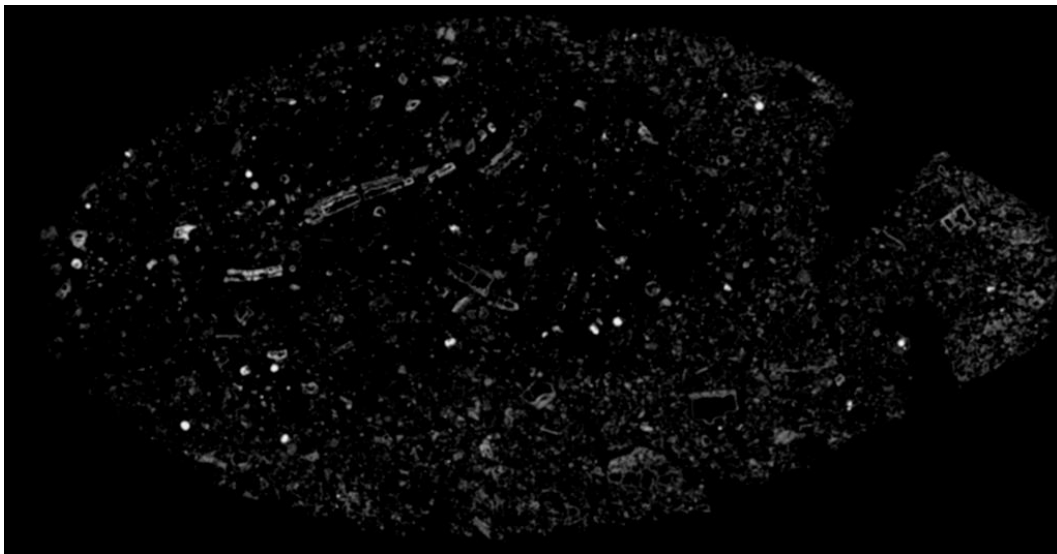


Figura 95 – Ferro Metálico Borrada Intensidade Ajustada como output do comando Multiply Constant



23) *Load Look-up Table*:

*Image* = Ferro Metálico Borrada Intensidade Ajustada

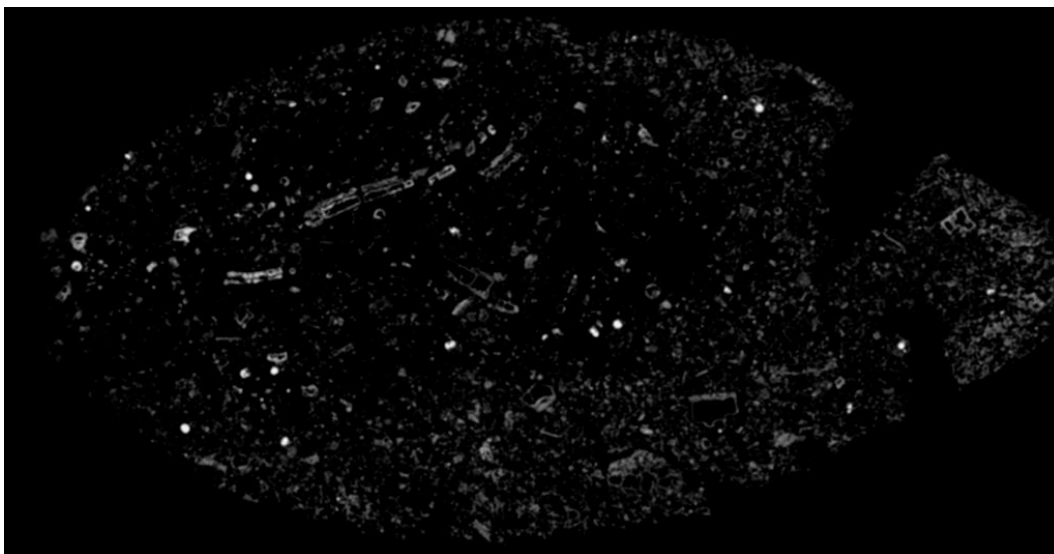


Figura 96 – Ferro Metálico Borrada Intensidade Ajustada como Image do comando Load Look-up Table

*Output* = Rainbow.col

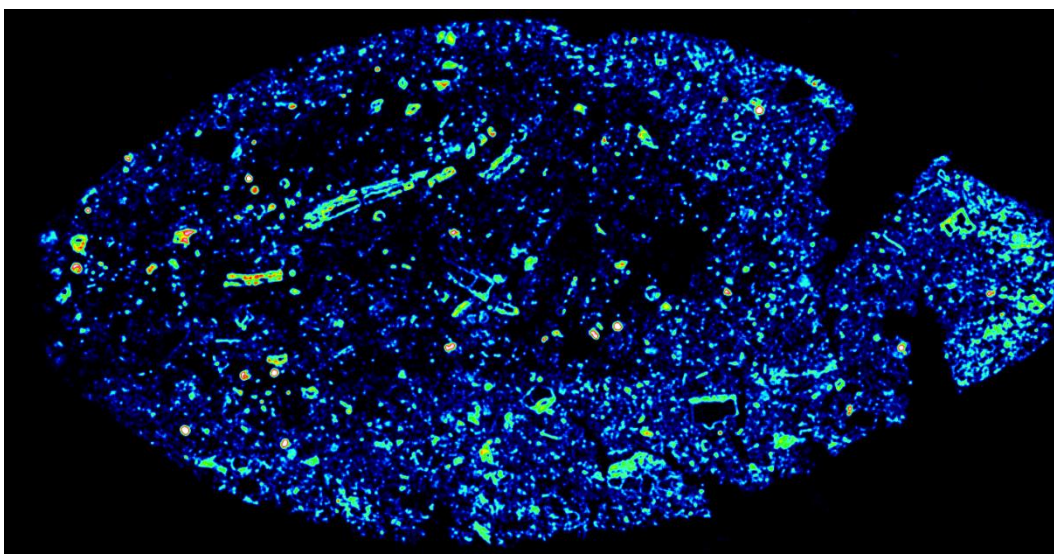


Figura 97 – Mapa de Ferro Metálico como output do comando Load Look-up Table

24) *Lowpass*:

*Input = Poros*

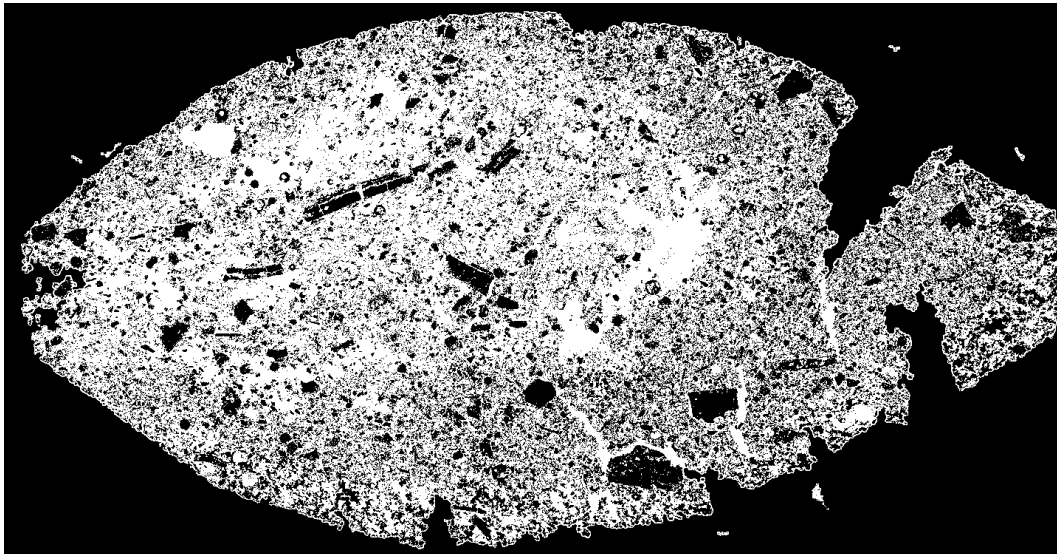


Figura 98 – Poros como input do comando Lowpass

*Kernel Size X = 101*

*Kernel Size Y = 101*

*Count = 2*

*Output = Poros Borrada*

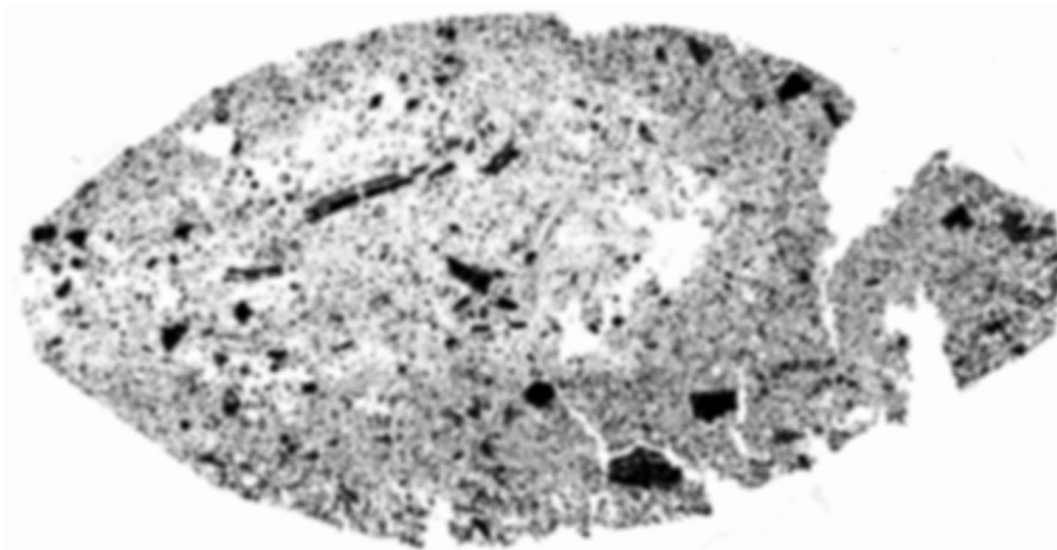


Figura 99 – Poros Borrada como output do comando Lowpass

25) *Multiply Constant:*

*Input = Poros Borrada*

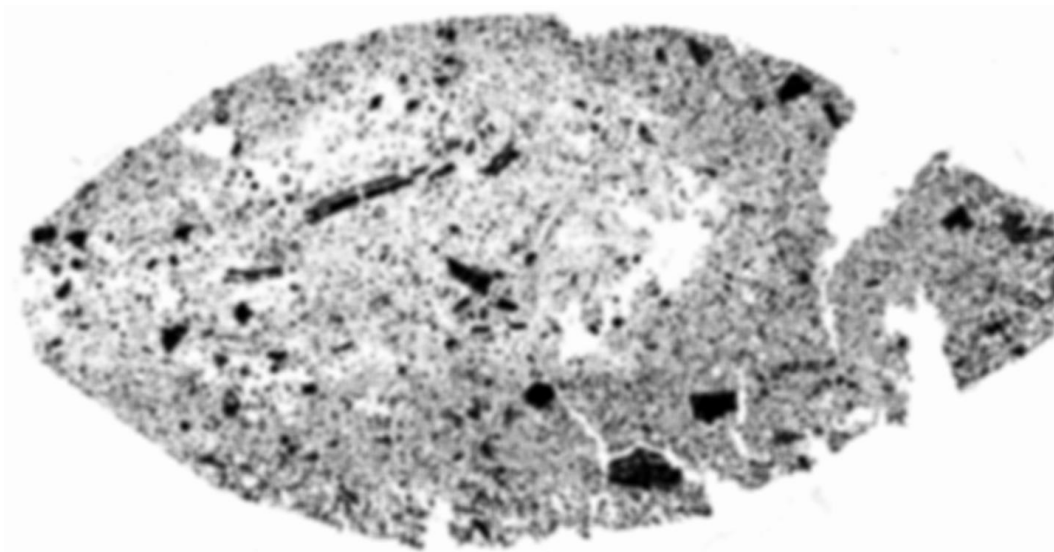


Figura 100 – Poros Borrada como input do comando Multiply Constant

*Factor = 0.78*

*Output = Poros Borrada Intensidade Ajustada*

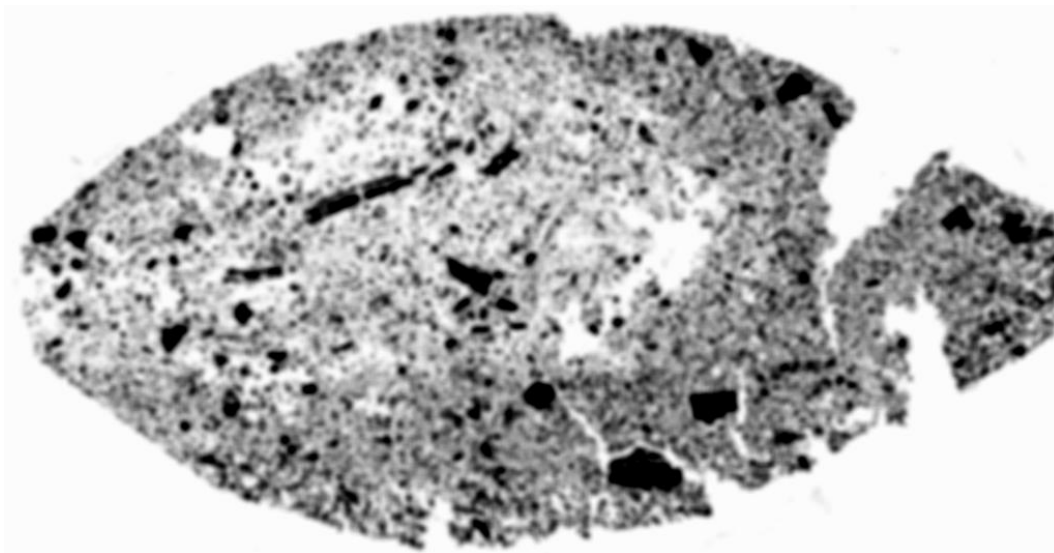


Figura 101 – Poros Borrada Intensidade Ajustada como output do comando Multiply Constant

26) *Load Look-up Table:*

*Input* = Poros Borrada Intensidade Ajustada

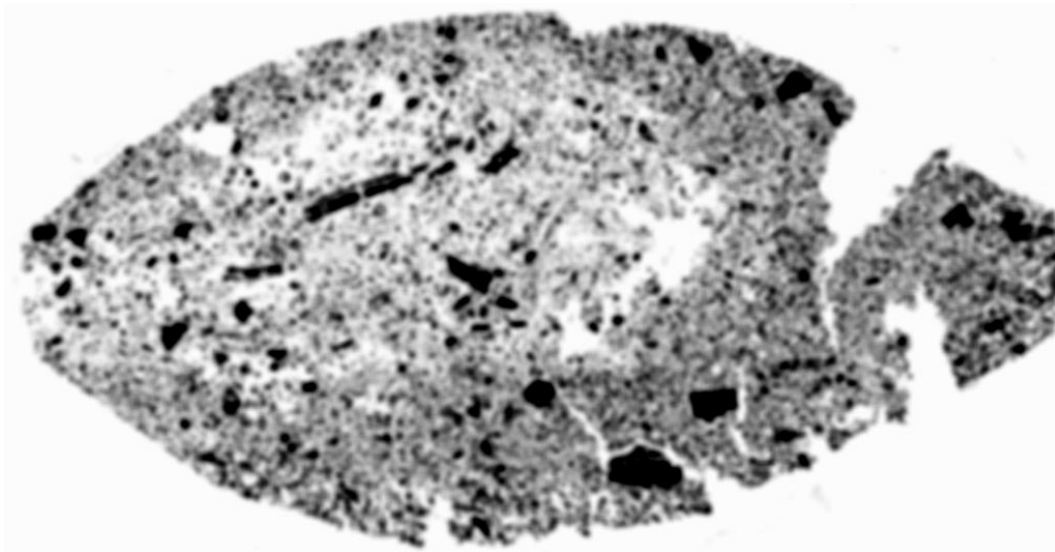


Figura 102 – Poros Borrada Intensidade Ajustada como input para o comando Load Look-up Table

*Output* = Rainbow.col

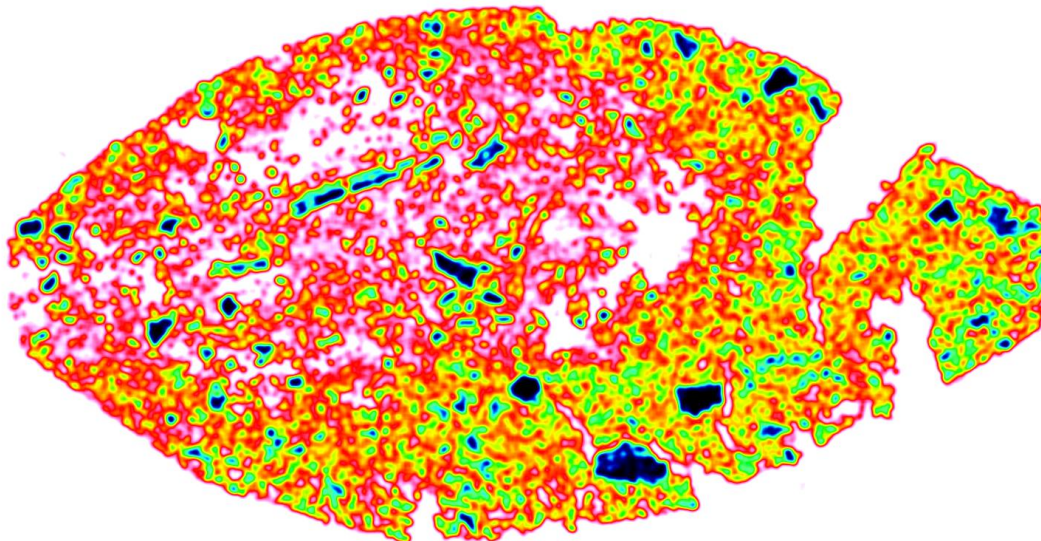


Figura 103 – Mapa de Porosidade como output do comando Load Look-up Table



27) *Combine RGB Extractions:*

*Input R = Poros*

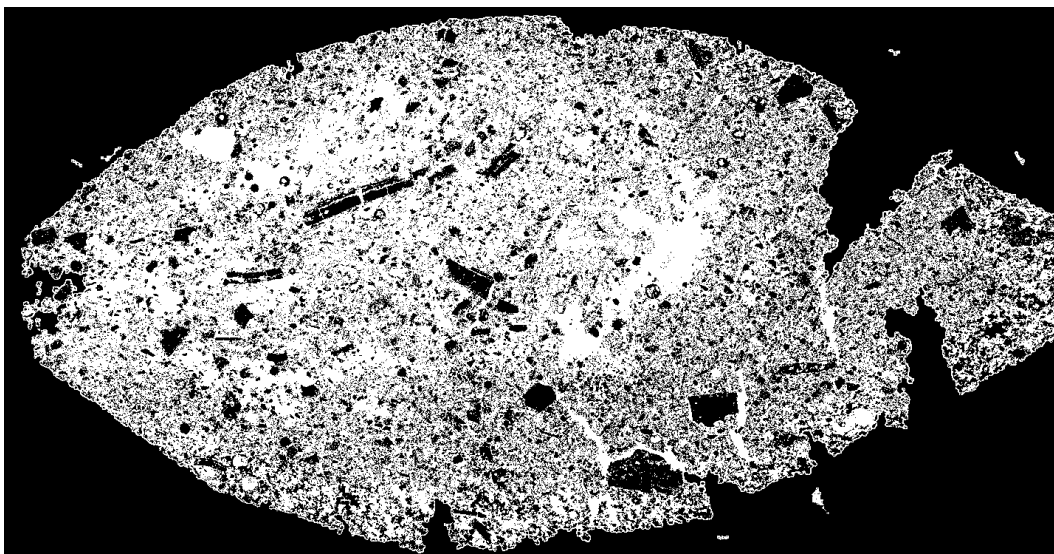


Figura 104 – Poros como input R do comando Combine RGB Extractions

*Input G = Ferro Metálico*

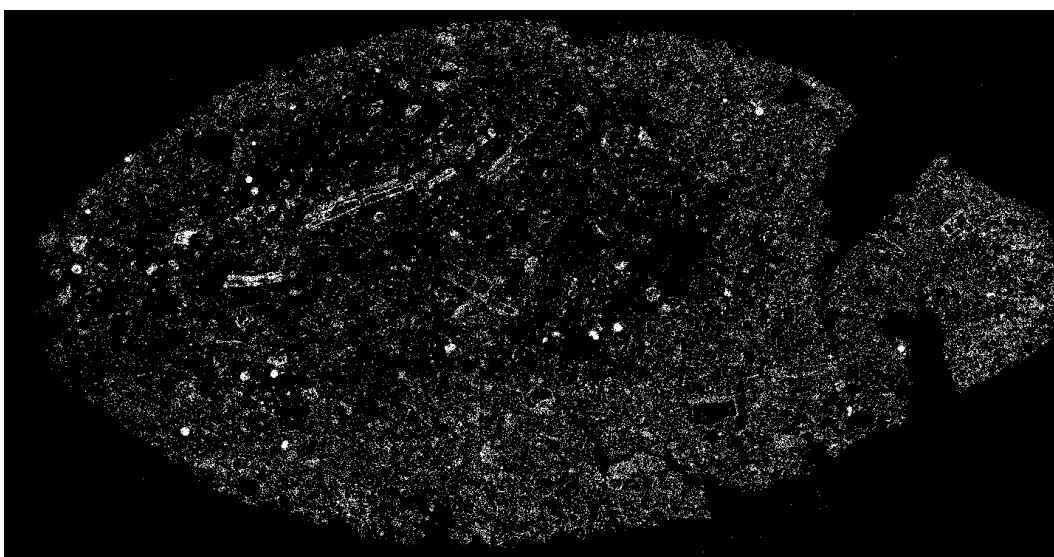


Figura 105 – Ferro Metálico como input G do comando Combine RGB Extractions

*Input B = Máscara Briquete*



Figura 106 – Máscara Briquete como input B do comando Combine RGB Extractions

*Output = Combined Channels Image*

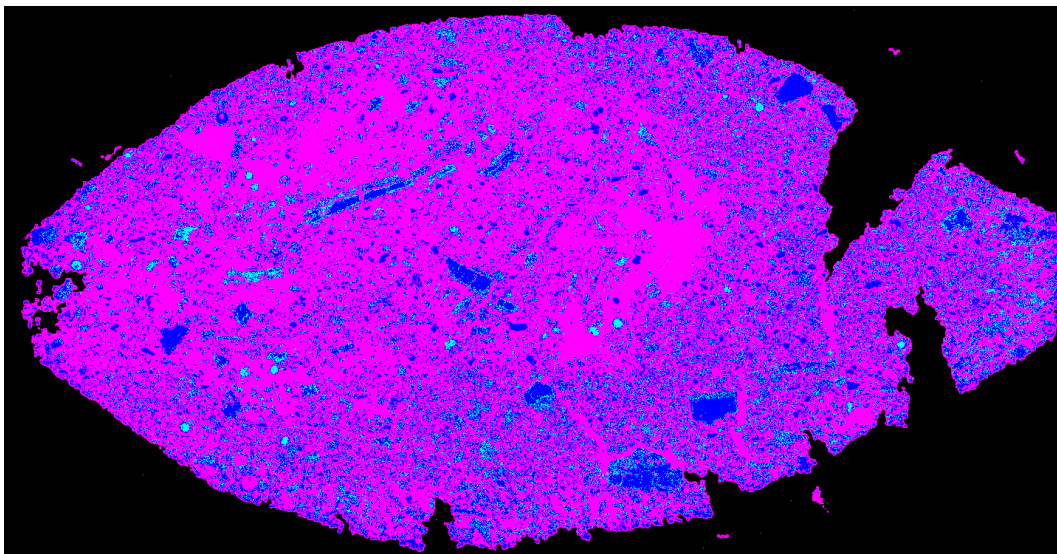


Figura 107 – Combined Channels Image como output do comando Combine RGB Extractions



Seguem, para cada tipo de redutor, as quatro imagens-mosaico, quatro mapas de porosidade e quatro mapas de ferro metálico resultantes do script desenvolvido.

1) Redutor CM:

a) 20 mm de espessura e 20 min de redução

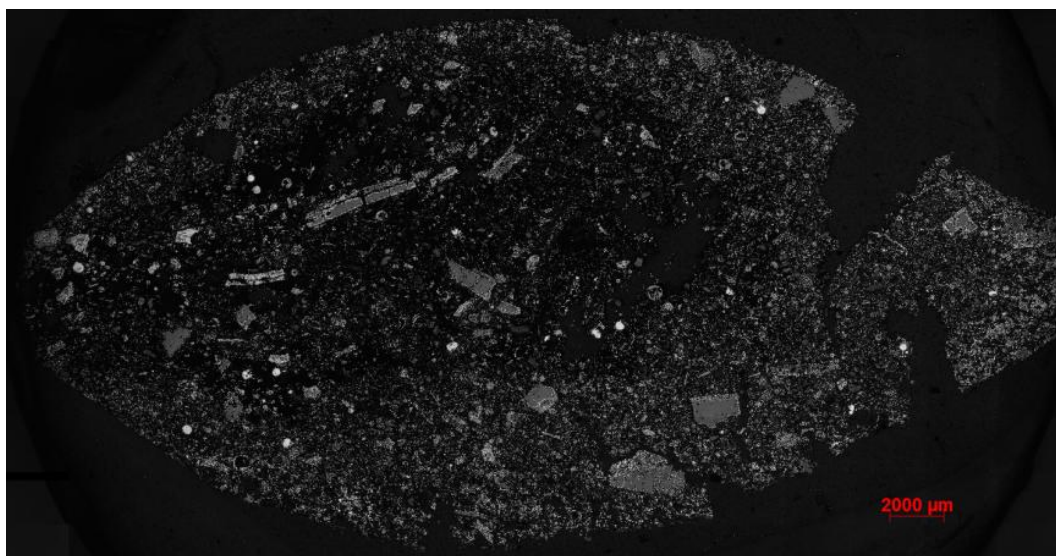


Figura 108 – Imagem-mosaico para as condições: CM, 20 mm e 20 min

Fe Metálico    Poros    Outras fases

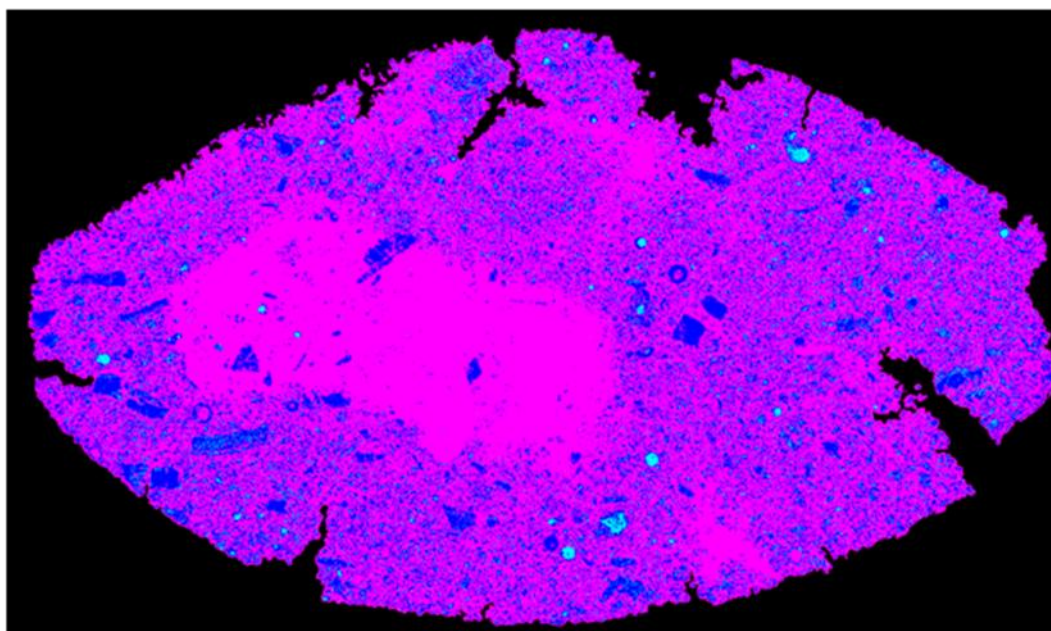


Figura 109 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CM, 20 mm e 20 min

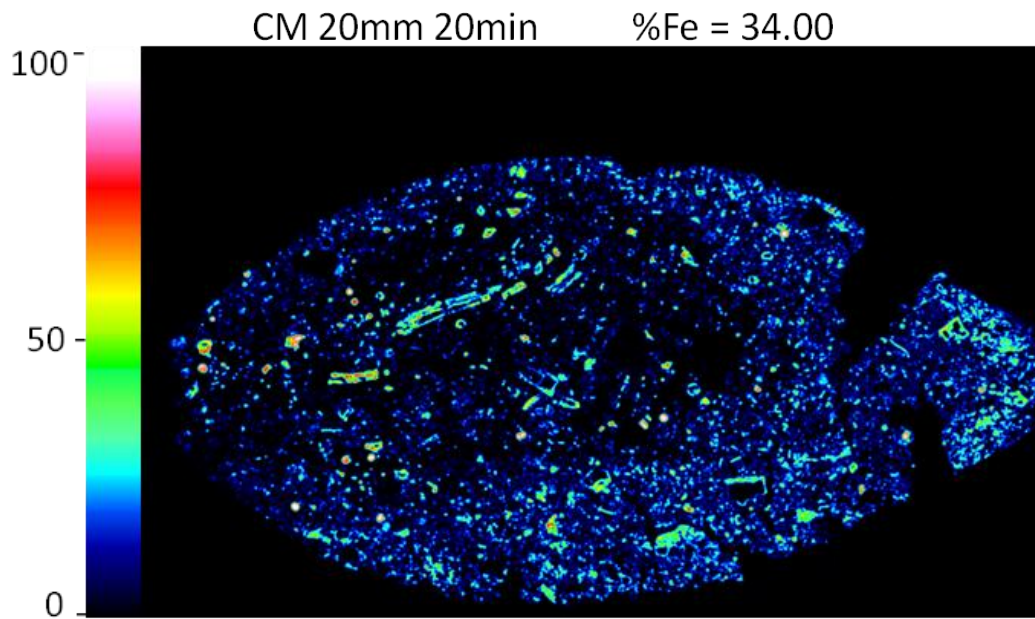


Figura 110 – Mapa de ferro metálico para as condições: CM, 20 mm e 20 min

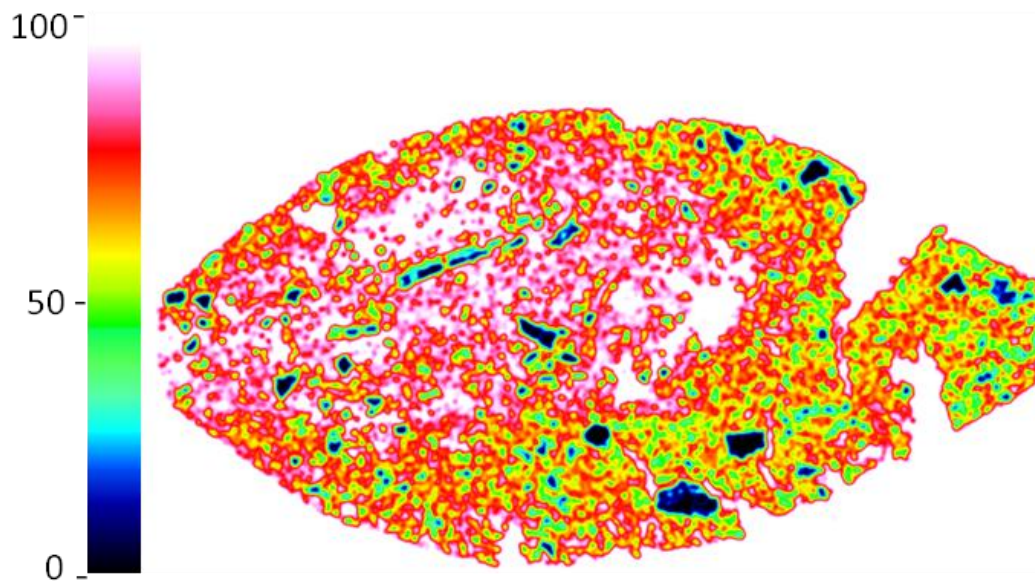


Figura 111 – Mapa de porosidade para as condições: CM, 20 mm e 20 min



b) 20 mm de espessura e 40 min de redução

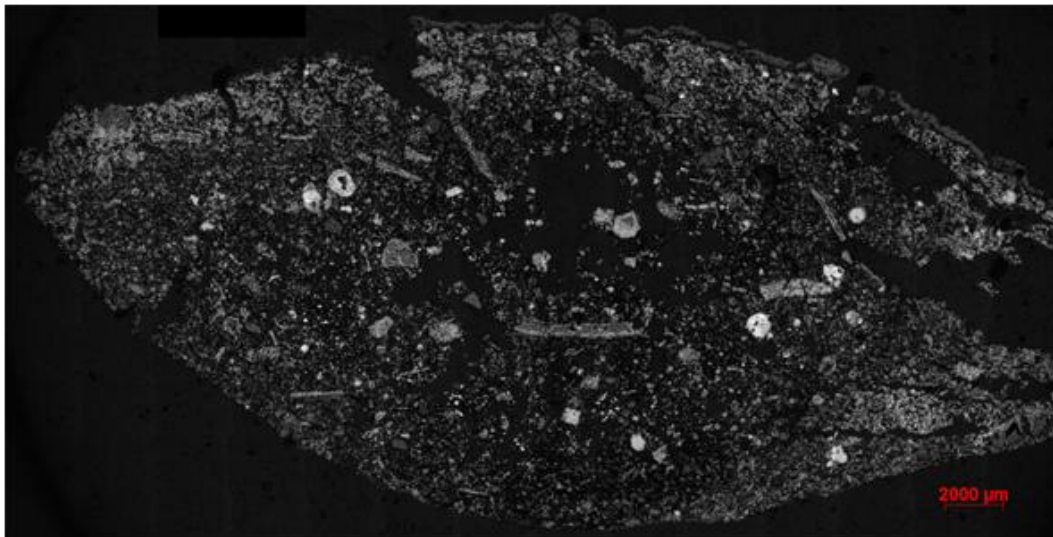


Figura 112 – Condições: CM, 20 mm e 40 min

Fe Metálico      Poros      Outras fases

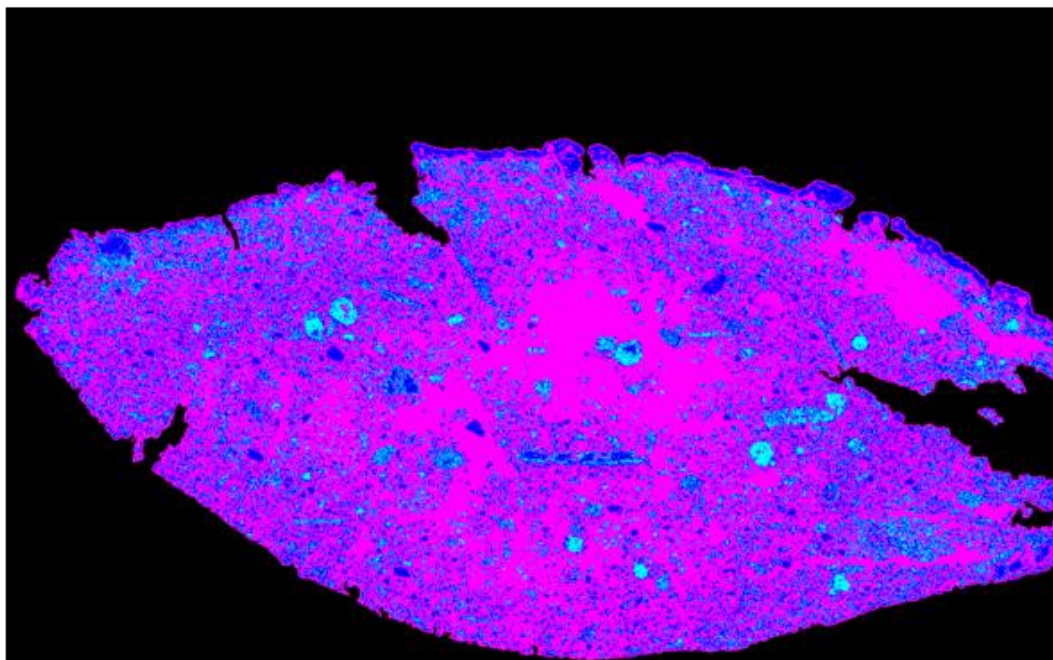


Figura 113 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CM, 20 mm e 40 min

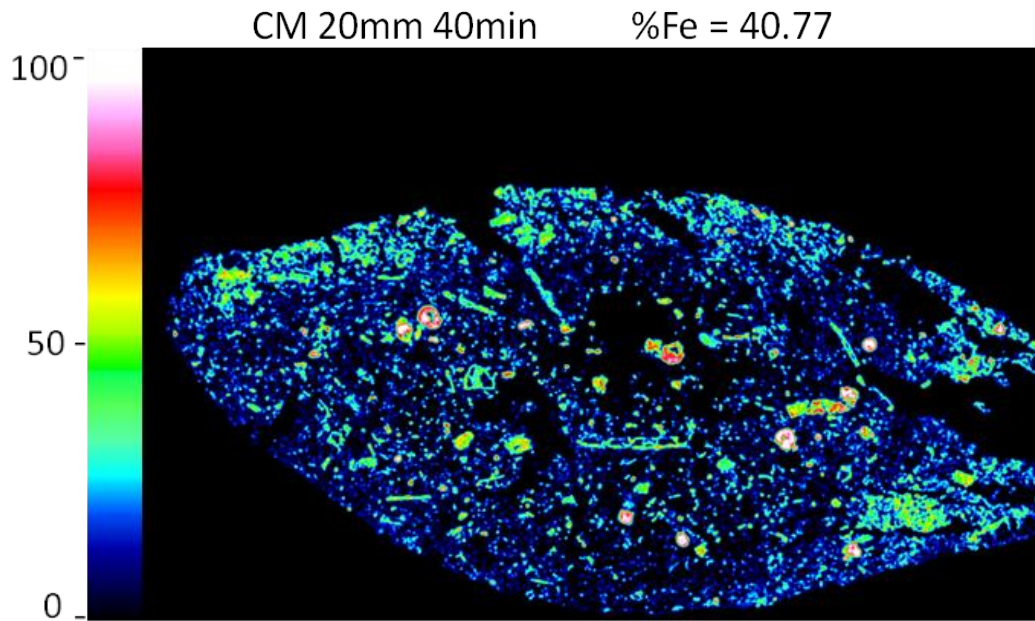


Figura 114 – Mapa de ferro metálico para as condições: CM, 20 mm e 40 min

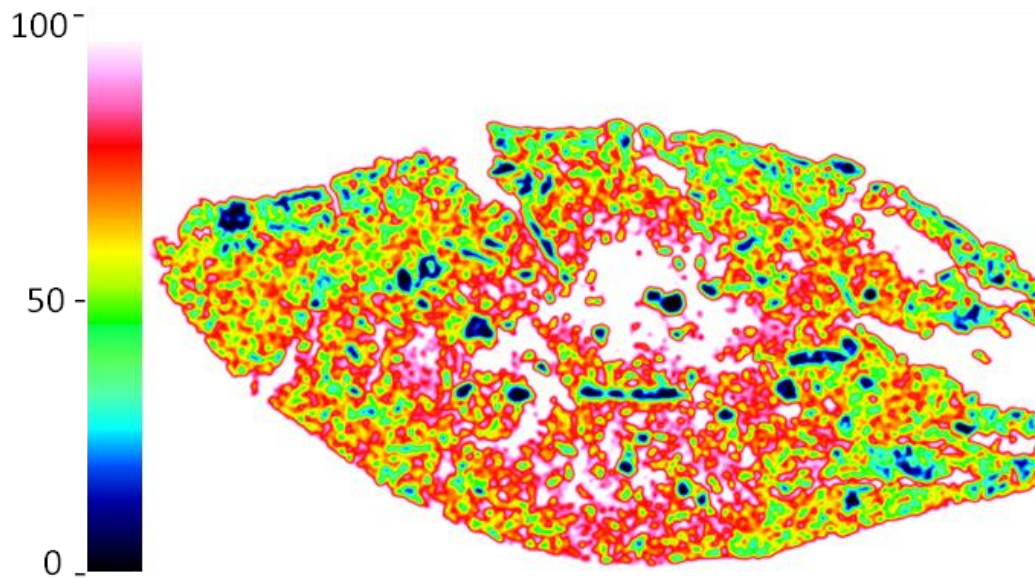


Figura 115 – Mapa de porosidade para as condições: CM, 20 mm e 40 min

c) 25 mm de espessura e 20 min de redução

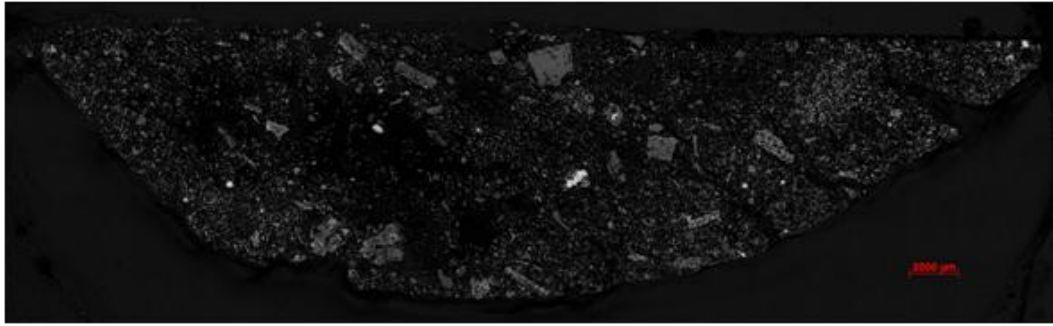


Figura 116 – Condições: CM, 25 mm e 20 min

 Fe Metálico       Poros       Outras fases

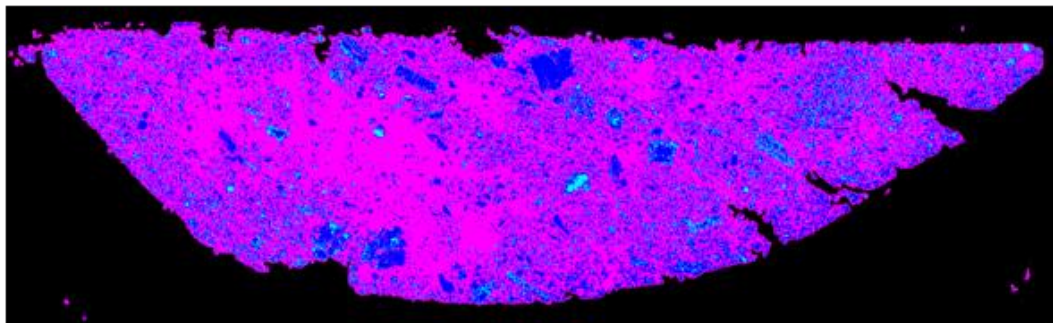


Figura 117 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CM, 25 mm e 20 min



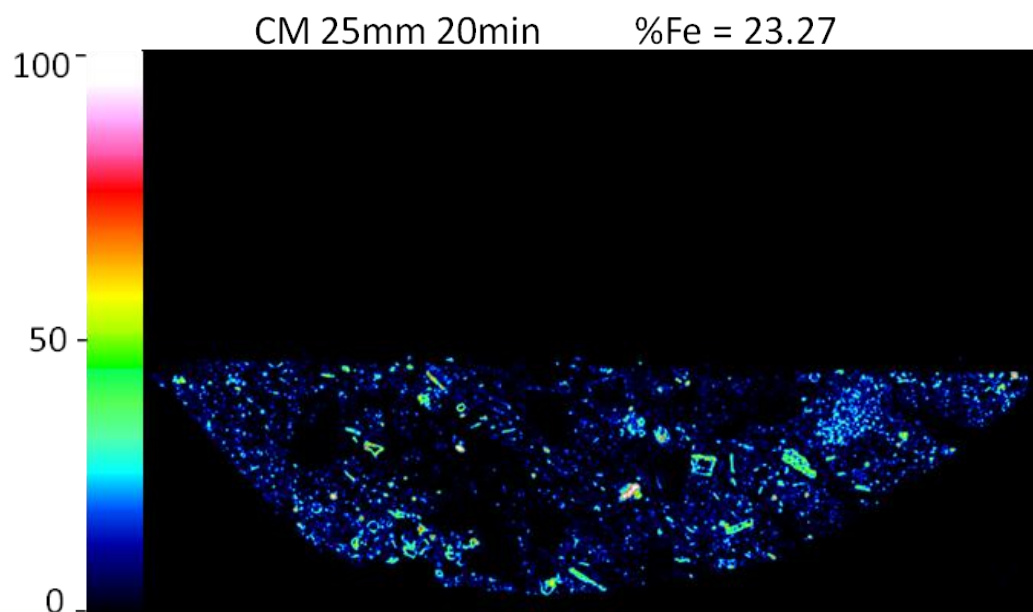


Figura 118 – Mapa de ferro metálico para as condições: CM, 25 mm e 20 min

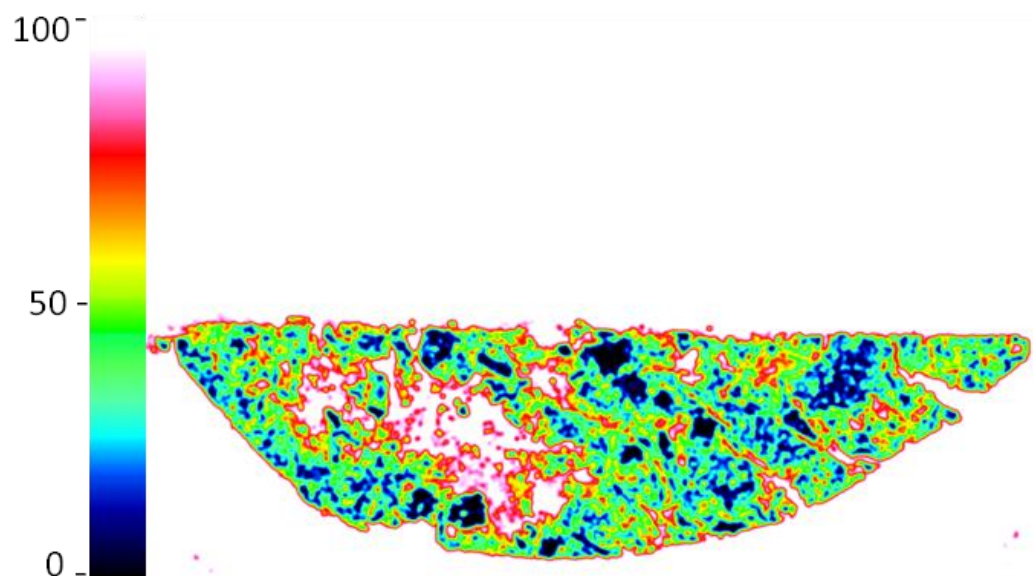


Figura 119 – Mapa de porosidade para as condições: CM, 25 mm e 20 min

d) 25 mm de espessura e 40 min de redução

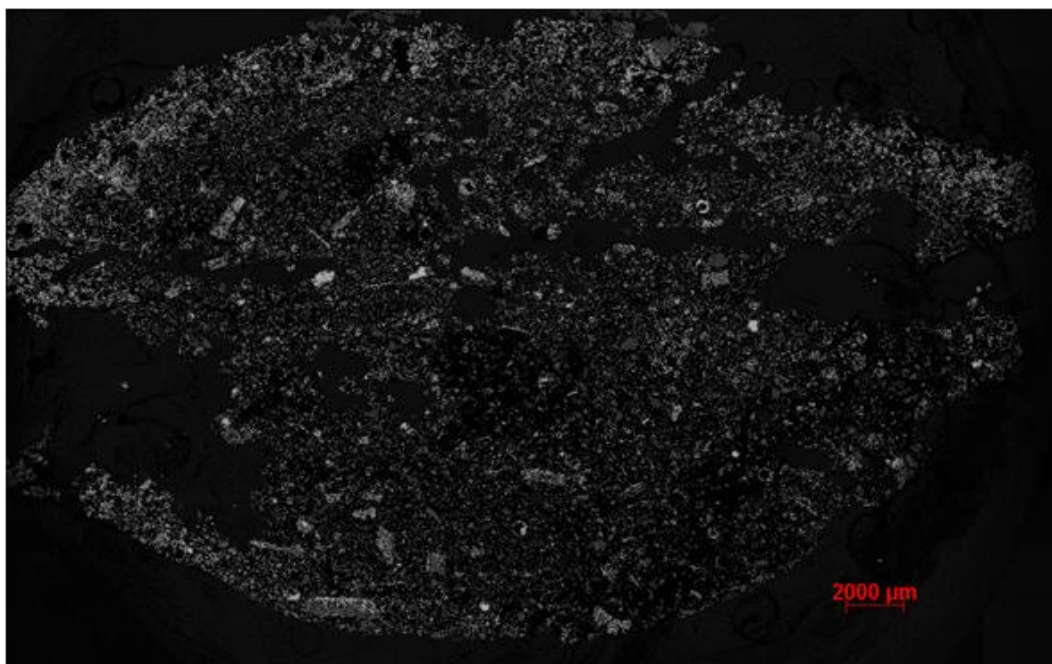


Figura 120 – Condições: CM, 25 mm e 40 min

Fe Metálico      Poros      Outras fases

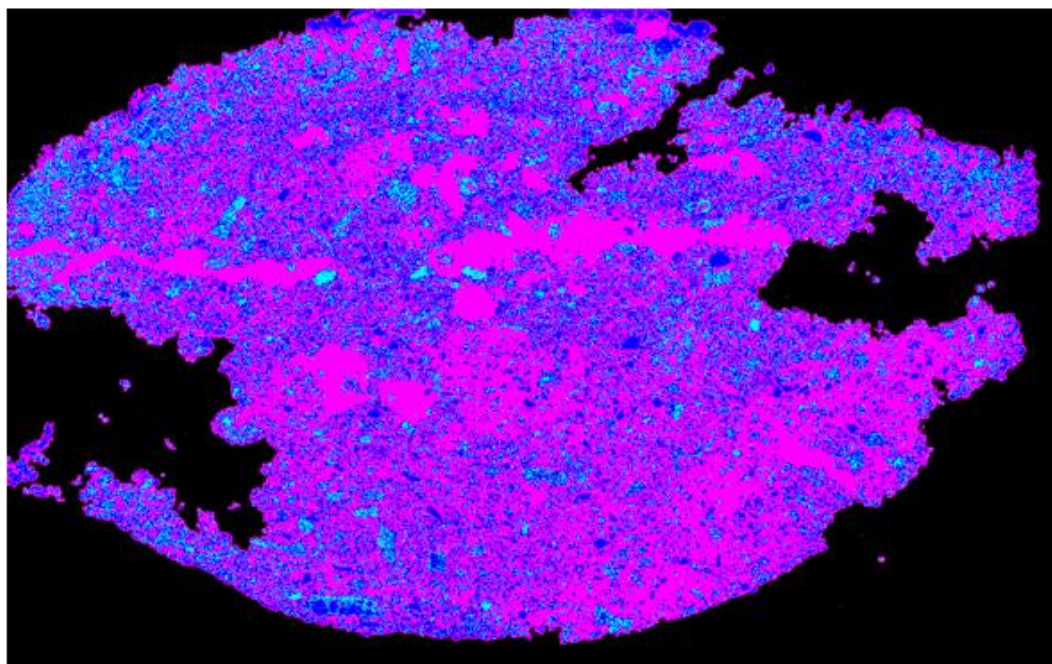


Figura 121 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CM, 25 mm e 40 min

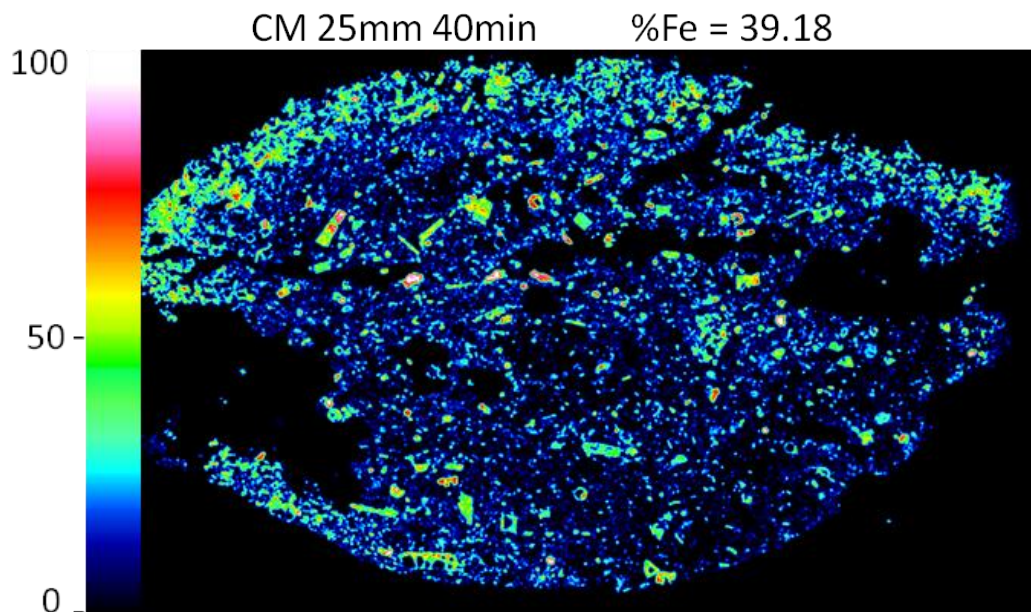


Figura 122 – Mapa de ferro metálico para as condições: CM, 25 mm e 40 min

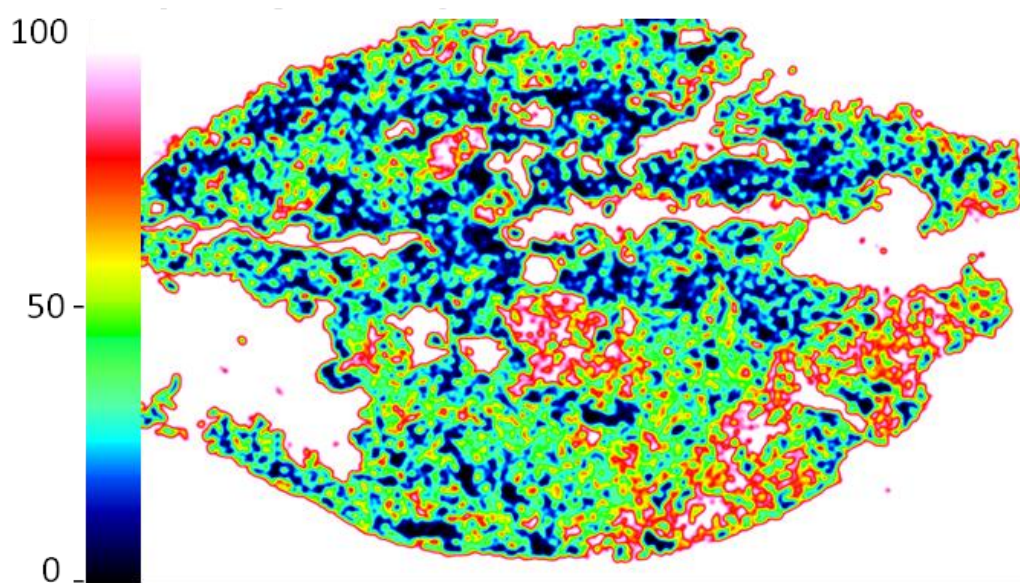


Figura 123 – Mapa de porosidade para as condições: CM, 25 mm e 40 min



2) Redutor CVP:

a) 20 mm de espessura e 20 min de redução

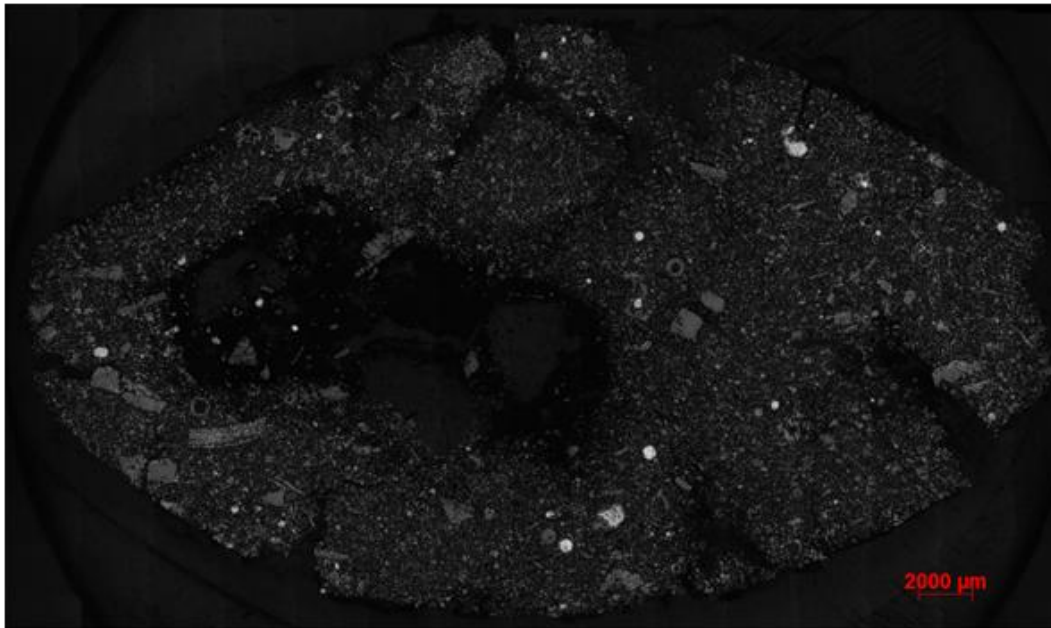


Figura 124 – Condições: CVP, 20 mm e 20 min

Fe Metálico      Poros      Outras fases

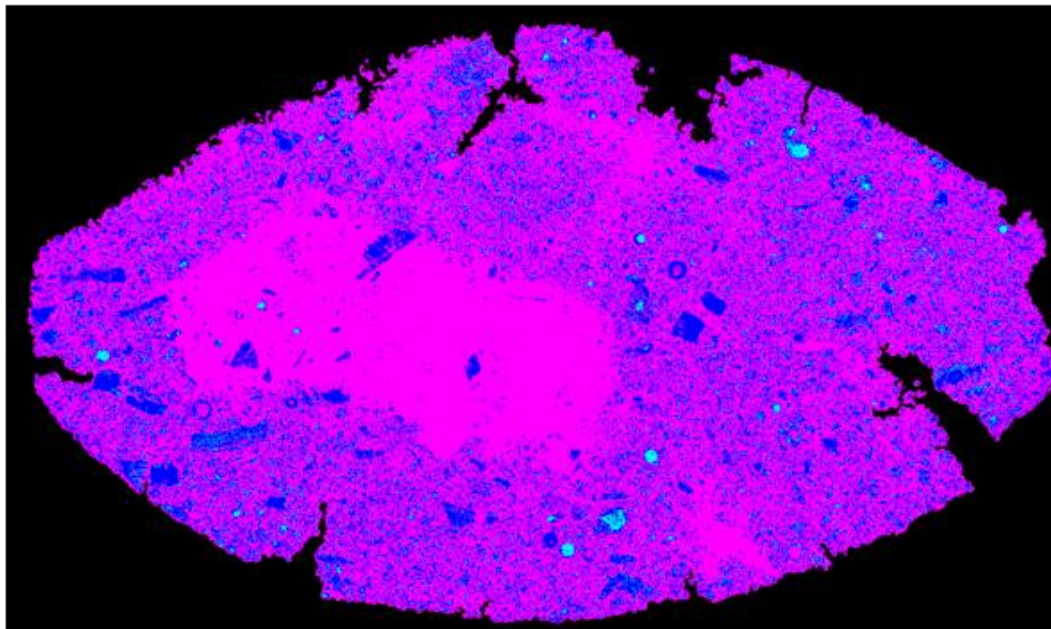


Figura 125 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CVP, 20 mm e 20 min

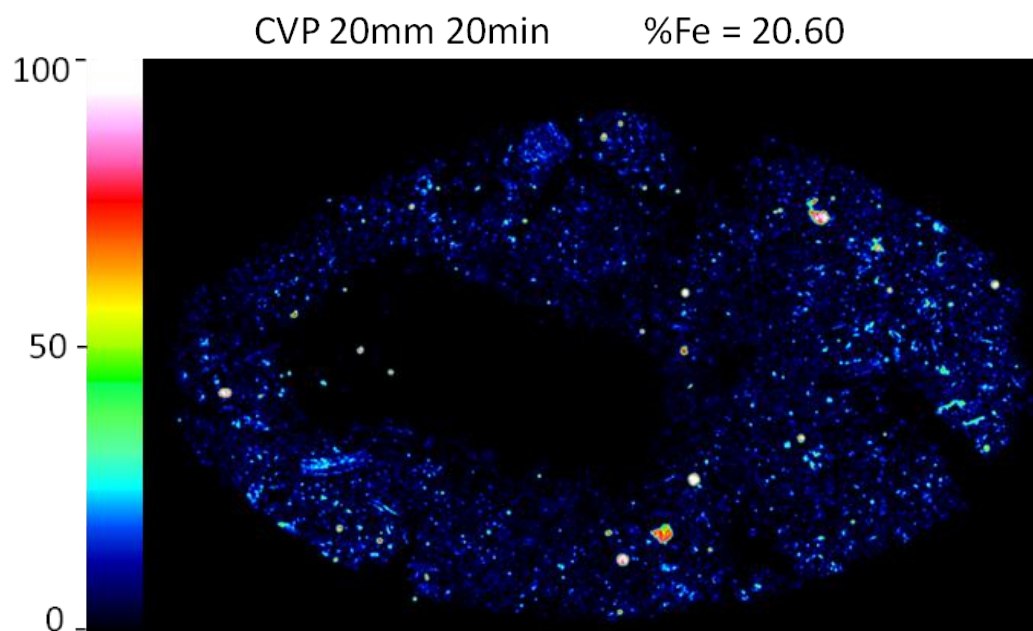


Figura 126 – Mapa de ferro metálico para as condições: CVP, 20 mm e 20 min

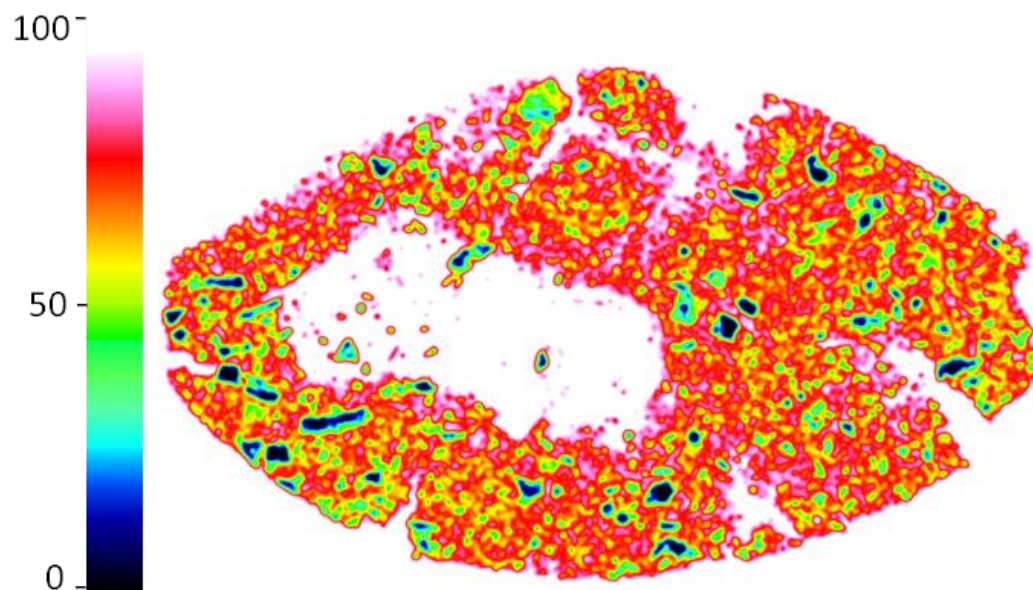


Figura 127 – Mapa de porosidade para as condições: CVP, 20 mm e 20 min

b) 20 mm de espessura e 40 min de redução

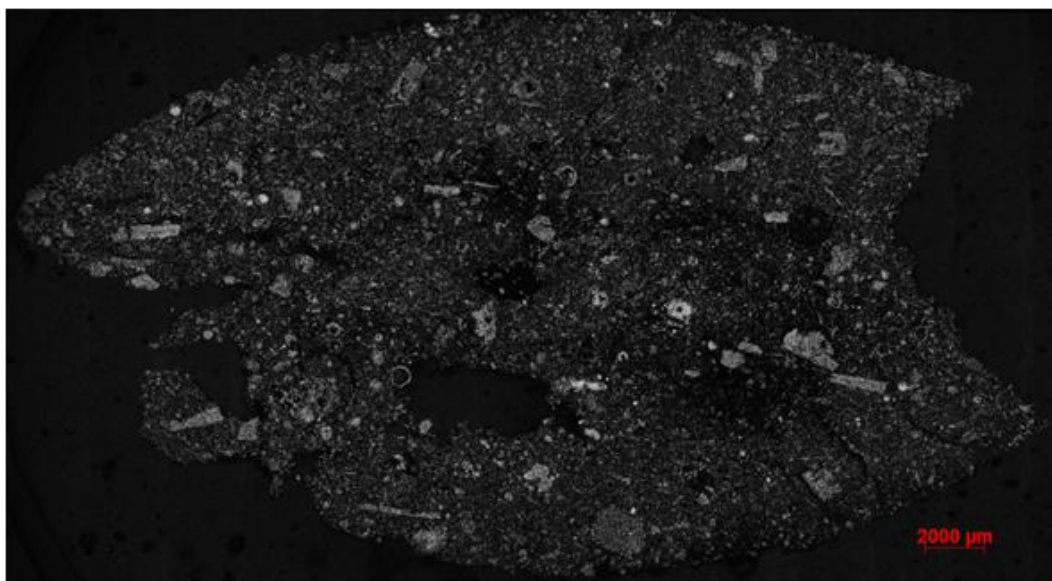


Figura 128 – Condições: CVP, 20 mm e 40 min

Fe Metálico      Poros      Outras fases

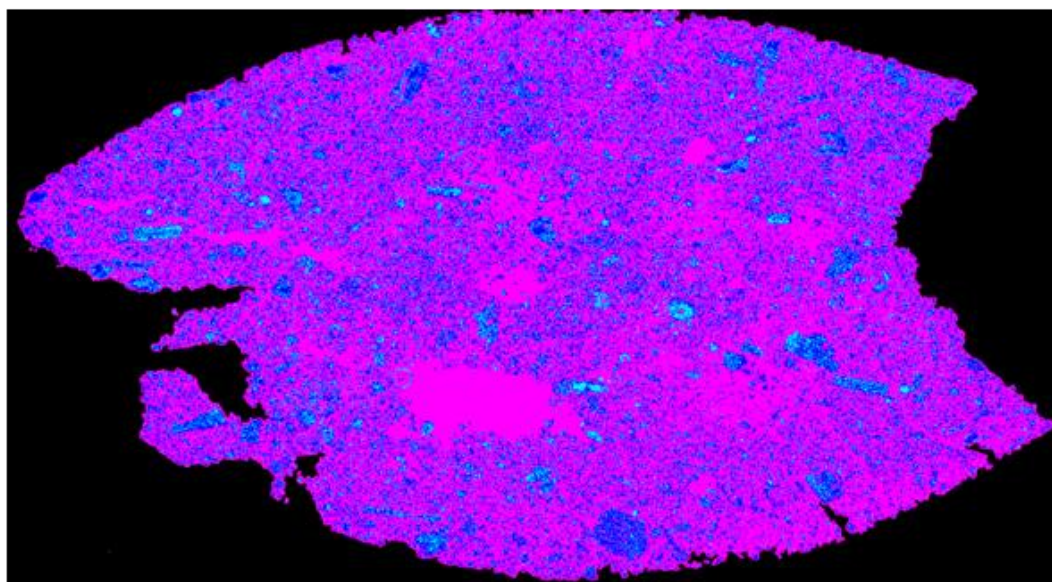


Figura 129 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CVP, 20 mm e 40 min



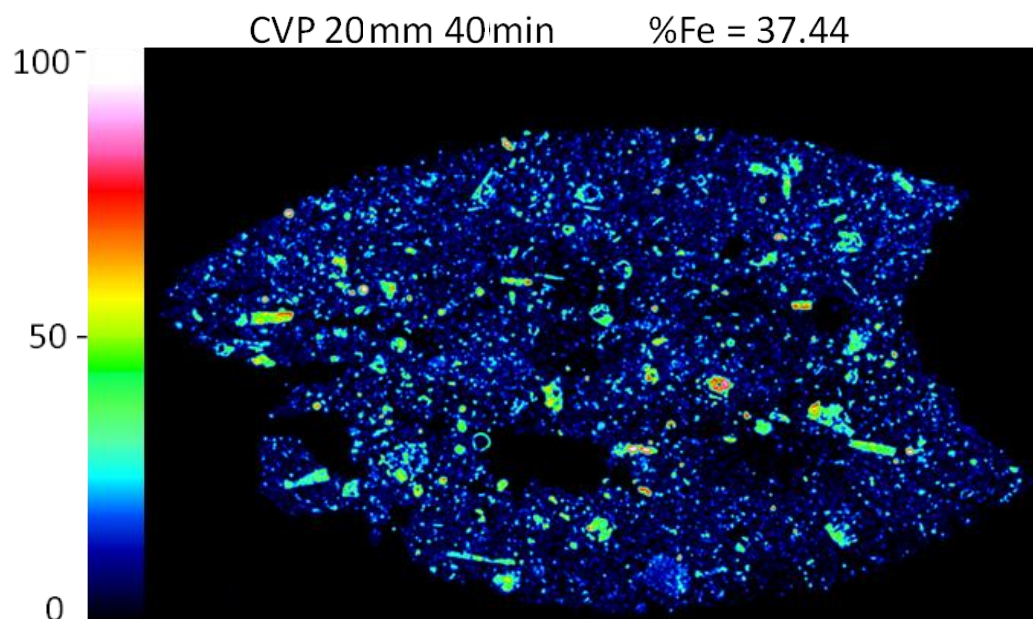


Figura 130 – Mapa de ferro metálico para as condições: CVP, 20 mm e 40 min

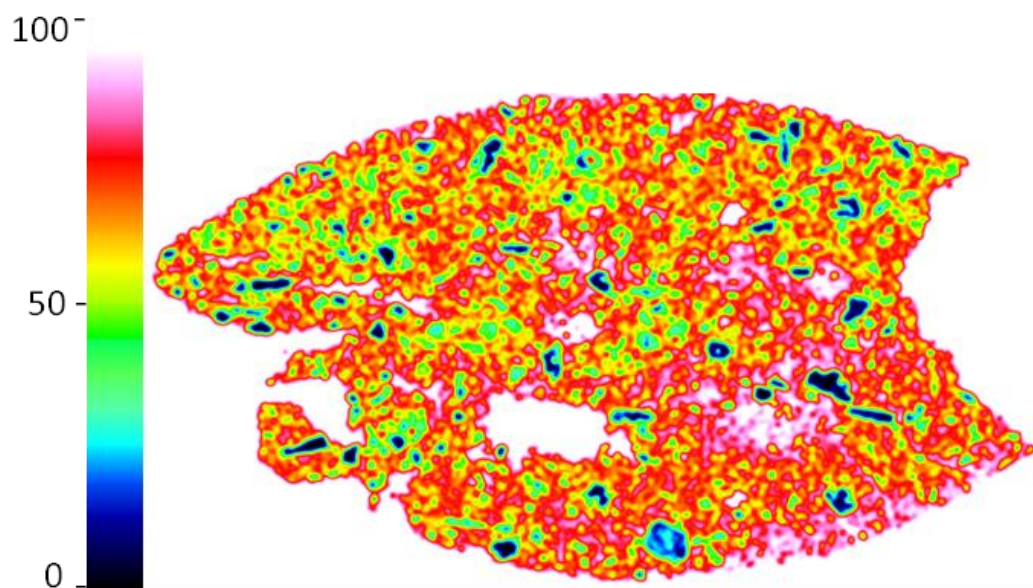


Figura 131 – Mapa de porosidade para as condições: CVP, 20 mm e 40 min

c) 25 mm de espessura e 20 min de redução

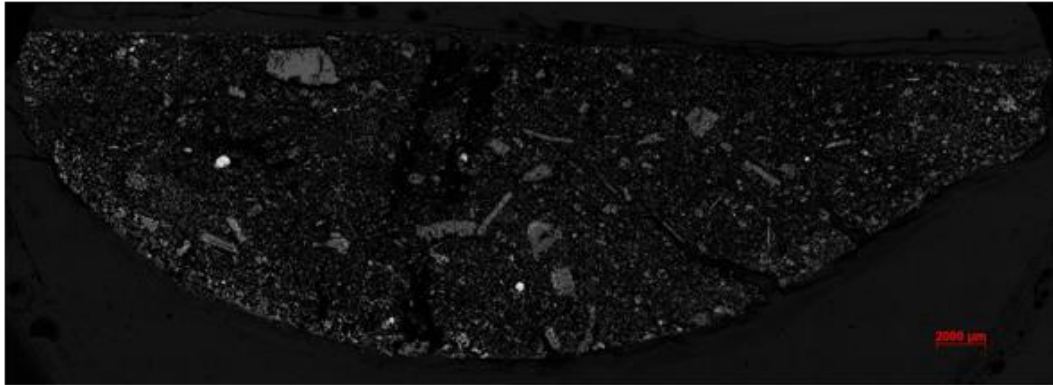


Figura 132 – Condições: CVP, 25 mm e 20 min

 Fe Metálico     Poros     Outras fases

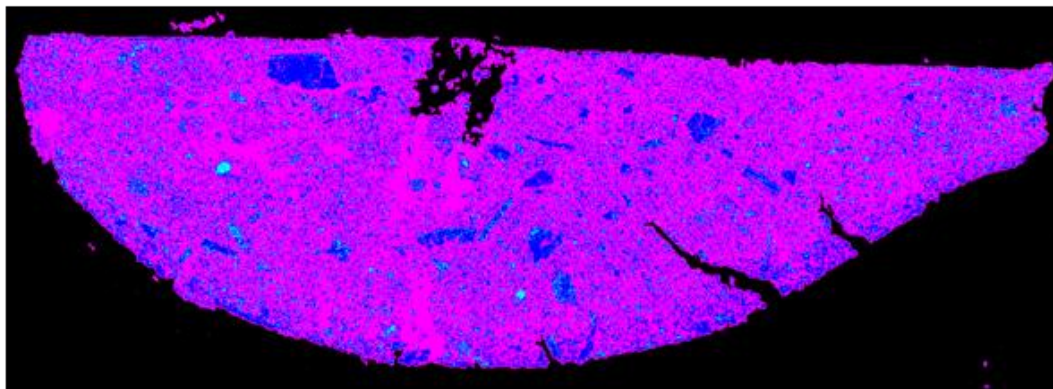


Figura 133 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CVP, 25 mm e 20 min

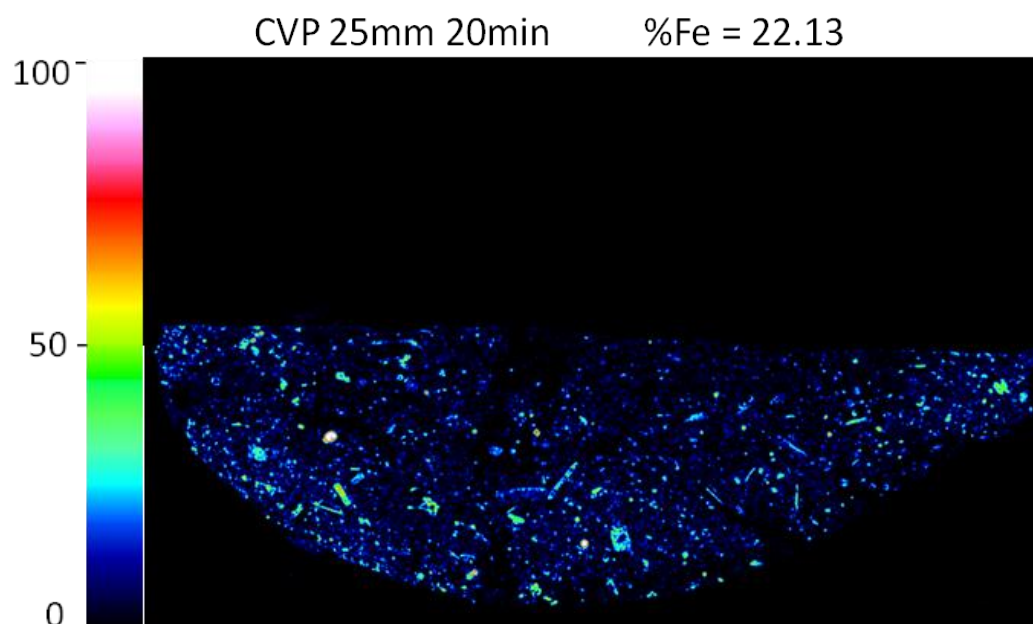


Figura 134 – Mapa de ferro metálico para as condições: CVP, 25 mm e 20 min

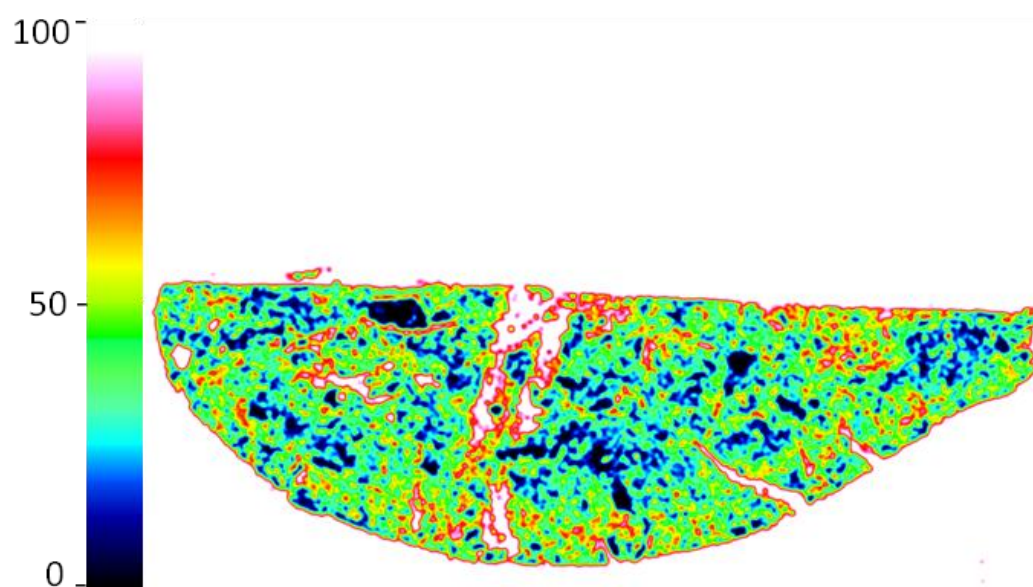


Figura 135 – Mapa de porosidade para as condições: CVP, 25 mm e 20 min



d) 25 mm de espessura e 40 min de redução

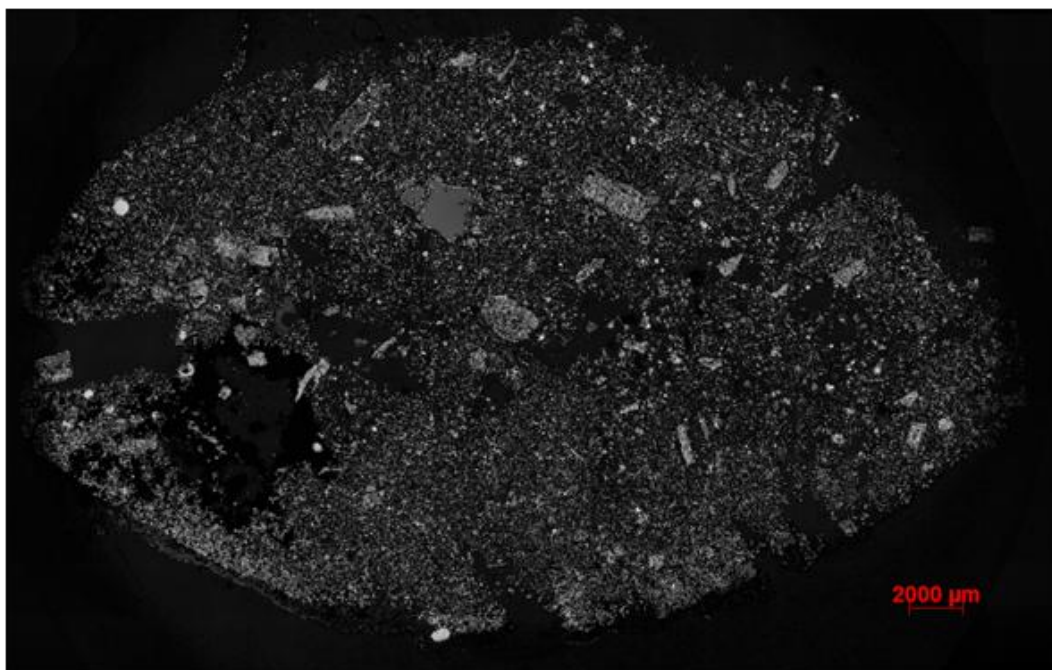


Figura 136 – Condições: CVP, 25 mm e 40 min

Fe Metálico      Poros      Outras fases

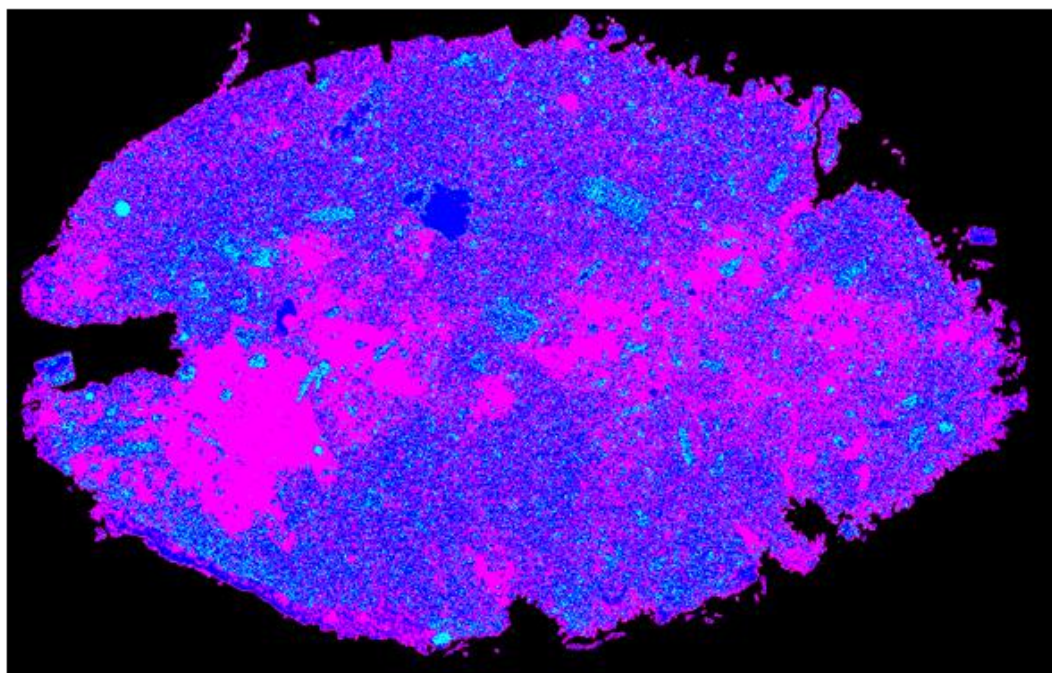


Figura 137 – Segmentação das fases ferro metálico, poros e outras fases para as condições: CVP, 25 mm e 40 min

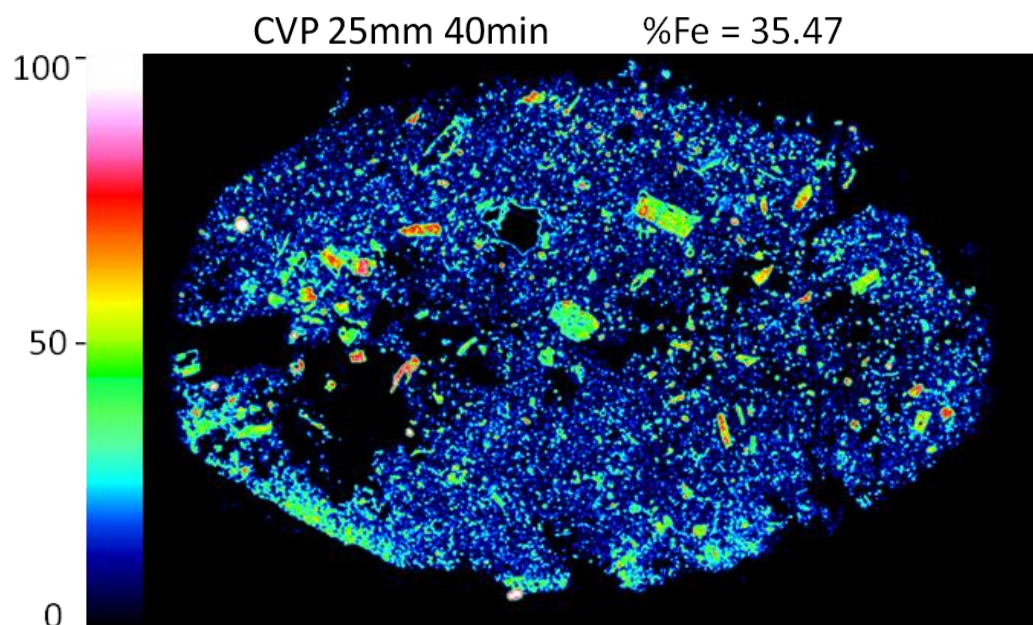


Figura 138 – Mapa de ferro metálico para as condições: CVP, 25 mm e 40 min

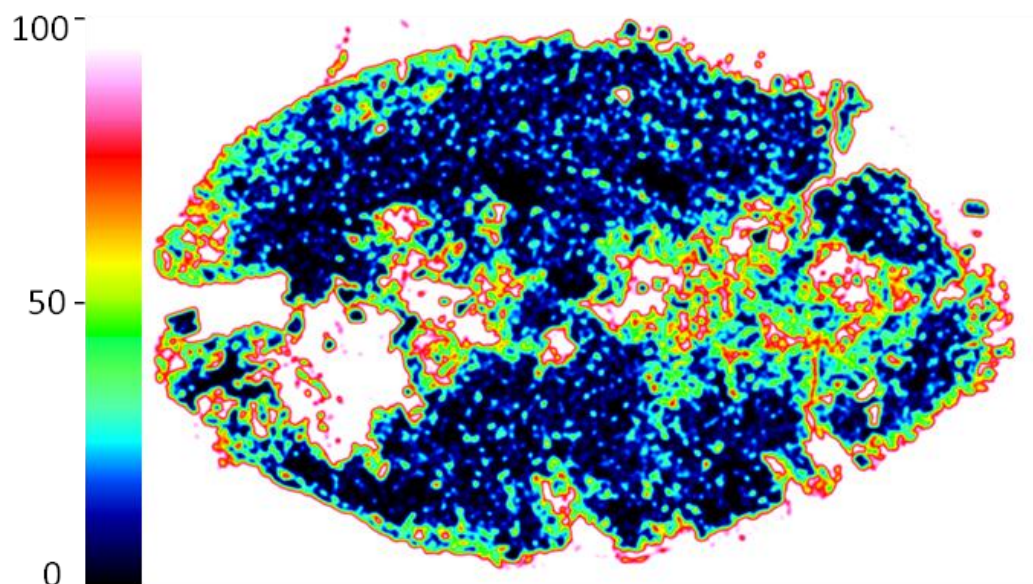


Figura 139 – Mapa de porosidade para as condições: CVP, 25 mm e 40 min



## 10

### Apêndice II

Este apêndice tem por objetivo descrever o procedimento utilizado para realização da análise química do ferro total e ferro metálico.

#### 1) Determinação do Ferro total

- Reagentes Necessários:

a) Ácido Clorídrico p.a (HCl);

b) Cloreto estanoso a 10% – pesar 2,5 g e dissolver em 30 mL de ácido clorídrico. Após dissolução adicionar mais de 20 mL de água deionizada;

c) Cloreto de mercúrio a 5% (HgCl<sub>2</sub>) – pesar 5 g e dissolver em 100 mL de água deionizada;

d) Solução sulfo-fosfórica – 300 mL de água deionizada, 300 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 300 mL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Adicionar o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lentamente na água, esperar esfriar e adicionar o H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>;

e) Solução indicadora – pesar 0,1 g de difenilamino sulfonato de sódio em 100 mL de água;

f) Solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,1N – secar o bicromato de potássio a 140-150°C por 1 hora. Pesar exatamente 4,904 g e dissolver com água em balão volumétrico de 1 litro.

- Procedimentos de análise:

a) Pesar 0,25 g de amostra e transferir para Erlenmeyer de 500 mL contendo um pouco de água (5-10 mL);

b) Adicionar 20 mL de HCl e 3 gotas de solução de cloreto estânico 10%;

c) Aquecer em chapa branda (80-90°C) até a decomposição total da amostra;

d) Retirar da chapa e adicionar, sob agitação, gota a gota, solução de cloreto estânico até o desaparecimento da coloração amarelada. Adicionar uma gota em excesso;

e) Lavar as paredes do Erlenmeyer com água fria até  $\pm 50$  mL;

f) Resfriar em água corrente até temperatura ambiente e então adicionar 10 mL de solução de cloreto mercúrico 5%, agitar brandamente e deixar em repouso por 5 min;

g) Diluir com água fria até  $\pm 200$  mL;

h) Adicionar 15 mL de solução sulfo-fosfórica;

i) Adicionar 3 gotas de solução indicadora;

j) Titular com solução de  $K_2Cr_2O_7$  0,1N até viragem do indicador de verde para violeta.

- Cálculo da porcentagem de ferro total:

$$\%Fe(total) = \frac{V \times (0,1 \times 0,055845 \times 100)}{m}$$

Onde:

V – volume gasto de solução de  $K_2Cr_2O_7$  (0,1N)

m – massa de amostra tomada para análise

## 2) Determinação do Ferro metálico

- Reagentes Necessários:

a) Solução de sulfato de Cu a 4%;

b) Ácido sulfúrico p.a ( $H_2SO_4$ );

c) Zinco metálico p.a (em pó);

- Procedimentos de análise:

a) Pesar 0,5 g de amostra e transferir para o copo de Becker de 300 mL;

b) Adicionar 50 mL de solução de sulfato de cobre a 4%;

c) Aquecer e manter em ebulição branda por 60 min. Manter o volume com adições de água quente durante aquecimento;

d) Diluir com 30 mL de água fria e filtrar para separar o resíduo, recebendo o filtrado em copo de Becker de 600 mL (usar papel de filtro de média porosidade);

e) Lavar o resíduo várias vezes com água, até um volume de  $\pm 500$  mL;

f) Eliminar resíduo;

g) Ao filtrado, adicionar 10 mL de  $H_2SO_4$  e zinco metálico e cobrir o Becker com vidro de relógio;

h) Deixar em repouso por no mínimo 5 horas até que a reação cesse e desapareça todo e qualquer vestígio de coloração azulada (cor azul indica presença de cobre não reduzido. Caso persista a cor azulada, adicionar mais zinco e aguardar novamente);

i) Filtrar em papel de baixa porosidade e lavar o resíduo com água quente ( $\pm$  600-700 mL);

j) Esfriar;

k) Adicionar 20 mL de solução sulfo-fosfórica;

l) Adicionar 3 gotas de solução indicadora;

m) Titular com  $K_2Cr_2O_7$  até virar a cor de verde para violeta.

- Cálculo da porcentagem de ferro metálico:

$$\%Fe(metálico) = \frac{V \times (0,1 \times 0,055845 \times 100)}{m}$$

Onde :

V – volume gasto de solução de  $K_2Cr_2O_7$  (0,1N)

m – massa de amostra tomada para análise