



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU**

**RODOLFO ALEXANDRE HILDEBRANDT**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO DESGASTE DE DRESSADORES DE PONTA  
ÚNICA CONFECCIONADOS COM DIAMANTES NATURAIS E SINTÉTICO  
PIRAMIDAIS**

**BAURU**

**2014**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU**

**RODOLFO ALEXANDRE HILDEBRANDT**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO DESGASTE DE DRESSADORES DE PONTA  
ÚNICA CONFECCIONADOS COM DIAMANTES NATURAIS E SINTÉTICO  
PIRAMIDAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. **Eduardo Carlos Bianchi**.

**BAURU – SP**

**2014**

Hildebrandt, Rodolfo Alexandre.  
Análise do comportamento do desgaste de  
dressadores de ponta única confeccionados com diamantes  
naturais e sintético piramidais./ Rodolfo Alexandre  
Hildebrandt, 2014. 104 f.

Orientador: Eduardo Carlos Bianchi

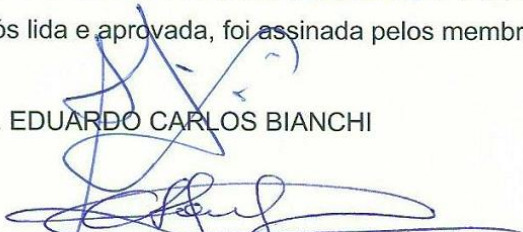
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014.

1. Retificação. 2. Dressador. 3. Desgaste. I.  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de  
Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE RODOLFO ALEXANDRE HILDEBRANDT, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 15 dias do mês de dezembro do ano de 2014, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. CARLOS ALBERTO SOUFEN do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. CARLOS ELIAS DA SILVA JUNIOR do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de RODOLFO ALEXANDRE HILDEBRANDT, intitulado "ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO DESGASTE DE DRESSADORES DE PONTA ÚNICA CONFECCIONADOS COM DIAMANTES NATURAIS E SINTÉTICOS PIRAMIDAIIS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO \_\_\_\_\_. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI



Prof. Dr. CARLOS ALBERTO SOUFEN

*Carlos Elias da Silva Junior.*  
Prof. Dr. CARLOS ELIAS DA SILVA JUNIOR

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha esposa Valéria e família, prof. Dr. Bianchi e meus queridos pais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelo dom da vida, pela saúde, a sabedoria e força, paciência para resolver as adversidades e por todas as bênçãos.

À minha querida família, esposa, filhos, sogra e aos meus pais, aos quais devo toda minha vida e gratidão, por me ensinarem valores e sempre me incentivarem a buscar novas conquistas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi pela amizade, constante apoio e confiança em meu trabalho.

Ao aluno de iniciação científica Arminio Frech Junior, pelo grande apoio e empenho.

Ao técnico do Laboratório de Materiais de Construção Mecânica Hamilton José de Mello pelo inestimável auxílio.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista campus Bauru pela oportunidade que me foi concedida.

À Faculdade de Tecnológica SENAI Londrina pelo apoio para realização desta pesquisa.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia de Bauru, agradeço pelo auxílio e respeito com que sempre fui tratado.

À Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista - *campus* de Bauru, por gentilmente ceder os Laboratórios de Usinagem por Abrasão e de Materiais para a elaboração deste trabalho.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio.

As empresas NORTON e Royall Diamond pelo suporte técnico e utilização dos recursos para realização desta pesquisa.

Ao grupo de pesquisa de usinagem por abrasão pelo grande apoio.

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Adquira a sabedoria, adquira a inteligência e não se esqueça delas, nem se afaste dos meus conselhos. Não abandone a sabedoria, e ela o guardará. Ame a sabedoria, e ela o protegerá. (Provérbios 4, 5 - 6)

## RESUMO

A etapa de dressagem é integrante ao processo de retificação, sendo esta uma operação de afiação, ou seja, a retificação do rebolo, que tem como principal finalidade a remoção dos grãos abrasivos desgastados e garantir a concentricidade do rebolo. Nesse contexto, essa operação adquire uma grande importância no desempenho do rebolo e na qualidade desse processo. Este trabalho propõe a análise do comportamento do desgaste e a vida útil do dressador de ponta única, etapa esta que é muito comum em rebolos convencionais onde, periodicamente, a face de trabalho deve ser restaurada. Neste trabalho foram avaliados três tipos de diamantes, sendo um sintético e dois naturais, onde os dados coletados dos ensaios foram registrados e arquivados para avaliação dos valores iniciais e sequenciais das etapas estipuladas para retirada de imagem, sendo tabulados e posteriormente analisados entre a relação do desgaste e tempo de vida útil no processo. Observou-se após análise dos dados obtidos, uma grande variação entre as áreas desgastadas para os modelos de diamantes naturais do tipo Brasil Extra e Mato Grosso. Já o diamante tipo CVD Sintético Nacional apresentou um valor de área desgastada próxima ao Brasil Extra. No decorrer do processo, os diamantes naturais apresentaram grande variação em sua dureza e estrutura, ocorrendo pequenos lascamentos quando comparado ao sintético, no qual apresentou uma dureza mais consistente mesmo à altas temperaturas e sem sofrer lascamento durante os ensaios. Com base nos dados obtidos neste estudo, o diamante tipo CVD Sintético Nacional apresentou uma grande vantagem em sua durabilidade em relação aos outros dois diamantes testados, obtendo um desgaste equivalente ao tipo Brasil Extra. O tipo Mato Grosso apresentou uma qualidade muito inferior em todos os aspectos em relação aos demais.

**Palavras chaves:** dressagem, desgaste do dressador, vida útil, retificação.



## Abstract

The dressing is an integral step in the grinding process, which is an operation of grinding, in other words, the rectification of the wheel, which has as main purpose the removal of worn abrasive grains and ensure concentricity of the wheel. In this context, this operation becomes more important in the performance of the wheel, and the quality of this process. These tests suggest the analysis of wear behavior and the life of the single point dresser, this step is very common in conventional grinding wheels where periodically the working face must be restored. In this work three types of diamonds are evaluated, one synthetic and two natural, where the data collected from the tests will be recorded and archived for evaluation of initial and sequential values of the levels proposed for the removal of image being tabulated and further analyzed the relationship between the wear and lifetime of the process. Observed after analyzing the data obtained, a large variation between the worn areas for models of natural diamonds of type Extra Brazil and Mato Grosso. Already the National CVD Synthetic type showed a value of close to Brazil Extra abraded area. To the process, natural diamonds showed great variation in their structure and hardness, chipping occurring small when compared to the synthetic which presented a more consistent hardness at high temperatures without suffering and chipping during rehearsals. Based on the data obtained in this study, the National CVD Synthetic Diamond type showed a great advantage in durability compared to the other two diamonds tested, obtaining an equivalent type Brazil Extra wear. The Mato Grosso type showed a much lower quality in all aspects compared to the other.

**Keywords:** dressing, wear dresser, life cycle, grinding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotomicrografia de um abrasivo cerâmico colado à base de óxido de alumínio. As regiões claras são os grãos abrasivos; áreas cinzentas e escuras são a fase de união e a porosidade (CALLISTER, 2013 - adaptado). .....	7
Figura 2. Ângulo formado entre o diamante e o rebolo (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas - 2013). .....	10
Figura 3. Representação do macroefeito. ....	11
Figura 4. Representação do microefeito. ....	12
Figura 5. Dressagem de um rebolo por meio de um dressador de ponta única (MALKIN, 2008 - adaptado). .....	13
Figura 6. Esquema da dressagem de rebolos (Machado, 2012 - adaptado). .....	14
Figura 7. Desenho esquemático de um dressador de ponta única: 1 - diamante; 2 - suporte (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas. 2013 - adaptado). ....	15
Figura 8. Uma célula unitária para a estrutura cristalina cúbica do diamante (CALLISTER, 2013 – adaptado). .....	17
Figura 9. Diagrama da deposição química a vapor – CVD (Iness.como.polimi.it/lepecvd.php. 2013 - adaptado). .....	20
Figura 10. Micrografia eletrônica por varredura de um filme fino de diamante onde são mostrados numerosos micro cristais multifacetados (CALLISTER, 2013 - adaptado). .....	22
Figura 11. Rugosidade inicial em função do avanço de dressagem e do perfil do diamante do dressador (MESSER, 2003 - adaptado). .....	25
Figura 12. Imagem de um dressador conglomerado: 1 - dressador conglomerado; 2 – pastilha do dressador conglomerado (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas. 2013 - adaptado). .....	26
Figura 13. Representação das alterações ocorridas na estrutura do rebolo - micro trincas durante a retificação (MACHADO, 2012 - adaptado). .....	28
Figura 14. Estrutura de um rebolo de retificação (PORTO, 2004 - adaptado). .....	29
Figura 15. Retificadora plana modelo 1055E de fabricação da empresa SULMECÂNICA utilizada nos ensaios. ....	35
Figura 16. Dressador de ponta única com ponta de diamante de forma piramidal, ..	36
Figura 17. Dressador com diamante CVD sintético. ....	36
Figura 18. Dressador com diamante Brasil Extra natural. ....	37
Figura 19. Dressador com diamante Mato Grosso natural. ....	37
Figura 20. Rebolo de óxido de alumínio convencional utilizado nos ensaios e fabricado pela empresa Norton. ....	38
Figura 21. Fixação do suporte dos dressadores para o início dos ensaios. ....	38
Figura 22. Equipamentos utilizados para captação da imagem da área desgastada do diamante. ....	39
Figura 23. Imagem da seleção da área desgastada por meio do software. ....	40
Figura 24. Imagem da área desgastada após a delimitação da região, o programa calcula automaticamente a área. ....	40
Figura 25. Etapa da posição horizontal: Suporte posicionado com a câmera fotográfica digital. ....	41
Figura 26. (a) Imagem do diamante na etapa inicial sem desgaste; (b) Imagem da área desgastada do diamante - posição horizontal. ....	42

Figura 27. Imagem dos equipamentos da coleta de dados de aceleração, temperatura e emissão acústica.....	43
Figura 28. Aquecimento aparente durante os ensaios.....	45
Figura 29. a) Dressador pronto para início do ensaio, b) durante o ensaio.....	45
Figura 30. Diamante CVD sintético nacional com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio um.....	47
Figura 31. Dressador-CVD sintético - 20 passadas - posição horizontal - ensaio um.....	48
Figura 32. Dressador-CVD sintético - 60 passadas - posição horizontal - ensaio um.....	48
Figura 33. Dressador-CVD sintético - 156 passadas - posição horizontal - ensaio um.....	49
Figura 34. Área desgastada em relação ao número de passadas para o ensaio um do diamante sintético na posição horizontal.....	50
Figura 35. Área desgastada em relação ao número de passadas dos três ensaios obtidos pelo diamante CVD sintético na posição horizontal.....	51
Figura 36. Área desgastada versus número de passadas para o diamante CVD Sintético - horizontal.....	53
Figura 37. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas 20 a 80 na posição horizontal para o diamante CVD Sintético.....	54
Figura 38. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas 100 a 140 na posição horizontal para o diamante CVD Sintético.....	54
Figura 39. Diamante CVD sintético – etapa inicial, posição vertical - ensaio um.....	55
Figura 40. Diamante CVD sintético com 20 passadas, posição vertical - ensaio um.....	56
Figura 41. Diamante CVD sintético com 60 passadas, posição vertical - ensaio um.....	56
Figura 42. Diamante CVD sintético com 100 passadas, posição vertical - ensaio um.....	57
Figura 43. Diamante CVD sintético com 156 passadas, posição vertical - ensaio um.....	57
Figura 44. Área desgastada em relação ao número de passadas para o ensaio um do diamante CVD sintético na posição vertical.....	58
Figura 45. Área desgastada em relação ao número de passadas para os três ensaios obtidos para o diamante CVD sintético nacional na posição vertical.....	60
Figura 46. Área desgastada versus número de passadas para o diamante CVD Sintético – Vertical.....	61
Figura 47. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas de 20 a 140 na posição vertical para o diamante CVD Sintético nacional.....	62
Figura 48. Diamante Brasil Extra com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio um.....	63
Figura 49. Diamante Brasil Extra com 20 passadas, posição horizontal no ensaio um.....	64
Figura 50. Diamante Brasil Extra com 100 passadas, posição horizontal no ensaio um.....	64
Figura 51. Diamante Brasil Extra com 140 passadas, posição horizontal no ensaio um.....	65
Figura 52. Diamante Brasil Extra ao final do ensaio um com 180 passadas na posição horizontal.....	65

Figura 53. Área desgastada em relação ao número de passadas para o primeiro ensaio do diamante Brasil Extra na posição horizontal. ....	66
Figura 54. Área desgastada pelo número de passadas para os três ensaios do diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal. ....	67
Figura 55. Área desgastada versus número de passadas para o diamante Brasil Extra – horizontal. ....	69
Figura 56. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas 20, 40, 60, 80 e 100 na posição horizontal para o diamante Brasil Extra. ....	70
Figura 57. Diamante Brasil Extra com nenhuma passada, posição vertical no ensaio um. ....	71
Figura 58. Diamante Brasil Extra com 20 passadas, posição vertical no ensaio um. ....	72
Figura 59. Diamante Brasil Extra com 80 passadas, posição vertical no ensaio um. ....	72
Figura 60. Diamante Brasil Extra com 140 passadas, posição vertical no ensaio um. ....	73
Figura 61. Diamante Brasil Extra ao final do ensaio um com 180 passadas na posição vertical. ....	73
Figura 62. Área desgastada em relação ao número de passadas do diamante Brasil Extra para o ensaio um na posição vertical. ....	74
Figura 63. Área desgastada pelo número de passadas para os três ensaios realizados na posição vertical para o diamante tipo Brasil Extra. ....	76
Figura 64. Área desgastada versus número de passadas do diamante Brasil Extra na posição vertical. ....	77
Figura 65. Ensaios 01, 02 e 03 com as passadas de 20 a 100 na posição vertical para o diamante Brasil Extra. ....	78
Figura 66. Dressador com o diamante Mato Grosso, sem desgaste. ....	79
Figura 67. Diamante Mato Grosso com 20 passadas, posição horizontal no ensaio um. ....	80
Figura 68. Diamante Mato Grosso com 80 passadas, posição horizontal no ensaio um. ....	80
Figura 69. Diamante Mato Grosso ao final do ensaio um com 140 passadas na posição horizontal. ....	81
Figura 70. Área desgastada em relação ao número de passadas para ensaio um do diamante Mato Grosso na posição horizontal. ....	82
Figura 71. Área desgastada em relação ao número de passadas referentes aos dados obtidos para os três ensaios do diamante Mato Grosso na posição horizontal. ....	83
Figura 72. Área desgastada versus número de passadas para o diamante tipo Mato Grosso – horizontal. ....	85
Figura 73. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas de 20 a 100 na posição horizontal para o diamante Mato Grosso. ....	86
Figura 74. Diamante Mato Grosso - nenhuma passada, posição vertical - ensaio um. ....	87
Figura 75. Diamante Mato Grosso - 20 passadas, posição vertical - ensaio um. ....	87
Figura 76. Diamante Mato Grosso - 100 passadas, posição vertical no ensaio um. ....	88
Figura 77. Diamante Mato Grosso - 140 passadas, posição vertical - ensaio um. ....	88
Figura 78. Área desgastada em relação ao número de passadas para o primeiro ensaio do diamante Mato Grosso na posição vertical. ....	89
Figura 79. Área desgastada em relação ao número de passadas obtidos pelos três ensaios do diamante Mato Grosso na posição vertical. ....	90

Figura 80. Área desgastada versus número de passadas do diamante Mato Grosso na posição vertical.....	91
Figura 81. Ensaios 01, 02 e 03 do diamante Mato Grosso - 20 a 100 passadas na posição vertical.....	92
Figura 82. Média do número máximo de passadas até ocorrer o faíscamento para cada tipo de diamante. ....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados dos parâmetros utilizados para todo o ensaio de dressagem. ....	44
Tabela 2. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante CVD Sintético na posição horizontal. ....	49
Tabela 3. Dados do número de passadas e da área desgastada, obtidos pelos três ensaios para o diamante tipo CVD Sintético na posição horizontal. ....	51
Tabela 4. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias amostrais e desvios-padrões da área desgastada para o diamante CVD Sintético. ....	52
Tabela 5. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo CVD Sintético na posição vertical. ....	58
Tabela 6. Dados do número de passadas e da área desgastada obtida pelos três ensaios para o diamante tipo CVD Sintético na posição vertical. ....	59
Tabela 7. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante CVD Sintético. ....	61
Tabela 8. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal. ....	65
Tabela 9. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos pelos três ensaios para o diamante Brasil Extra na posição horizontal. ....	67
Tabela 10. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias amostrais e desvios-padrões da área desgastada para o diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal. ....	68
Tabela 11. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra na posição vertical. ....	74
Tabela 12. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos nos três ensaios para o diamante tipo Brasil Extra na posição vertical. ....	75
Tabela 13. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Brasil Extra na posição vertical. ....	77
Tabela 14. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal. ....	81
Tabela 15. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos nos três ensaios para o diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal. ....	83
Tabela 16. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Mato Grosso na posição horizontal. ....	84
Tabela 17. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso na posição vertical. ....	88
Tabela 18. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos pelos três ensaios para o diamante tipo Mato Grosso na posição vertical. ....	90
Tabela 19. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Mato Grosso na posição vertical. ....	91
Tabela 20. Comparação entre o número de passadas e Área gasta para os três diamantes na posição horizontal. ....	93
Tabela 21. Dados referentes à área desgastada e número de passadas para os três diamantes na posição vertical. ....	95

Tabela 22. Estimativa do tempo de vida em função do número de passadas para cada ensaio.....	96
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- a – profundidade de corte ( $\mu\text{m}$ )
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- $a_d$  - profundidade de dressagem ( $\mu\text{m}$ )
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  - óxido de alumínio
- ANSI – American National Standards Institute
- $A_{sd}$  – área de dressagem ( $\mu\text{m}^2$ )
- $b_d$  – largura de atuação do dressador ( $\mu\text{m}$ )
- $b_{dr}$  – largura real de atuação do dressador
- CBN – nitreto de boro cúbico
- CVD - chemical vapor deposition
- $d_c$  – espessura máxima do cavaco ( $\mu\text{m}$ )
- $D_e$  – diâmetro equivalente (mm)
- $D_S$  – diâmetro do rebolo (mm)
- $D_w$  – diâmetro da peça (mm)
- E – módulo de elasticidade ou módulo de Young (GPa)
- FEPA – Federação Europeia dos Fabricantes de Produtos Abrasivos
- $F_n$  – força normal de corte (N)
- $F_t$  – força tangencial de corte (N)
- G – relação entre volume de material removido e volume de rebolo gasto
- H – dureza do material (GPa)
- $h_{eq}$  – espessura de corte equivalente em retificação (mm)
- HV – Dureza Vickers (GPa)
- $l_c$  – comprimento de contato ( $\mu\text{m}$ )
- ISO - International Organization for Standardization
- $K_{ic}$  – tenacidade à fratura ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )
- $K_s$  – pressão específica de corte ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
- $K_n$  – tensão de escoamento do material ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
- L – espaçamento entre grãos abrasivos ( $\mu\text{m}$ )
- MEV - microscópio eletrônico de varredura
- N – número de encontros dos grãos abrasivos ativos com a peça
- NIST – National Institute of Standards and Technology dos Estados Unidos



- P – força normal aplicada aos grãos abrasivos (N)
- PCD – diamante policristalino
- $p_b$  – probabilidade do grão ser desalojado devido à fratura do aglomerante
- $Q_w$  – taxa de remoção de material ( $\text{mm}^3/\text{s}$ )
- $Q'_w$  – taxa específica de remoção de material ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )
- R – fator de resistência ao desgaste
- $r_p$  – raio de ponta do dressador (mm)
- $S_d$  – passo de dressagem (mm/rev)
- SiC – carboneto de silício
- t – tempo de retificação (s)
- $t_s$  – tempo de centelhamento (s)
- $U_d$  – grau de recobrimento na dressagem de rebolos
- V – volume de material removido por unidade de distância de deslizamento ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )
- $V_f$  – velocidade de mergulho ou avanço (mm/min)
- $V_s$  – velocidade tangencial do rebole (m/s)
- $V_w$  – velocidade tangencial da peça (mm/min)
- W – peso médio de cada grão (g)
- $w_t$  – ondulação teórica (macroefeito)
- ZrO<sub>2</sub> – óxido de zircônia
- $Z_s$  – volume de rebole consumido ( $\text{mm}^3$ )
- $Z_w$  – volume de material removido ( $\text{mm}^3$ )
- $\xi$  – constante adimensional
- $\delta$  - desgaste radial do rebole ( $\mu\text{m}$ )
- $\sigma$  - tensão de ruptura (MPa)
- y - constante que relaciona o tamanho da falha com o tamanho da amostra
- $\gamma_i$  - energia superficial por unidade de área para iniciar a fratura ( $\text{J}/\text{m}^2$ )
- $\alpha$  = constante independente do material

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVO .....	3
1.2 JUSTIFICATIVA .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 Dressagem .....	4
2.1.1 Topografia do rebolo .....	5
2.1.2 Operação de Dressagem .....	6
2.1.3 Dressagem com Dressador de Ponta Única .....	9
2.1.4 Construção de dressadores de ponta única .....	15
2.1.5 Diamantes naturais utilizados na confecção de dressadores .....	17
2.1.6 Diamantes sintéticos .....	19
2.1.7 Desgaste de dressadores estáticos e suas consequências .....	24
2.2 Processos de Retificação .....	27
2.2.1 Rebolo .....	28
2.2.2 Grãos Abrasivos .....	30
2.2.3 Abrasivos Artificiais Convencionais .....	32
2.2.4 Superabrasivos .....	33
2.2.5 Ligantes .....	33
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	35
3.1 Equipamentos e materiais utilizados .....	35
3.2 Parâmetros utilizados para dressagem .....	43
3.3 Metodologia de ensaios .....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	46
4.1 Área desgastada em relação ao número de passadas .....	46
4.1.1 Diamante CVD Sintético Nacional – Horizontal .....	46
4.1.1.1 Primeiro ensaio - horizontal .....	47
4.1.1.2 Comparação dos três ensaios do diamante CVD sintético nacional – horizontal .....	50
4.1.2 Diamante CVD Sintético Nacional – Vertical .....	55
4.1.2.1 Primeiro ensaio - vertical .....	55
4.1.2.2 Comparação dos três ensaios do diamante CVD sintético nacional – Vertical .....	59
4.1.3 Diamante Brasil Extra – Horizontal .....	63
4.1.3.1 Primeiro ensaio – Horizontal .....	63
4.1.3.2 Comparação dos três ensaios do diamante Brasil Extra - horizontal .....	67
4.1.4 Diamante Brasil Extra – Vertical .....	71

4.1.4.1 Primeiro ensaio - Vertical .....	71
4.1.4.2 Comparação dos três ensaios do diamante Brasil Extra – Vertical .....	75
4.1.5 Diamante Mato Grosso – Horizontal.....	79
4.1.5.1 Primeiro ensaio - horizontal.....	79
4.1.5.2 Comparação dos três ensaios do diamante Mato Grosso – Horizontal.....	82
4.1.6 Diamante Mato Grosso – Vertical.....	86
4.1.6.1 Primeiro ensaio – vertical .....	87
4.1.6.2 Comparação dos três ensaios do diamante Mato Grosso – Vertical.....	89
4.2 Comparação entre os três tipos de diamantes na posição horizontal e vertical. .	93
4.3 Estimativa do tempo de vida em função do número de passadas .....	96
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>99</b>
5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	99
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE A – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE CVD SINTÉTICO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL .....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE B – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE BRASIL EXTRA NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE C – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE MATO GROSSO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL .....</b>	<b>123</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A dressagem é uma etapa que integra o processo de retificação, sendo esta uma operação de reconstituição da camada exterior do rebolo (DINIZ *et al.* 2013), ou seja, dressagem é o processo de condicionamento da superfície do rebolo visando sua remodelação quando o mesmo perdeu sua forma original pelo desgaste (XUE *et al.*, 2002). A dressagem proporciona a restauração da capacidade de corte de um rebolo por meio da usinagem da face de trabalho deste com uma ferramenta chamada dressador. A preparação do rebolo é um dos principais objetivos para garantir suas características da superfície de corte. Desta forma, a etapa de afiação de ferramenta chamada dressagem passa a fazer parte integrante do processo de retificação (OLIVEIRA, 1988), (BIANCHI, 1991). Nesse contexto, essa operação adquire uma grande importância no desempenho do rebolo e na qualidade do processo de retificação.

A retificação merece um destaque entre os processos abrasivos pela sua importância dentre os demais processos, onde boa parte é integrante das últimas etapas da usinagem, capaz de garantir uma produção com o alto grau de precisão e tolerâncias dimensionais bem definidas. Além de ser capaz de proporcionar um acabamento com um mínimo de valor na peça retificada possível, ou seja, o estado de superfície também é um diferencial nesse processo. Considerando que o desempenho de qualquer processo de retificação é muito condicionado à performance da ferramenta. Esta atuação pode alterar de maneira significativa durante o processo de retificação e isso atrapalha a previsão a respeito do desempenho do processo durante seu andamento (GAO *et al.*, 2007). Além do perfil exigido do rebolo, o processo de dressagem deve produzir uma topografia que é dependente de uma ferramenta apropriada em função da geometria solicitada.

O rebolo além de sofrer alterações durante o processo de retificação pode perder suas condições ideais em seu próprio processo de fabricação, tendo assim os resultados da retificação uma relação direta com as condições topográficas da superfície de trabalho do rebolo, estando essas condições alteradas e incertas, onde suas condições estão relacionadas com suas características geométricas e funcionais as quais devem ser restauradas periodicamente por um processo

conhecido como dressagem. Contudo, a técnica de dressagem não deve ser tratada separadamente, já que é uma componente essencial do processo de retificação, apresentando profundos efeitos no ato de remoção de metais e no perfil topográfico da peça trabalhada (BUTTERY *et al.*, 2001).

Os dressadores de ponta única, quando utilizados em rebolos duros, largos, de grande diâmetro, podem ficar com áreas achatadas, as quais cegam o rebolo nas operações subsequentes de dressagem, onde se tem como uma das principais desvantagens do método de dressagem de ponta única, o desgaste do diamante, a perda de tempo de operação e o aumento de custo por parada do processo para diversas dressagens (MARINESCU *et al.*, 2007). Etapa esta de dressagem que passa a ser fundamental a este processo que consiste no condicionamento da superfície do rebolo, operação esta que se realiza em conjunto ao perfilamento e afiação dos rebolos convencionais (MARINESCU *et al.*, 2007). As condições de dressagem podem provocar uma grande influência no desempenho da operação de retificação, onde determinadas variáveis como as forças de retificação e o tipo de operação é determinante nestas características de parâmetros a serem controlados.

O monitoramento deste processo se torna então uma questão de qualidade, onde o aperfeiçoamento das técnicas de retificação deve ser utilizado para a obtenção de um melhor rendimento do rebolo. Ela é principalmente aplicada para garantir alta precisão e qualidade (GAO *et al.*, 2007). Devido ao grande número de variáveis que influenciam neste processo, uma gama de ferramentas já foram desenvolvidas e cada uma delas é responsável pela abrangência de um número limitado de casos. O conhecimento acerca de tipos específicos de dressadores, dentre os vários existentes, proposto para a realização desses ensaios a serem monitorados serão os dressadores de ponta única piramidal confeccionada com diamantes naturais e sintético, sendo o principal tema deste estudo.

## 1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo verificar a qualidade de três tipos diferentes de diamantes que serão submetidos a parâmetros constantes de dressagem, visando estabelecer as vantagens e desvantagens de cada um. Serão realizados um ensaio e duas réplicas para cada dressador de ponta única com diamantes diferentes. O desgaste dos mesmos será medido a partir da comparação da área desgastada de cada diamante em uma média aproximada de cem passadas para cada etapa. Os diamantes submetidos aos ensaios são denominados um sintético CVD nacional e dois naturais denominados Brasil extra e Mato Grosso.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Estes ensaios permitirão uma comparação entre os diamantes naturais e sintético sendo testados quanto ao desgaste e a durabilidade no uso em dressadores de ponta única.

A ênfase do trabalho é gerar conhecimento técnico e científico quanto a vida útil do dressador em relação à quantidade de passadas. Com essas informações, se tem uma melhor fundamentação e maior apoio na escolha desses diamantes utilizados nos dressadores de ponta única, gerando uma referência a mais para a indústria.

A dressagem é de extrema importância ao processo de retificação, sendo esta a etapa de preparação do rebolo para que se garantam as condições ideais de trabalho. O problema quanto à dressagem, está por se tratar de um processo pouco estudado e sua abordagem nos demais processos de fabricação não ficam muito evidentes. Até pouco tempo não se tratava com muita ênfase e conseqüentemente, ficando muitas vezes em segundo plano.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A retificação merece destaque entre os processos abrasivos pela sua importância para a indústria metal-mecânica (MACHADO *et al.*, 2012). Conseqüentemente, como integrante desse processo, o uso do diamante na indústria é de grande importância na área da fabricação de rebolos e no uso da dressagem dos mesmos (NUSSBAUM, 1988). Porém, o uso deste importante material como ferramenta esteve em constante desenvolvimento nas últimas décadas. O diamante sintético desde a década de 50 vem em constante evolução ao desenvolvimento de técnicas aprimoradas para sua produção, onde estes são produzidos sob condições bem semelhantes aos naturais, a altas pressões e elevadas temperaturas. Atualmente compartilham as aplicações industriais junto com o diamante natural e CBN, apresentando as mesmas limitações referentes à temperatura de trabalho (NUSSBAUM, 1988). Algumas características do diamante natural estão em sua elevada resistência à abrasão e sua condutividade térmica anormalmente elevada para um material não metálico (CALLISTER, 2013).

### 2.1 Dressagem

A dressagem é a operação de reconstituição da camada exterior do rebolo, amplamente considerada como diretamente responsável pela topografia dos rebolos, ou seja, através da operação de dressagem, o processo de retificação pode ser controlado em termos das forças de retificação, do desgaste do rebolo e da rugosidade da superfície da peça de trabalho (DANESHI *et al.*, 2014). Conhecida por afiação do rebolo ou dressamento, restaurando a eficiência do rebolo por meio da usinagem da face de trabalho (PORTO *et al.*, 2004). A dressagem objetiva a remoção dos grãos abrasivos desgastados do rebolo e a exposição de grãos novos, conferindo agressividade, ou seja, a capacidade de corte (DINIZ *et al.*, 2013).

O tempo útil do rebolo, o ciclo de retificação e a condição final da peça, são os itens mais comprometidos pela operação de dressagem (MARINESCU *et al.*,

2007). Portanto, a dressagem tem a finalidade de restaurar a ação de corte da ferramenta (MARINESCU *et al.*, 2004).

### 2.1.1 Topografia do rebolo

O número de arestas ativas irá depender das condições de dressagem impostas. À medida que o rebolo vai se desgastando, aumenta-se a força de corte, aumentando a área desgastada na superfície do mesmo. Isso ocorre durante a retificação, devido aos grãos afiados desenvolverem arestas achatadas, enquanto os já achatados tornam o efeito do desgaste do rebolo mais acentuado e propiciam uma maior adesão de partículas. Dessa forma, o atrito se torna uma parcela importante do desgaste, responsável diretamente pelo aumento da força e cegamento dos grãos. Segundo Lin *et al.* (2008), a quantidade de arestas de corte ativas é o que constitui a topografia do rebolo. Assim, a topografia intervém na geometria do cavaco produzido e, em seguida, no processo de retificação como um todo. Alterações na topografia ajudam na explicação dos resultados dos parâmetros de retificação, no desempenho do processo, permitindo assim o seu controle. A quebra do grão, por sua vez, produz arestas de cortes mais aguçadas, num elemento denominado de autoafiação do rebolo (MALKIN, 2008).

A topografia do rebolo tem uma grande influência em seu desempenho, a sua forma macroscópica é gerada inicialmente pelo condicionamento, sendo antes ou durante o processo de retificação o rebolo é restaurado por meio da dressagem e perfilamento (MALKIN, 2008).

O desgaste dos dressadores de diamante tem uma grande influência sobre a topografia do rebolo que irá determinar o desempenho do mesmo (ZHANG; SHIN, 2003).

Podemos então considerar o processo de retificação como uma etapa que envolve a dressagem como constituinte da própria retificação. Neste aspecto, a remoção do material e as propriedades estáticas mais importantes da topografia do rebolo estão relacionadas aos parâmetros como a aresta de corte e sua classificação. Parâmetros esses ligados a afiação, largura e o volume de corte.



Sendo estes parâmetros referenciados a largura, massa e volume que estão interligados ao número de arestas de corte ativas por unidade de área da superfície do rebolo. A parte externa, ou seja, a face do rebolo é gerada pela quebra do grão ou do ligante (SALEH *et al.*, 2009).

Segundo Malkin (2008), nos rebolos superabrasivos o perfilamento é o responsável por ajustar a forma topográfica do rebolo, esta etapa deve ser realizada além da dressagem. Para os rebolos convencionais, o perfilamento pode ser desconsiderado devido ao momento da etapa de dressagem realizar o ajuste topográfico.

O desgaste do rebolo é geralmente é expresso como perda volumétrica de material, ou seja, é a quantidade de rebolo consumida durante determinado ciclo ou operação de retificação, enquanto a perda de afiação é decorrente do arredondamento das arestas cortantes dos grãos do rebolo (PORTO *et al.*, 2004).

### 2.1.2 Operação de Dressagem

Os dressadores diamantados são ferramentas aplicadas no perfilamento dos rebolos abrasivos convencionais, seja em óxido de alumínio ou carboneto de silício. Estas ferramentas de dressagem podem ser utilizadas desde operações simples de dressagem paralela até a construção de perfis em rebolos. Considerando que o desempenho de qualquer processo de retificação é muito condicionado ao desempenho da ferramenta, essa ação pode alterar de maneira significativa durante o processo de retificação e isso atrapalha a previsão a respeito do desempenho do processo durante seu andamento (GAO *et al.*, 2007).

Compreender os mecanismos da etapa de dressagem de rebolos é complexo para a obtenção de um excelente processo de retificação (MARINESCU *et al.*, 2007). Se a perda de afiação é o fenômeno predominante, os esforços de corte crescem e se eles não forem capazes de retirar o grão desgastado da liga, o rebolo precisa ser dressado (DINIZ *et al.*, 2013).

Deve-se, inicialmente, fazer uma distinção entre as duas operações de perfilamento e de dressagem que asseguram boas condições operacionais aos rebolos.

O perfilamento tem como objetivo dar forma concêntrica ao rebolo, podendo gerar também um perfil específico sobre o mesmo. Usado também para retirar cavacos e sujeiras que se encontram no rebolo (MARINESCU, *et al.*, 2007). Em outras expressões, o perfilamento objetiva uma adequada precisão para o rebolo (MARINESCU *et al.*, 2004).

A dressagem é o processo interligado entre perfilar e afiar o rebolo. Afiação é onde ocorre a remoção do ligante entre os grãos abrasivos (MARINESCU *et al.*, 2007). É a técnica de condicionamento da face do rebolo visando sua remodelação quando o mesmo perdeu seu formato original pelo desgaste (XUE *et al.*, 2002). Assim, a dressagem objetiva a restauração e a eficiência do corte da ferramenta (MARINESCU *et al.*, 2004). A figura 1 mostra as regiões dos grãos, dos ligantes e dos poros.

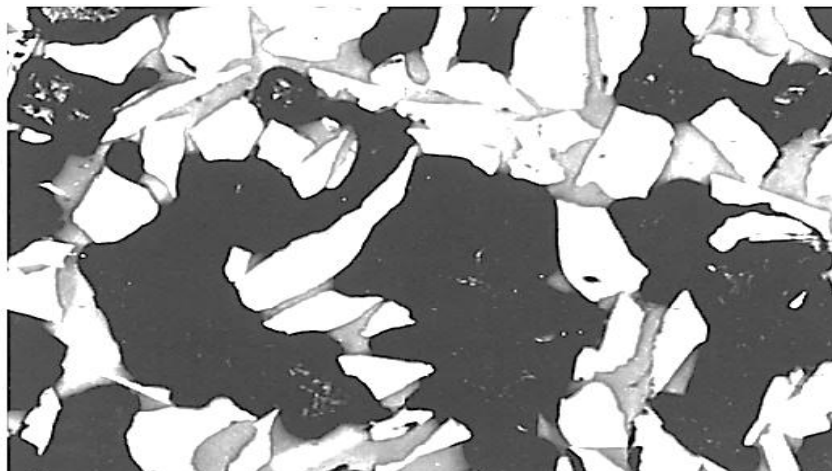


Figura 1. Fotomicrografia de um abrasivo cerâmico colado à base de óxido de alumínio. As regiões claras são os grãos abrasivos; áreas cinzentas e escuras são a fase de união e a porosidade (CALLISTER, 2013 - adaptado).

Devido à friabilidade que corresponde à facilidade do grão abrasivo se quebrar em pedaços sob uma determinada força ou impacto (NUSSBAUM, 1988),

os fragmentos abrasivos deveriam, teoricamente se tornarem automaticamente afiadas quando desgastados, porém, o que ocorre, é que estes se desprendem do rebolo ou se fraturam, expondo novas partículas com novas arestas de corte. Para garantir as características e sua funcionalidade do rebolo, é recomendado a dressagem com determinada periodicidade conforme o processo executado. Esta dressagem reproduz uma nova superfície de face cortante, dependendo do tipo e material do dressador na superfície ocorre o corte do rebolo, gerando uma remoção em torno de 10% do rebolo que sofre um desgaste na etapa de usinagem e o restante no processo de dressagem (JACKSON *et al.*, 2007).

Como o aumento da força da retificação não é suficiente para remover os grãos desgastados, torna-se assim necessário a realização da dressagem do rebolo.

A função da etapa de dressagem produz um grande controle no desempenho do processo de retificação. Esta ação de dressagem exerce importante influência nesta etapa, sendo que as forças que atuam durante o processo de retificação variam significativamente devido ao desgaste do rebolo, apenas modificando as condições de dressagem em um mesmo tipo de operação (OLIVEIRA, 1988).

Outros autores também alegam que a dressagem possui três finalidades principais (PORTO *et al.*, 2004).

- a) a remoção dos grãos abrasivos desgastados para aumentar a agressividade do rebolo;
- b) o perfilamento da face de trabalho para uma operação de forma;
- c) a obtenção de concentricidade entre a superfície de trabalho e o eixo de rotação do rebolo.

Na prática, a dressagem é entendida como uma operação de reafiação do rebolo, envolvendo ambas as operações de perfilamento e de dressagem, dependendo das necessidades da operação de retificação a ser realizada.

Além do perfil necessário do rebolo no processo de retificação, o processo de dressagem deve produzir um perfil apropriado. O perfilamento do rebolo influencia na rugosidade da superfície da peça de trabalho e da camada superficial do rebolo, o volume de poros e no comportamento ao desgaste da camada

abrasiva. O processo de perfilamento deve permitir uma retificação o mais consistente possível, tendo em consideração o desgaste do rebolo (LINKE, 2008).

A dressagem de um rebolo pode ser feita de diversas maneiras, utilizando-se vários tipos de dressadores. Em rebolos convencionais, as operações de perfilamento e afiação são usualmente simultâneas, falando-se então apenas em dressagem do rebolo.

Grande parte das operações de dressamento de rebolos ainda é realizada com dressadores fixos, especialmente com diamantes naturais. O resultado não é suficiente, mas mesmo assim, em geral, é bem melhor em relação aos rebolos com espécies de abrasivos de óxido de alumínio diversificados em suas propriedades e características. A automatização do processo de dressamento com dressadores fixos e na utilização de diamantes sintéticos nesses dressadores pode-se elevar ainda mais o potencial desses rebolos, além de aumentar a confiabilidade e melhorar a reprodução do processo (BUTLER-SMITH *et al.*, 2012).

As ferramentas de dressagem podem ser divididas, de acordo com o seu princípio de atuação, em dois grupos principais, dressadores estáticos ou rotativos.

### 2.1.3 Dressagem com Dressador de Ponta Única

É a ferramenta de dressagem mais simples (MARINESCU *et al.*, 2007). A dressagem através de um diamante de ponta única também é especificada por dressagem mecânica (HARIMKAR *et al.*, 2006).

O dressador de ponta única leva um único diamante, e necessita ter um ângulo formado entre o diamante e o rebolo. O diamante de ponta única desbasta a partir da extremidade do rebolo e deve ter um ângulo de ataque limpo para que o processo de dressamento seja eficaz (SALMON, 1992). Esse ângulo de posicionamento é representado na figura 2.

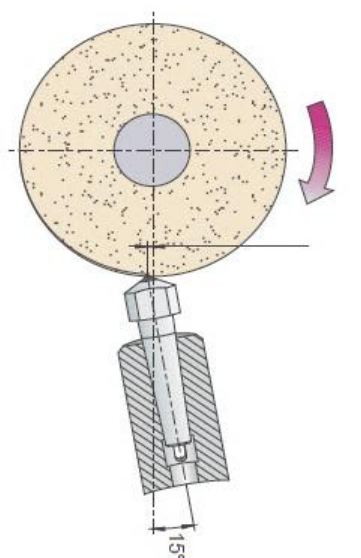


Figura 2. Ângulo formado entre o diamante e o rebolo (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas - 2013).

Caso o dressador estiver perpendicular para dressar o rebolo, o diamante ficará rapidamente gasto. Se o ângulo do diamante for igual ao ângulo superficial da ponta produzirá muito calor (SALMON, 1992).

Algumas das desvantagens da técnica de dressagem de ponta única esta no desgaste do diamante, no tempo de parada da operação e no aumento do custo por parada do processo por diversas dressagens (HARIMKAR *et al.*, 2006).

Numa dressagem de ponta única, o diamante deve receber certos cuidados. Ele deve ser rotacionado para que sofra o mesmo desgaste em volta de sua ponta. O diamante não deve sofrer impactos, batidas, quedas ou calor excessivo.

Caso ocorra o lascamento na ponta do diamante ou deformidades causadas pela falta de cuidado, a precisão do sistema estará criticamente comprometida (SALMON, 1992).

A dressagem de ponta única produz um estado de tensão nos grãos abrasivos causando profundas trincas. Devido a estas tensões, incide na perda de pedaços dos grãos, o que diminui no número de cantos ativos, conseqüentemente a

dressagem não produzirá uma adequada topografia no rebolo, não necessitando ser usada para essa intenção (JACKSON *et al.*, 2007).

Segundo Malkin (2008), a operação de dressagem de ponta única, mecânica, produz ao rebolo superfícies de trabalho compostas de macro e micro efeitos que são definidos como:

a) Macroefeito: é originado em função do formato do dressador, da profundidade de penetração do dressador e do passo de dressagem em que é realizada a operação. Este fenômeno determina a posição em que as arestas dos grãos abrasivos estão situadas na superfície do rebolo, conforme é demonstrado na figura 3.

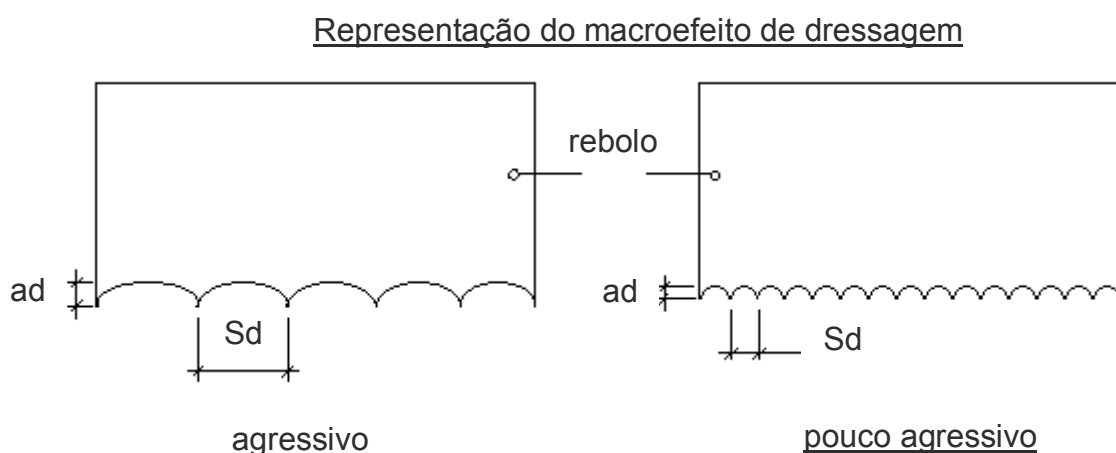


Figura 3. Representação do macroefeito.

O macroefeito torna a superfície do rebolo mais agressiva, onde existe uma pequena parcela de grãos abrasivos que estão ativados e que são responsáveis por retirar grandes quantidades de material. Nesta condição, os esforços sobre cada grão será grande, etapa essa que não impede a boa atuação do processo pelo fato das reduções das perdas com deformações plásticas e elásticas do material na área de corte minimizando a energia absoluta envolvida neste processo (HASSUI *et al.*, 2003).

b) Microefeito: é formado pela retirada dos grãos desgastados com baixa ancoragem na liga e fratura dos grãos que não se desgastaram por completo, onde novas arestas de corte são geradas pelo dressador, conforme é apresentado na figura 4.

Representação do microefeito de dressagem

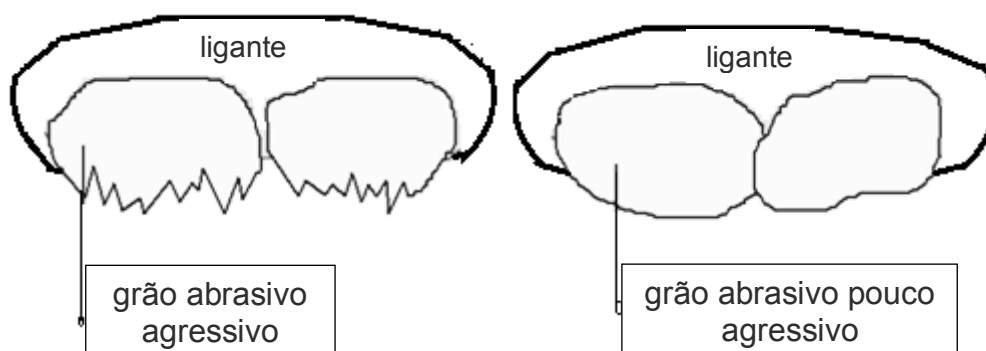


Figura 4. Representação do microefeito.

No microefeito, a agressividade das arestas depende das condições de dressagem e em grande parte da friabilidade do grão abrasivo. Na dressagem fina, por exemplo, onde há baixa profundidade de dressagem e o avanço do dressador ocorre à remoção ou fratura de grãos muito pequenos, o que proporciona a formação de planos nas superfícies de corte dos mesmos tornando-os mais agressivos ou não em função de sua granulometria. Analisando os extremos em termos de dressagem, a dressagem grossa com elevada profundidade de avanço do dressador, uma grande parte dos grãos abrasivos são quebrados, formando maiores arestas e mais afiadas (HASSUI *et al.*, 2003).

Na dressagem de rebolos convencionais é comum o uso da ferramenta de dressagem se deslocando transversalmente em relação ao rebolo rotacionado, conforme visualizado na figura 5.

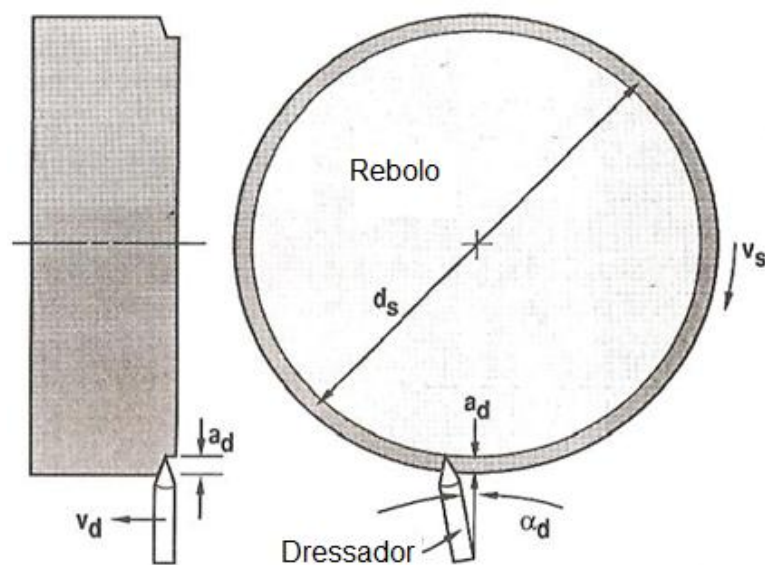


Figura 5. Dressagem de um rebolo por meio de um dressador de ponta única (MALKIN, 2008 - adaptado).

Segundo Malkin (2008), em cada deslocamento transversal do dressador no rebolo, é retirada uma profundidade  $a_d$  do raio do rebolo. Este tipo de movimento de dressagem é comparável ao de torneamento. Sendo o avanço da ferramenta de dressagem por revolução é chamado de passo de dressagem,  $S_d$ , e é dado pela equação 1.

$$S_d = \frac{\pi \cdot d_s \cdot v_d}{v_s} \quad (1)$$

Onde:

$v_d$  [mm/s] é a velocidade de dressagem do dressador pelo rebolo;

$v_s$  [mm/s] é a velocidade de corte do rebolo;

$d_s$  [mm] é o diâmetro do rebolo.



A figura 6 representa um esquema de dressagem onde o parâmetro  $s_d$  pode ser visualizado facilmente.

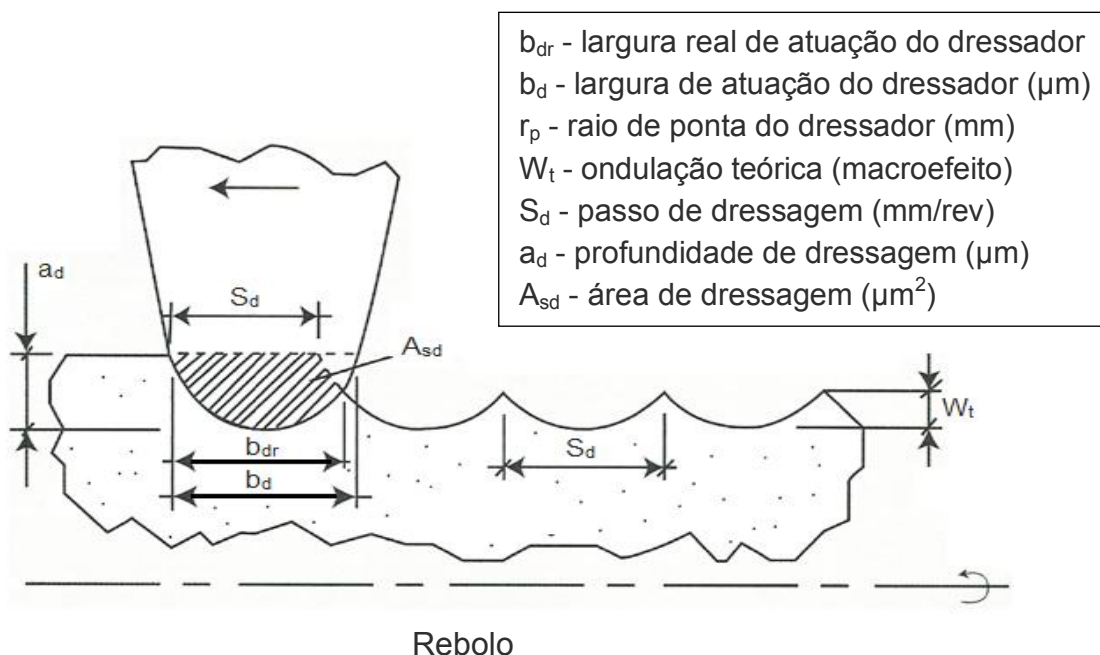


Figura 6. Esquema da dressagem de rebolos (Machado, 2012 - adaptado).

Após definição do valor da profundidade de dressagem, o dessorador se desloca longitudinalmente enquanto o rebolo gira, onde o passo de dressagem é dado por  $S_d$ , e a largura de atuação é representada por  $b_d$ , definindo assim a razão do grau de recobrimento (MACHADO *et al.*, 2012), que é dado pela equação 2.

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (2)$$

Onde:

$U_d$  é o grau de recobrimento;

$b_d$  é a largura de atuação do dessorador;

$S_d$  é o passo de dressagem.

Embora o número de parâmetros envolvidos na dressagem não seja pequeno, esta operação pode ser mais facilmente quantificada em função do grau de recobrimento, onde normalmente o requerido para avivar o rebolo convencional está entre dois a cinco passes de dressagem conforme o uso no processo. É evidente que as variáveis do processo podem ser necessárias mais passadas para remover cavacos e sobras de retificações passadas (MALKIN, 2008). A etapa de faiscamento ou centelhamento do rebolo é usada na retificação externa de mergulho, mas a necessidade dessa operação se dá em quase todos os processos de retificação (DINIZ, 2013).

#### 2.1.4 Construção de dressadores de ponta única

Em comum, a constituição do dressador é semelhante com a de um lápis, combinado por itens compostos de materiais de elevada dureza como diamantes e insertos, suporte – fixador, (Element Six, 2011). O elemento que merece maior consideração na ferramenta é o perímetro de fases de interação entre o compósito de material super duro e a matriz que desempenha um papel muito importante na estrutura do dressador evitando vibrações (NUSSBAUM, 1988), a figura 7 ilustra um desenho esquemático de um dressador de ponta única.

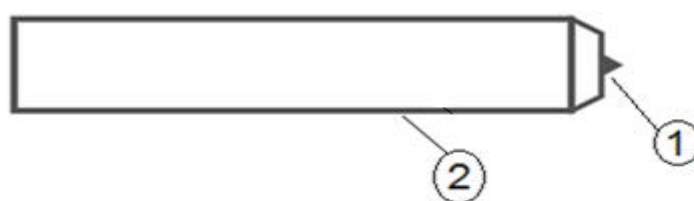


Figura 7. Desenho esquemático de um dressador de ponta única: 1 - diamante; 2 - suporte (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas. 2013 - adaptado).

A dressagem de rebolos é seguida de uma grande variação de temperatura, esforços relativamente grandes e cargas dinâmicas de alta frequência

que se concentram em um pequeno volume no dressador. Por esse motivo, na parte de contato ocorre uma grande liberação de calor, que tem temperaturas em volta de  $726.85\text{ }^{\circ}\text{C} \cong 1000\text{ K}$ , necessitando assim de refrigeração. Por esta razão, os meios de corte do dressador além de alta resistência, a dureza, a resistência à fratura, devem possuir alta condutividade térmica, disposição calorífica e resistência térmica (PRICKEN, 2005).

Os esforços residuais que surgem devido aos diferentes níveis de expansão térmica dos materiais que são utilizados nesta construção composta reduzem a capacidade do dressador, que é feito através de processos de metalurgia de sinterização sob elevadas temperaturas.

O exame do resultado dos dressadores como elemento de corte constituído de diamante garante que apenas a simples permuta do diamante natural pelo policristalino de diamante sintético não consente resolver o problema técnico. Esta incoerência está vinculada com o fato de que o policristalino diamantado com altas propriedades mecânicas e termo resistência têm índices de condutividade térmica e capacidade calorífica menores do que os do diamante natural (HARANO *et al.*, 2012).

O conhecimento sanciona que a questão da substituição de diamantes naturais por sintéticos em ferramentas de afiação podem ser resolvidos atendendo exclusivamente as condições do funcionamento da ferramenta, que é constituída de elementos com funções variáveis ou de conjunto de uma peça só e não de somente pelo elemento de corte isolado (ZHANG *et al.*, 2003). Ou seja, usando a solução complexa que se recomenda na:

- Preparação do material sintético de elevada dureza para a componente de corte onde as propriedades permitam suprir os diamantes naturais;
- A construção com todo esmero da ferramenta de afiação o dressador;
- No processo de desenvolvimento de uma tecnologia de produção que cubra os índices técnicos econômicos correspondentes, tanto na fabricação como no seu funcionamento.

### 2.1.5 Diamantes naturais utilizados na confecção de dressadores

A alternativa dentre o diamante natural ou sintético para os dressadores fixos, depende de elementos como a especificação do rebolo, a característica da superfície a ser retificado, o tempo de dressamento e o perfil do rebolo a ser dressado (DERKX *et al.*, 2008). As propriedades mecânicas do diamante natural têm sido extensivamente pesquisadas nas últimas cinco décadas, mas mesmo considerando as várias pesquisas feitas sobre o tema, poucas alcançaram alto nível de satisfação, devido às características únicas do diamante. Mas possivelmente um dos fatos mais marcantes entre os grandes acontecimentos industriais está no lançamento do diamante sintético (NUSSBAUM, 1988).

O diamante natural pode ser definido em temperaturas e pressões atmosféricas ambientais, como um polimorfo metaestável do carbono. A sua estrutura cristalina é uma variação da blenda de zinco. Nessa estrutura, cada átomo de carbono se liga a quatro outros átomos de carbono. Essas ligações são totalmente covalentes. Esta estrutura recebe o nome de estrutura cúbica do diamante e são encontradas em outros elementos, como o germânio, silício e estanho cinzento, abaixo de 13°C (55°F). A figura 8 ilustra essa estrutura.

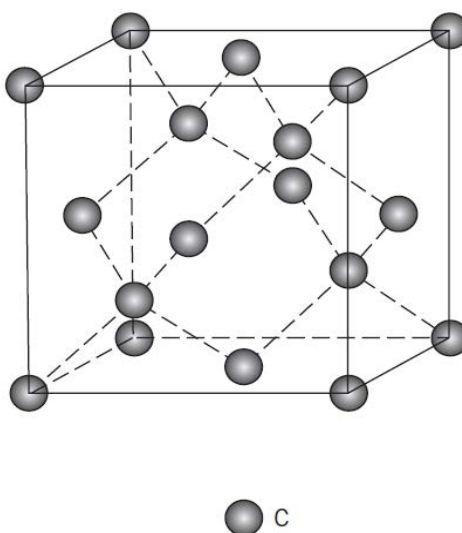


Figura 8. Uma célula unitária para a estrutura cristalina cúbica do diamante (CALLISTER, 2013 – adaptado).

As propriedades físicas do diamante natural o tornam extremamente atrativo. Ele é o material mais duro conhecido e possui uma condutividade elétrica muito baixa. Essas características são devidas à sua estrutura cristalina e às fortes ligações interatômicas covalentes. O diamante natural apresenta ainda uma alta condutividade térmica para um material não metálico, além de ser ópticamente transparente nas regiões visíveis e infravermelho do espectro eletromagnético e possuir um elevado índice de refração (CALLISTER, 2013).

As propriedades térmicas do diamante são favoráveis no que ajudam a reduzir as temperaturas de retificação, suportando a uma temperatura elevadíssima de aproximadamente de 3000 °C antes que sua estrutura seja destruída por meio de energia térmica (VAN LACK, 2012).

Monocristais de diamante relativamente grandes e com alto índice de pureza são usados como pedras preciosas para jóias. Industrialmente, os diamantes são utilizados para triturar ou cortar outros materiais mais moles. A grande desvantagem do diamante natural para o uso industrial é seu elevado custo e, atualmente, na dificuldade de encontrá-los na natureza (CALLISTER, 2013).

A maioria dos dressadores fixos é constituído de diamante natural. Quando o diamante se desgasta aumenta a sua área de contato, que conseqüentemente, provoca uma variação do contato entre o dressador e o rebolo, ou seja, a variação do grau de recobrimento. Com o desgaste, a largura ativa do diamante aumenta e as forças sobre ele crescem a ponto de extraí-lo da matriz. Quando isto não acontece, a relação com o rebolo tem o gume arredondado e não consegue abrir a estrutura do rebolo, tornando lisa sua superfície. Isso comumente ocorre quando as características da matriz são de elevada dureza. De outra forma, no grão com gume ocorre o problema da falta de poder de corte, mas a diferença da largura ativa continua sendo inevitável (BELMONTE *et al.*, 2003).

Os diamantes de dressadores de ponta única tem sua dimensão ativa alargada com o desgaste, o que leva à variação dos resultados de dressamento. Logo para um diamante natural de adequada condição, que pode ser cortado e lapidado para adquirir as formas de um lineal uniforme, a partir de um diamante na forma de um grão, por exemplo, acaba sendo economicamente inexecutável. É neste fato que os diamantes sintéticos têm sua ampla vantagem, por ter o formato de um

prisma de seção quadrada, onde a largura de contato do diamante com o rebolo é sempre a mesma, desde que não ocorra o macro lascamento. Deste modo, o grau de recobrimento será sempre o mesmo até o desgaste final do diamante. Esta particularidade faz com que o método de dressagem seja mais estável, permitindo assim que se torne automático (FLETCHER, 2007).

#### 2.1.6 Diamantes sintéticos

A partir do surgimento no mercado do diamante sintético por volta de 1957 produzido pela General Electric Co. (EUA), a sua disponibilidade comercial tem sido um dos principais contribuintes para os grandes avanços verificados durante os últimos 57 anos, tanto na tecnologia de ferramentas abrasivas de diamante, quanto na gama de aplicações em que são solicitados. Além disso, o abastecimento restrito de diamante natural atrapalhava o desenvolvimento de novas ferramentas de diamante (BAILEY, 2000).

A tecnologia de fabricação dos diamantes sintéticos em altas pressões já estava em andamento e dominada por várias empresas desde a metade da década de 50. Estas pressões constituíam-se acima de 60.795 bar e a temperaturas acima de 1726,85 °C. Suas principais aplicações para o diamante sintético eram em ferramentas de corte e para polimento de superfícies. Na década de 70 começaram a surgir trabalhos de pesquisas acadêmicas com ênfase em obter pequenas camadas de diamantes a partir de gases que possuíam carbono em seu arranjo (BROOKES, 2010). A figura 9 representa um exemplo de deposição química a partir de gases.

Baixo consumo de energia plasma-intensificado

Deposição química a vapor (LEPECVD)

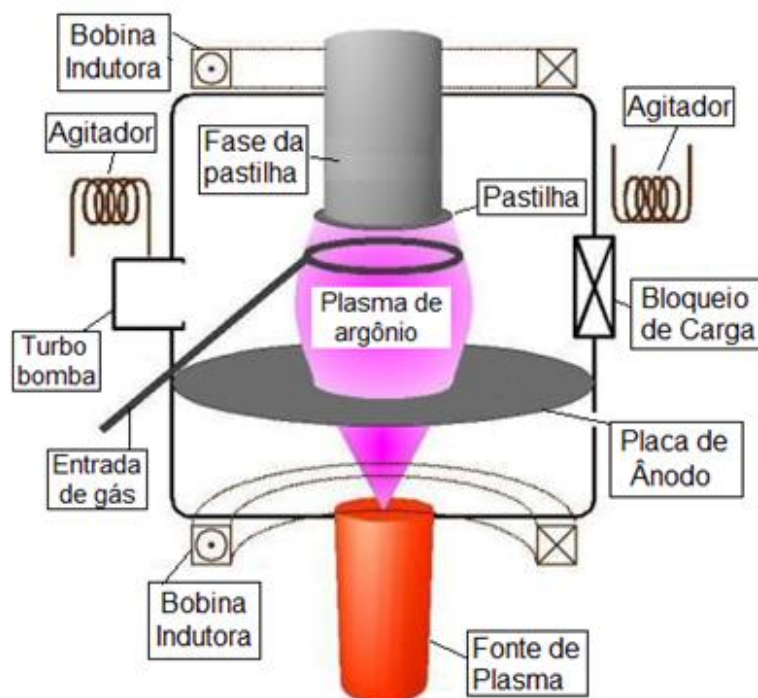


Figura 9. Diagrama da deposição química a vapor – CVD (Iness.com.polimi.it/lepecvd.php. 2013 - adaptado).

Estas pequenas camadas, chamadas de filmes, eram produzidas em pressões menores do que uma atmosfera e em temperaturas abaixo de 926,85 °C, com substratos revestidos com pó de diamante. A partir disso, a técnica de obtenção de diamante a partir de um gás precursor se disseminou pelo mundo, como um método muito mais fácil e produtivo do que o utilizado nas décadas de 50 e 60. Este diamante sintético sucedido desta técnica passou a se chamar diamante CVD (ANGUS *et al.*, 1995).

O amplo interesse pela composição do diamante é de suas propriedades físico-químicas, sendo esse o material mais duro conhecido pela escala Mohs igual a 10, possui baixa densidade 3,52 g/cm<sup>3</sup>, baixo coeficiente de expansão térmica 0,8x10<sup>-6</sup> /°C a 19,85 °C, alto índice de refração 2,42, condutividade térmica maior do que qualquer outro material à temperatura ambiente

$20 \text{ W cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . É opticamente transparente nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético e tem alto índice de refração, excelente isolante elétrico, inerte quimicamente, oferece compatibilidade biológica e quando dopado torna-se um bom semicondutor (ANGUS *et al.*, 1995).

São várias as técnicas e procedimentos utilizados para a obtenção do diamante CVD, que se diferem fundamentalmente pelo processo usado na decomposição e ativação da mistura gasosa, que resultará num gás ionizado, conhecido como plasma. As tecnologias conhecidas são o plasma gerado por micro-ondas – MWCVD, filamento quente – HFCVD, chama de acetileno e oxigênio – ATCVD, jato de plasma – AJCVD – (OHTAKE *et al.*, 1990).

Embora o amplo número de técnicas utilizadas para a obtenção de filmes com boa qualidade para esta tecnologia continua em fase de prosseguidos testes, onde uma ampla quantidade de trabalhos está sendo publicado (TRAVA-AIROLDI *et al.*, 2002).

A produção dos filmes de diamantes sintéticos pode ser dividida em duas etapas: a nucleação e o crescimento. Na nucleação ocorre o desenvolvimento de nano cristais de diamante a partir da fase vapor. De uma percepção, a densidade de núcleos no processo CVD esta amarrado de tal maneira ao material do substrato e do seu preparo quanto dos parâmetros de deposição. Na etapa de nucleação, o percentual de sobrevivência dos núcleos é crítico, portanto, eles necessitam passar de um tamanho crucial para que o seu crescimento seja mais acelerado que o seu desgaste pelo ataque químico e por difusão no substrato (BROOKES, 2010).

Posteriormente a etapa inicial de nucleação, a fase de crescimento dos núcleos podem ser divididas em duas etapas. A primeira etapa está na junção de partes que se encontravam separadas, onde os núcleos crescem até se tocarem cobrindo toda a superfície do substrato. A segunda etapa vai desde a junção destas partes até a conclusão da deposição. Neste momento, o filme evolui em espessura crescendo em forma de coluna, onde plano cristalino expõe uma taxa de crescimento particular, resultando em diferentes morfologias que dependem da razão entre a taxa de crescimento dos planos. Esta razão depende, principalmente, da concentração dos gases e da temperatura do substrato (KIM *et al.*, 1990). A figura 10 ilustra os micros cristais de um filme de diamante.





Figura 10. Micrografia eletrônica por varredura de um filme fino de diamante onde são mostrados numerosos micro cristais multifacetados (CALLISTER, 2013 - adaptado).

Os principais problemas que são encontrados na fabricação e no emprego do diamante CVD, esta na influência das propriedades químicas do substrato, na ampliação da taxa de nucleação e na aderência do filme (BROOKES, 2010).

Para reduzir estas dificuldades, é necessário que as propriedades químicas do substrato recebam outros materiais, entre eles, lâminas de silício que formarão substratos com planos altamente completos. Porém o processo se torna mais lento apenas início, depois de um longo período de tempo (WILLIANS *et al.*, 1988). Outros substratos também podem ser empregados, como o molibdênio (Mo), tântalo (Ta) e o tungstênio (W).

Se o carbono que aborda a superfície seja retirado rapidamente por propagação no substrato, a nucleação torna-se demorada. As reações químicas entre o substrato e os gases reagentes, como o carbono e o hidrogênio atômico e molecular, tem enorme influência na nucleação (JOFFREAU *et al.*, 1988).

Estrias na superfície de substratos metálicos e cerâmicos produzidos por fragmentos de diamante, ou outros materiais duros, elevam a densidade de nucleação do diamante (BROOKES, 2010). Eventualmente não ocorra esse

aumento na taxa de nucleação, ficará muito mais difícil a produção de filmes grossos, já que na maior parte dos métodos a nucleação natural em muitos substratos não é alta o suficiente.

A união dos filmes é seguramente associada com as reações entre as interfaces, derivando principalmente da diferença entre os coeficientes de expansão térmica da camada e do substrato. Variações nas interações entre o substrato e a fase gasosa também podem ocasionar influência na adesão entre eles. O desenvolvimento de espécies gasosas interfere não somente a nucleação, mas igualmente a adesão das camadas de diamante.

Uma possível interação entre os coeficientes de expansão e a propriedade das reações no substrato não são qualidades suficientes para cobrir um grau de aderência suficiente para muitas aplicações em proteção e recobrimento.

Porém, nenhuma das películas que já foram produzidas possui uma regularidade cristalina em larga escala dos diamantes naturais. As propriedades mecânicas, elétricas e óticas das películas de diamante já sintetizados se aproximam daquelas do diamante bruto, mas ainda não de forma altamente satisfatória (CALLISTER, 2013).

A fabricação em larga escala do diamante sintético proporcionou dois benefícios. Primeiro, existia a disponibilidade potencialmente indefinida de diamante industrial em comparação com os volumes restritos de material natural apropriada e em segundo, a ocasião de melhorar os materiais de engenharia com propriedades específicas apropriadas para determinadas aplicações nos setores industriais.

Como visto o uso do diamante para fins industriais atualmente chega a cerca de 90% na composição sintética e os demais 10% do diamante natural. Sendo seu principal uso em forma de grãos de diamantes aplicado na usinagem a corte e em perfurações em geral. Dimensões mais refinadas do diamante são amplamente aplicadas na área de abrasão, polimento, serragem, cerâmica, carboneto de tungstênio e em uma série muito vasta da engenharia, principalmente em materiais não ferrosos e outros demais materiais industriais (BAILEY, 2000).

O diamante sintético CVD – do inglês “Chemical Vapour Deposition” (Deposição química a vapor), tem como produção atual uma avançada metodologia que utiliza micro-ondas de plasma para a síntese e refino do diamante. É possível

sintetizar diamantes com distintos formatos e tamanhos para que sejam empregados nas mais variadas formas. O processo de fabricação baseia-se necessariamente na decomposição de gases que contenham moléculas de carbono, tais como o acetileno, metano ou o dióxido de carbono, em pressões muito abaixo da atmosfera terrestre e depositados com pequenos diamantes que são fundamentais para a geração de substratos que formarão as camadas dos diamantes sintéticos (ELEMENT SIX, 2011).

A utilização do diamante em áreas especializadas, como exemplo, na usinagem de alta precisão de materiais com formatos finos e a dressagem de rebolos abrasivos convencionais por várias décadas foi se usado o diamante natural. Mas na década de 80, a tecnologia para uma produção econômica de grandes cristais de diamante sintéticos foi ampliada, ou seja, aprimorada, e peças completas de cristais sintéticos ou cortados da ordem de vários milímetros de tamanho são utilizadas para estas aplicações industriais de alta precisão (BAILEY, 2000). O uso do diamante sintético empregado nas ferramentas de corte, de abrasão, em protetores de superfícies contra corrosão, ferramentas odontológicas, protetores ópticos e outras aplicações. No início da década de 90, já se enxergava nos Estados Unidos um negócio de bilhões de dólares, como acontece nos dias de hoje (ERENO, 2012).

#### 2.1.7 Desgaste de dressadores estáticos e suas consequências

O desgaste dos dressadores é especialmente influenciado pelos parâmetros de dressamento. No processo de retificação a rugosidade é altamente dependente do nível de desgaste dos grãos abrasivos (PORTO, 2004). O desgaste demorado e contínuo da ferramenta de diamante é o ponto para alcançar condições do plano do rebolo consistente e um resultado de retificação seguro (SHIH, 2001). À medida que o diamante desgasta, sua geometria se modifica e, conseqüentemente, são geradas variações significativas nos resultados do dressamento. Por exemplo, na figura 11 demonstra esse aumento da superfície de contato do dressador, ocasionado pelo desgaste, resultando em uma topografia com mais força no rebolo

quando dressado com os mesmos parâmetros. A modificação do perfil de dressadores com grãos de diamante natural também leva à variação da rugosidade inicial do rebolo.

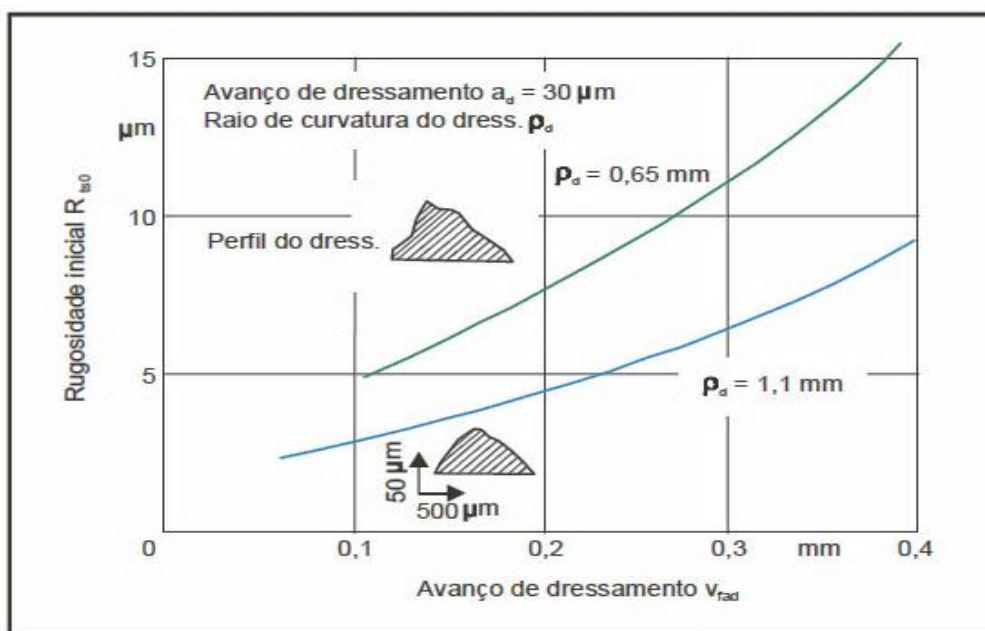


Figura 11. Rugosidade inicial em função do avanço de dressagem e do perfil do diamante do dressador (MESSER, 2003 - adaptado).

O exemplo citado na figura 11 confirma que a geometria do dressador interfere nos resultados do dressamento. Assim não basta conservar os parâmetros do processo constantes para se obter topografias reproduzíveis no dressamento (MESSER, 2003).

No desgaste do dressador de ponta única sua largura efetiva vai se alterando para mais, paralelamente ao momento que as etapas se propagam, resultando no aumento do raio de curvatura do diamante. Para manter o grau de recobrimento em uma constante, é necessário neste caso, suavizar o avanço axial. No dressador com diamantes em forma de grão, esse problema igualmente acontece, mas com menor intensidade (MESSER, 2003).

Os dressadores com grãos de diamantes naturais e os dressadores conglomerados apresentam uma forma de desgaste desejável por ser mais versátil e robustez e por também possuir múltiplas pontas cortantes. O dressador conglomerado é uma ferramenta constituída por uma haste de aço e uma pastilha de secção redonda ou retangular, composta de pequenas pedras de diamante natural aglomerada através de uma liga. Esse modelo de dressador pode ser melhor visualizado na figura 12.

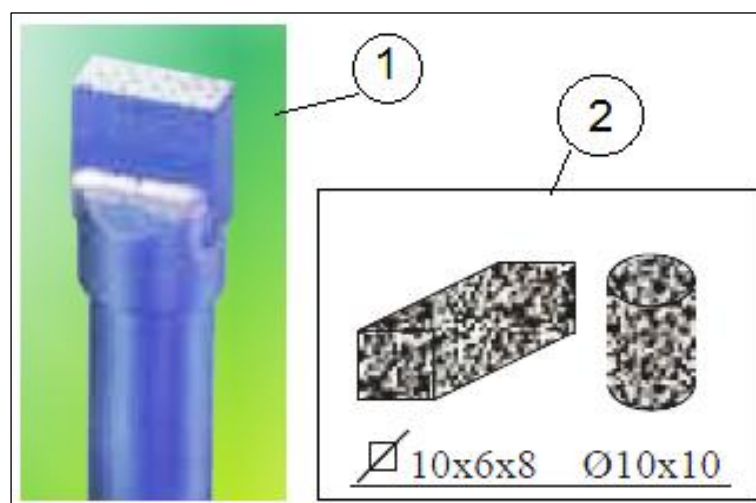


Figura 12. Imagem de um dressador conglomerado: 1 - dressador conglomerado; 2 – pastilha do dressador conglomerado (Catálogo T.F.S. Terra Ferramentas Superabrasivas. 2013 - adaptado).

Os grãos de diamante ao entrarem em contato com o rebolo se arredondam e abafam a sua capacidade de corte, sendo necessário serem retirados da matriz. Isso acontece devido ao acréscimo das forças operando sobre eles, deixando que os grãos com cortes afiados, situados na camada logo abaixo, possam agir. Como consequência, sucede uma leve alteração nos resultados de dressamento, o que é percebível em metodologias de precisão. De outra maneira, caso os grãos desgastados não forem extraídos, o dressador perde o poder de corte e não consegue mais abrir a estrutura do rebolo, passando praticamente a alisá-lo (MURAKAWA *et al.*, 2001).

Constatou-se na prática, que a intensidade do contato entre o dressador com diamante sintético e o rebolo ocorra de tal forma, que o diamante apresente uma topografia abrasiva. Essa qualidade leva a adequados efeitos de dressamento. Uma topografia lisa é um sinal de que o diamante não está conseguindo gastar a estrutura do rebolo, ou seja, está alisando-o. Para estas condições, o rebolo também estará alisando o diamante do dressador por ausência de agressividade em relação ao seu desgaste.

Ao se utilizar os dressadores conglomerados com grãos de diamante natural, pode incidir o macro lascamento do diamante em condições de elevadas forças. Caso isso ocorra, a consequência do dressamento oscilará muito. O importante é que desse modo são instituídos novos gumes afiados, alterando-se os parâmetros de dressamento, os resultados podem ser de boa qualidade. Por outro lado, a repetição do processo é baixa (GRAF, 2008).

## 2.2 Processos de Retificação

O processo de retificação é utilizado como a técnica mais eficiente e eficaz para dar acabamento e precisão a uma peça usinada. É uma operação que acontece geralmente após um torneamento, furação e fresamento (FITZPATRICK *et al.* 2013).

Processo este muito utilizado na indústria metal mecânica, sendo integrante na maior parte, das últimas etapas do processo de fabricação de uma peça. Como conhecida por ter a característica de garantir tolerâncias dimensionais na ordem de IT4 e IT6, e baixas rugosidades Ra de 0,2 a 1,6  $\mu\text{m}$ , no geral é um processo de acabamento (DINIZ *et al.* 2013). As forças de retificação desempenham um papel importante neste processo, uma vez que é um importante indicador quantitativo para caracterizar o modo de remoção do material. A energia específica de retificação e os danos de superfície são fortemente dependentes das forças de retificação. Na retificação, a remoção de material ocorre por meio da soma de deformações microscópicas ou pela fratura no ponto onde um grão abrasivo está agindo naquele determinado instante (PORTO *et al.*, 2004). Portanto, a medição das

forças durante o processo é essencial. A proporção da força tangencial específica em relação à força normal específica pode ser considerada um indicador de fragilidade da matéria.

Segundo Tönshoff (1999), a micro topografia ativa da superfície dos rebolos é determinada por dois processos: o procedimento de condicionamento para a preparação da ferramenta no avivamento e perfilamento e as alterações decorrentes da micro topografia durante a retificação. A fratura dos grãos abrasivos, a remoção dos grãos abrasivos da liga e o desgaste da liga, são predominantes na alteração na estrutura do rebolo, como apresentado na figura 13.

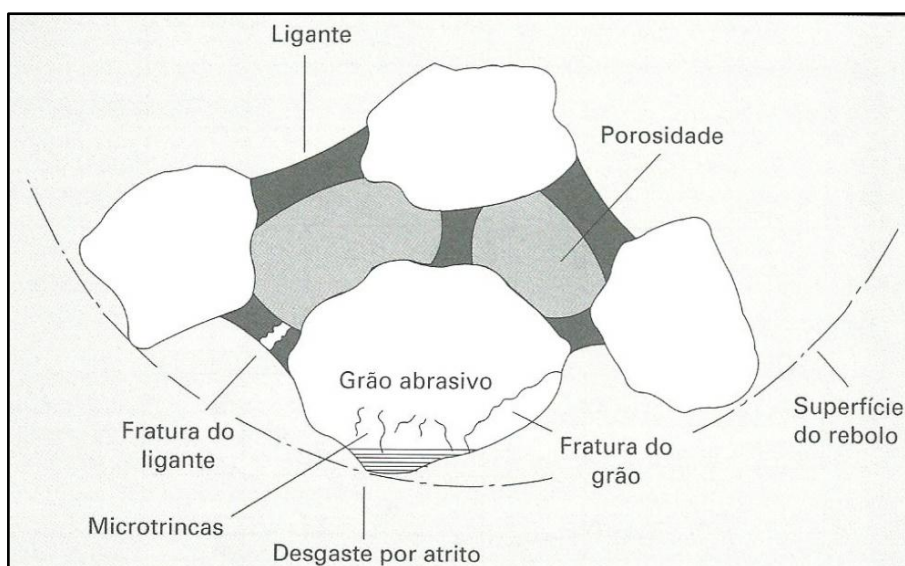


Figura 13. Representação das alterações ocorridas na estrutura do rebolo - micro trincas durante a retificação (MACHADO, 2012 - adaptado).

### 2.2.1 Rebolo

É uma ferramenta de corte empregada na retificação, constituído por grãos abrasivos, material ligante também chamado de aglomerante e poros. Deve ser relativamente poroso, de modo a permitir o alojamento do fluido de corte e de cavacos, principalmente em operações onde o comprimento de contato do rebolo com a peça é mais extenso (MACHADO *et al.*, 2012). O rebolo pode ser fabricado

numa grande variedade, tipos ou estruturas que são determinadas pela percentagem do volume relativo de grãos abrasivos, de fixação e de porosidade. Em sua fabricação se encontra grande quantidade de grãos abrasivos, sendo misturados ao um material ligante e prensados a alta pressão, com camada densa e baixa porosidade, resultando em um rebolo. Os grãos que o constituem possuem arestas de corte de geometria indefinida. Sendo assim, para a escolha do rebolo, os elementos a serem considerados estão em suas características, no seu desempenho onde se relaciona ao material do grão abrasivo, tamanho do grão, dureza, estrutura do rebolo e da liga aglomerante (DINIZ *et al.* 2013).

Sua composição está em três elementos, grão abrasivo de contato de material e remoção, poros e o aglomerante para reter os grãos abrasivos no rebolo e a cavidade intergranular para a armazenagem do material removido. Os rebolos são caracterizados pelo seu material abrasivo e classificados como rebolos convencionais (óxido de alumínio) e rebolos superabrasivos (nitreto de boro cúbico – CBN e diamante). Para rebolos resinóides e rebolos metálicos sua estrutura e o espaço intergranular devem ser criados dentro do processo de cura, essa estrutura está representada na figura 14.

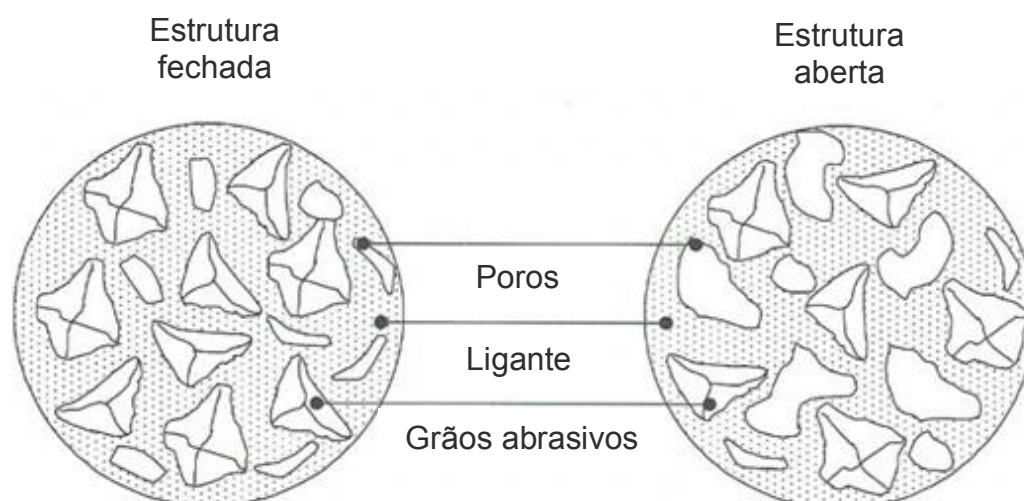


Figura 14. Estrutura de um rebolo de retificação (PORTO, 2004 - adaptado).



Desde o princípio do rebolo, podemos dizer em duas geometrias, a macro e a micro geometria. A geometria macro é representada em forma de uma cabeça com uma saliência curva sobre todos os grãos salientes na direção circunferencial e perfil médio numa superfície de revolução. A geometria micro é dada pelas particularidades geométricas do volume do grão, ou um espaço intergranular. Se os esforços aplicados no rebolo forem elevados, ocorrerá a extração dos grãos, rompendo-se e conseqüentemente, gerando novas arestas de corte. Mas nem todos os grãos são sempre ativos, denominando a esse processo como a quebra dos grãos. Este rompimento ocorre na retificação entre o contato do rebolo, ou seja, das arestas de corte o material que está sendo retificado. Esta relação é responsável pela abrasão do grão, o qual leva ao desgaste do grão que incide no atrito de desgaste. Quando o desgaste do rebolo é nulo, logo perde a afiação e quando o desgaste é grande, esse sempre se encontra agressivo (DINIZ *et al.* 2013).

O contato entre o aglomerado e o cavaco leva ao desgaste, o que enfraquece a retenção de grãos, que na sequência começa com danos de desgastes por atrito nas zonas de contato, acompanhada de um aumento nas forças sobre os grãos ou por um enfraquecimento das forças de retenção de grãos, dando origem a uma falha mais relevante, além disso, que conduz a um aumento de geração de calor, que por sua vez aumenta o desgaste e pode provocar danos à integridade da superfície da peça.

### 2.2.2 Grãos Abrasivos

Os grãos abrasivos aplicados em todos os processos de retificação são partículas duras e frágeis. A dureza do rebolo não está associada à dureza dos seus grãos abrasivos, mas a capacidade do ligante manter o abrasivo unido, ou seja, na estrutura de partículas duras o rebolo capaz de reter o abrasivo sob condições severas, e na estrutura de partículas macias é considerado ao desprendimento dos abrasivos com facilidade (MACHADO *et al.* 2012).

A seleção de um abrasivo para uma determinada aplicação, em específico, pode ser fundamentada em testes de resistências ao impacto, a fadiga, a compressão, a friabilidade dinâmica e a resistência ao lascamento, os quais sobrevivem a condições de influência de tensão térmica (MARINESCU *et al.* 2004).

Como verificado acima, uma importante propriedade de um abrasivo é que ele tenha uma dureza superior a do material a ser retificado. Esta dureza comumente é determinada pela resistência à indentação estática como verificado no teste de dureza Knoop. A verificação da medição dessa dureza está ganhando reconhecimento intensivo para medição de dureza de grãos abrasivos. O método Knoop utiliza uma ponta de diamante lapidada na forma piramidal é usada para fazer uma micromossa na amostra, sob cargas que podem variar entre 25 até mais de 300 gramas. A dureza Knoop é especificada pela medição da diagonal da moosa produzida pelo diamante e relacionando a mesma com a carga usada (STEMMER, 2008). Processo esse padronizado pelo NIST – National Institute of Standards and Technology dos Estados Unidos.

Outra particularidade fundamental para considerar em um abrasivo é a friabilidade. Para Marinescu *et al.* (2007), a friabilidade é a tendência da separação do grão em pequenos pedaços sob pressão. Estas características são em função da integridade, da forma, e pureza do cristal que formam o grão. Estas características são criadas em decorrência do crescimento do cristal no tempo de sua composição. Os abrasivos podem ser classificados em naturais ou artificiais.

Os naturais são aqueles extraídos diretamente da natureza. Pode-se citar como os principais representantes deste grupo o quartzo, o esmeril, o coríndon e o diamante.

Os artificiais possuem vantagens em relação aos abrasivos naturais, pois eliminam os problemas das impurezas e a inconsistências dos abrasivos naturais. Isto é, sua produção pode ser cuidadosamente controlada. Os principais representantes deste grupo são: óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), carboneto de silício (SiC), e os superabrasivos com o nitreto de boro cúbico (CBN), e o diamante policristalino (PCD), (DINIZ, 2013).

As dimensões dos grãos abrasivos segundo Stemmer (2008) estão classificadas pela norma americana ANSI Standard B74. 12-1977” *Specification for*

*Size of Abrasive Grain*”, que decide o tamanho do grão em granulometria, sendo pelo número de furos por polegada linear da peneira, o qual os grãos com diferentes dimensões permanecem retidos durante o procedimento de seleção.

Para os grãos de diamante e CBN, é utilizada a classificação da Norma Europeia FEPA (Federation European Producers of Abrasives) que especifica o diâmetro teórico do grão (MARINESCU *et al.* 2007).

Os grãos mais finos são recomendados para operações de acabamento e os grãos grossos são recomendados para operações mais grosseiras como desbastes, que são determinados pela granulometria:

- De 8 a 14 – Grãos muito grosseiros
- De 16 a 36 – Grãos grosseiros
- De 46 a 80 – Grãos médios
- De 90 a 220 – Grãos finos
- De 240 a 1200 – Grãos muito finos

### 2.2.3 Abrasivos Artificiais Convencionais

O óxido de alumínio é o abrasivo convencional mais empregado nas operações de retificação atualmente. Ele é o mais duro dos óxidos e é possível encontrá-lo no mercado em diversas formas e tamanhos. São fabricados na combinação de alumina – minério de alumínio semirrefinado com oxigênio a temperaturas muito elevadas (FITZPATRICK *et al.* 2013). Indicado para a retificação de materiais de alta resistência, os óxidos de alumínio do tipo básico são o comum, branco, rosa, monocristal, alta tenacidade e o grão produzido pela tecnologia SOL-Gel (SG). Dos citados, podemos destacar o óxido de alumínio SG como a ponta da cadeia evolutiva dos óxidos de alumínio (SHAW, 1996).

#### 2.2.4 Superabrasivos

São abrasivos mais avançados projetados para tarefas especializadas muito solicitadas industrialmente em processos especiais. Os superabrasivos são mais duros e mais resistentes ao desgaste, tem uma vida mais longa quando aplicados adequadamente. Com avanço na tecnologia de retificação foram desenvolvidos dois principais e comerciais superabrasivos: diamante sintético e o nitreto cúbico de boro (CBN). Eles são especialmente adequados para a retificação de materiais com propriedades mais difíceis de serem trabalhadas como a cerâmica dura, não metálica, metal duro e materiais compósitos (DINIZ, 2013).

#### 2.2.5 Ligantes

A fixação dos grãos abrasivos em um rebolo deve-se à ação de materiais ligantes, sendo a liga o componente que mantém os grãos abrasivos unidos. Estes compostos devem resistir às forças de corte, às elevadas temperaturas, às forças centrífugas oriundas dos elevados níveis de rotação da ferramenta e ainda aos ataques químicos provocados por componentes dos fluidos de corte.

Os ligantes são responsáveis por manter as partículas abrasivas em posição e a rigidez do rebolo durante o corte (MALKIN, 1989). Os que serão abordados são os tipos de ligantes: vitrificado, resinóide e metálico.

a) Ligante vitrificado: é a liga mais comum constituída da mistura de argila ou o feldspato. Sua rigidez facilita a manutenção do perfil do rebolo, permitindo trabalhos com maior precisão (DINIZ *et al.*, 2013). Sua estrutura não resiste a grandes impactos e elevadas pressões, não se altera, ou seja, tem alta estabilidade frente à presença de óleo, água ou ácidos. O ligante vitrificado concede muita agressividade aos grãos abrasivos. Para esse ligante se recomenda uma velocidade periférica em torno de 33 m/s. Destacando uma grande vantagem de um rebolo vitrificado, é que ele pode produzir uma forma de retificação com diferentes perfis (FITZPATRICK *et al.* 2013).

b) Ligante resinóide: são ligantes orgânicos desenvolvidos a partir de resinas sintéticas, fenólicas ou fenoplásticas. É uma liga de resistência elevada que permite velocidades de até 100 m/s desde que esteja estruturado e reforçado para essa condição (STEMMER, 2008). Sua aplicação está voltada a retífica de desbaste pesado por ter elevada resistência mecânica e capacidade de suportar choques e onde ocorrem também grandes cargas de torção sobre as faces laterais do rebolo ou onde é necessário suportar cortes interrompidos. Outro diferencial está na capacidade de atender operações que exigem alto nível de acabamento. Em contrapartida, é suscetível ao ataque químico originado do fluido de corte, que ao longo do tempo provoca sua degradação.

c) Ligante metálico: trata-se de um ligante de concepção mais recente, utilizado para a confecção de rebolos com abrasivos de diamantes sintéticos e de nitreto cúbico de boro (CBN). Sendo efetivado pelo processo de sinterização de pó de bronze que é o mais utilizado ou metais nobres (MACHADO *et al.*, 2012). O ligante metálico é muito solicitado na fabricação do rebolo de diamante, sendo processado por eletrodeposição, permitindo assim dimensionais mais precisos com pequenos raios e extremamente finos, com características diferenciadas em manter a forma e ao potencial para operações a altas velocidades. Sua aplicação está ligada aos materiais de dureza mais elevada, como exemplo a retífica da cerâmica.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados. Todos os ensaios se realizaram no Laboratório de Usinagem por Abrasão (LUA) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, campus de Bauru.

#### 3.1 Equipamentos e materiais utilizados

Todos os ensaios de dressagem foram realizados em uma retificadora plana fabricada pela empresa SULMECÂNICA, modelo 1055E.

Na figura 15 vê-se a retificadora utilizada no ensaio, onde foram mantidos os parâmetros para a realização da dressagem.



Figura 15. Retificadora plana modelo 1055E de fabricação da empresa SULMECÂNICA utilizada nos ensaios.

Foram utilizados três tipos diferentes de diamantes nos dressadores. Os três tipos de diamantes são de fabricação nacional, sendo dois naturais e um sintético fornecidos pela empresa Royall Diamond, denominados como diamantes CVD sintético, Brasil Extra e Mato Grosso. A figura 16 apresenta uma imagem do dressador de ponta única.

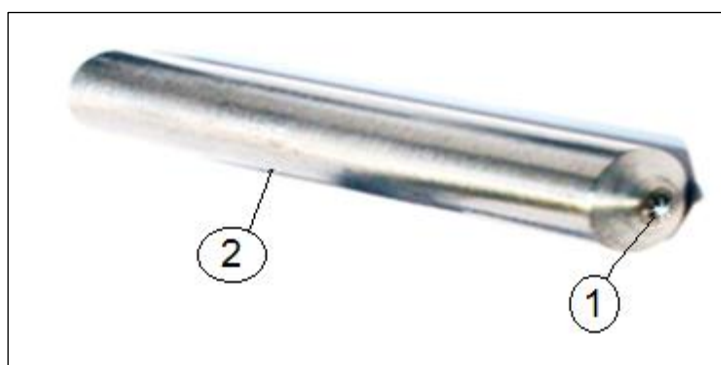


Figura 16. Dressador de ponta única com ponta de diamante de forma piramidal, 1 - diamante; 2 - suporte ([royalldiamond.com/produtos/dressadores](http://royalldiamond.com/produtos/dressadores) - adaptado).

Os dressadores fabricados utilizaram diamantes do tipo piramidal, conforme apresentados nas figuras 17 a 19.

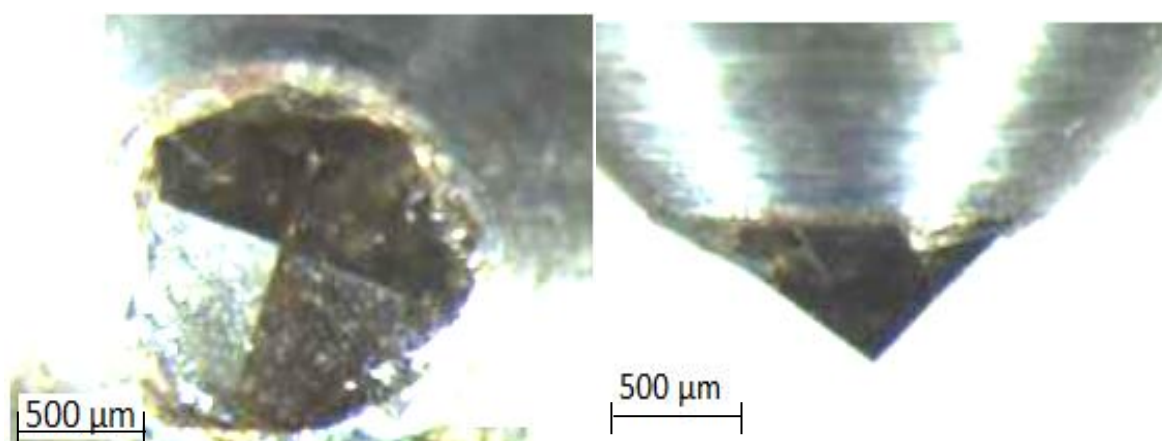


Figura 17. Dressador com diamante CVD sintético.

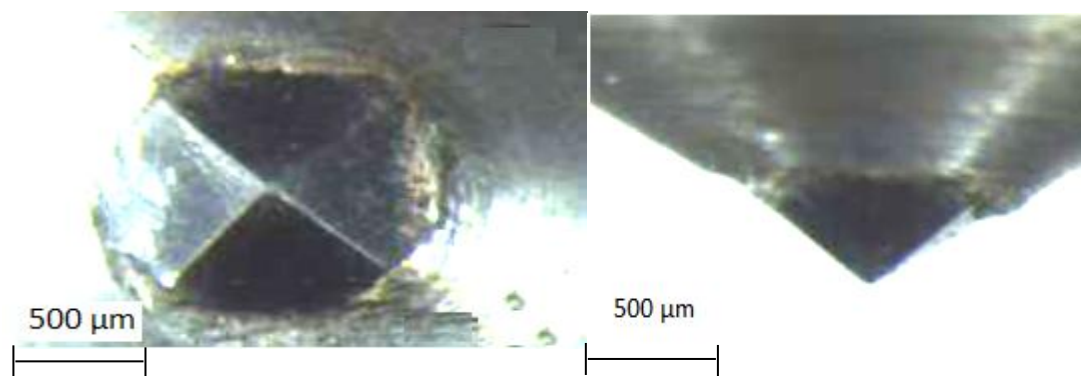


Figura 18. Dressador com diamante Brasil Extra natural.



Figura 19. Dressador com diamante Mato Grosso natural.

Os rebolos utilizados nos ensaios foram fabricados pela empresa NORTON, conforme apresentado na figura 20. São constituídos de abrasivo convencional de óxido de alumínio, com ligante vitrificado, dureza L – média, granulometria 150 – muito fina e, estrutura com dimensões 355,6 x 25,4 x 127 mm.



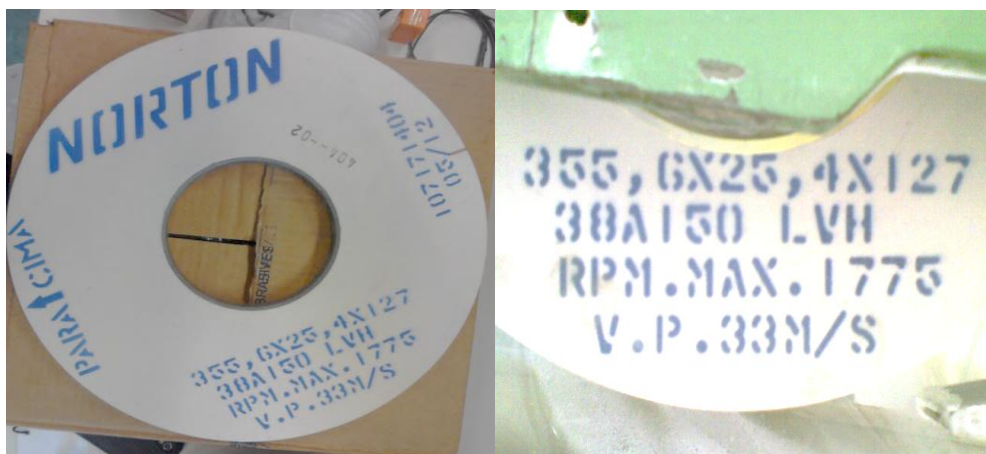


Figura 20. Rebolo de óxido de alumínio convencional utilizado nos ensaios e fabricado pela empresa Norton.

Os dressadores foram fixados na mesa da retificadora por meio de um suporte especialmente feito para os ensaios como mostrado na figura 21. Esse suporte permaneceu fixo numa mesma posição durante todos os ensaios, mantendo os dressadores também fixos numa mesma posição.



Figura 21. Fixação do suporte dos dressadores para o início dos ensaios.

A figura 22 mostra os equipamentos utilizados para captação das imagens das áreas de desgaste dos diamantes dos dressadores. Apresenta um microscópio estereoscópio marca Carl Zeiss, modelo CITOVAL 2 com ampliações de 10x até 100x, composto por uma câmera de fabricação LEICA modelo EC 3 acoplada no microscópio estereoscópio.



Figura 22. Equipamentos utilizados para captação da imagem da área desgastada do diamante.

As captações dessas imagens foram realizadas por meio de uma câmera acoplada e interligada ao software. As imagens foram retiradas na posição vertical dos dressadores, com uma ampliação empregada no microscópio estereoscópio de 16x.

E para a análise das áreas desgastadas durante as passadas, foram obtidas através da utilização do software Solid Edge ST2, desenvolvido pela empresa Siemens. Exemplos da área calculada estão representados nas figuras 23 e 24.

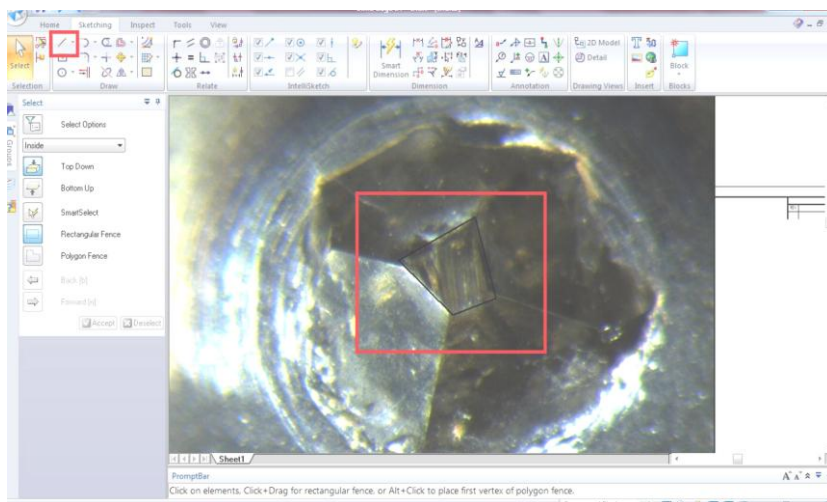


Figura 23. Imagem da seleção da área desgastada por meio do software.



Figura 24. Imagem da área desgastada após a delimitação da região, o programa calcula automaticamente a área.

As imagens do desgaste dos diamantes na posição horizontal dos dressadores foram obtidas por meio de uma câmera fotográfica digital tipo DSC – F717 da marca Sony, com lentes Carl Zeiss tipo Vario-Sonnar. A câmera foi posicionada num suporte e fixada na mesa da retificadora conforme figura 25, permanecendo em uma mesma posição em todo o período dos ensaios.



Figura 25. Etapa da posição horizontal: Suporte posicionado com a câmera fotográfica digital.

As imagens da posição horizontal dos dressadores foram elaboradas pelo software Solid Edge ST2. Como exemplo de uma medição da área, onde foram retiradas as informações referentes à área desgastada até o momento estipulado de parada a cada 20 passadas. Em seguida a imagem foi analisada com o auxílio do software como demonstra a figura 26.

Essa área é obtida por meio de um prolongamento imaginário do diamante que estava na etapa anterior a de ser gasto. A figura 26 ilustra o comentado.

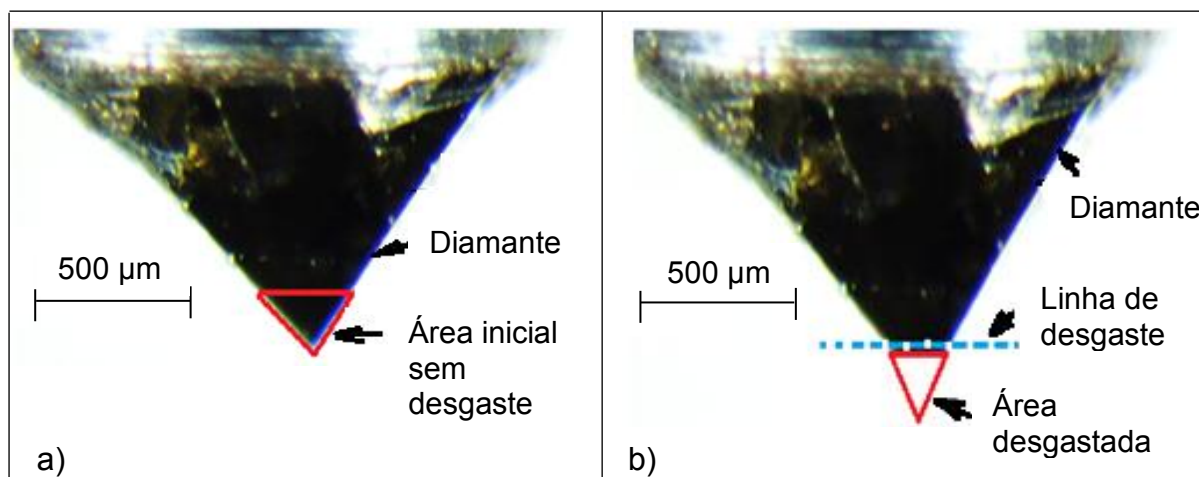


Figura 26. (a) Imagem do diamante na etapa inicial sem desgaste; (b) Imagem da área desgastada do diamante - posição horizontal.

As imagens da figura 26 apresentam as fases do início sem desgaste e da etapa da área desgastada do diamante. Etapas estas que foram avaliadas através de cálculos via software, onde os volumes obtidos, bem como as comparações entre ensaios para o mesmo diamante e entre os demais tipos de diamantes são apresentados nas etapas indicadas horizontais.

Nos ensaios também foram realizadas medições para outros trabalhos, tais como: a medição da vibração, força e temperatura de dressagem. Devido à utilização desses instrumentos de medição, principalmente a do termopar fixado ao dressador, não foi utilizado fluido de corte nas operações de dressagem, ou seja, realizado a seco que também contribuiu para acelerar o desgaste do diamante. A figura 27 apresenta os equipamentos que foram utilizados à parte na realização dos ensaios de aceleração, temperatura e emissão acústica.





Figura 27. Imagem dos equipamentos da coleta de dados de aceleração, temperatura e emissão acústica.

### 3.2 Parâmetros utilizados para dressagem

Dentre os principais parâmetros de retificação e dressagem utilizados, tem-se que a velocidade do deslocamento transversal do rebolo, que será mantida constante para os ensaios dos três tipos de dressadores. A rotação do motor da retificadora também será constante, bem como a frequência do inversor.

Assim, tem-se a velocidade transversal igual a 3,45 mm/s, a rotação do motor igual a 450 rpm e a frequência do inversor de 60 Hz. A profundidade de dressagem ( $ad$ ) será constante e igual a 40  $\mu\text{m}$ . Foi estipulado o tempo de dressagem de 7,333 segundos. O parâmetro do grau de recobrimento de dressagem ( $U_d$ ) foi de 1. Na tabela 1, estão apresentados os valores dos parâmetros utilizados nos ensaios.

Tabela 1. Dados dos parâmetros utilizados para todo o ensaio de dressagem.

(Valores constantes)	
Velocidade transversal:	3,45 mm/s
Velocidade do inversor:	450 rpm
Frequência:	60 Hz
Profundidade de dressagem (ad):	40 $\mu\text{m}$
Tempo de dressagem:	7,333 s
Grau de recobrimento (Ud):	1
Fluido de corte:	Não

### 3.3 Metodologia de ensaios

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi a de dressar cada um dos diamantes, conforme os parâmetros especificados no item 3.2.

A cada passada de uma ida e uma volta do rebolo sobre o dressador, o rebolo foi abaixado em 40  $\mu\text{m}$ , portanto a penetração do dressador será de 40  $\mu\text{m}$  por passada. Após a realização de vinte passadas num total de 400  $\mu\text{m}$  de penetração, foi realizada a análise do dressador no microscópio estereoscópio como citado no item 3.1. O ensaio continuava até que novas vinte passadas fossem realizadas e uma nova imagem obtida. Após um novo aumento da profundidade de 40  $\mu\text{m}$  o ensaio foi novamente reiniciado. Esse procedimento foi seguido até um total de 160 passadas, determinado como fim do ensaio, ou então caso ocorresse o faiscamento quando o corpo do dressador entra em contato com o rebolo, mostrando que o diamante já está bastante gasto e indicando que o ensaio deve ser finalizado para aquele dressador. A figura 28 ilustra o aquecimento da etapa avançada de dressagem, ocorrendo uma vermelhidão representando o aquecimento em função do aumento da área de contato, pois devido ao não uso do fluido de corte nos ensaios, verificou-se o aumento da temperatura no dressador. Esse aumento

pode ser visualizado com o aquecimento do diamante durante a dressagem. Esse aquecimento foi observado principalmente após a passada 80.

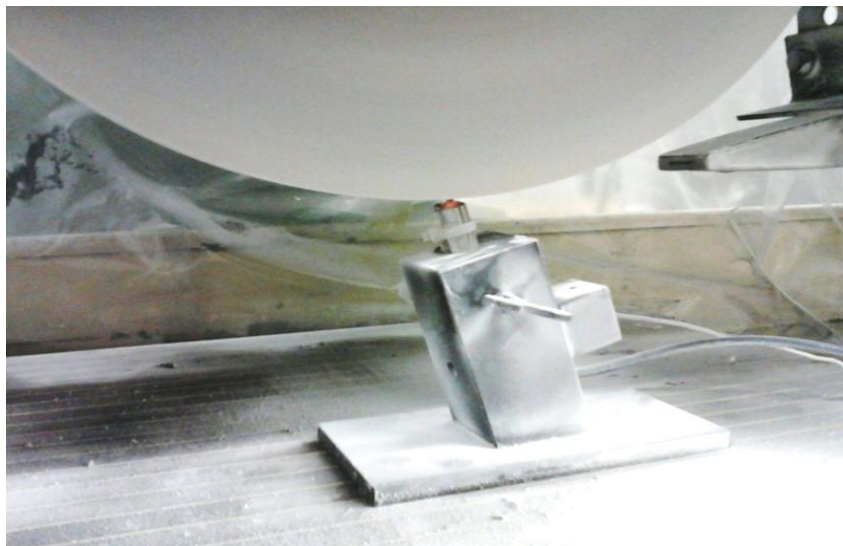


Figura 28. Aquecimento aparente durante os ensaios.

Após a finalização de um ensaio, um novo dressador foi posicionado no suporte e uma nova dressagem foi realizada, com demonstra a figura 29 a) início e 29 b) durante o ensaio.

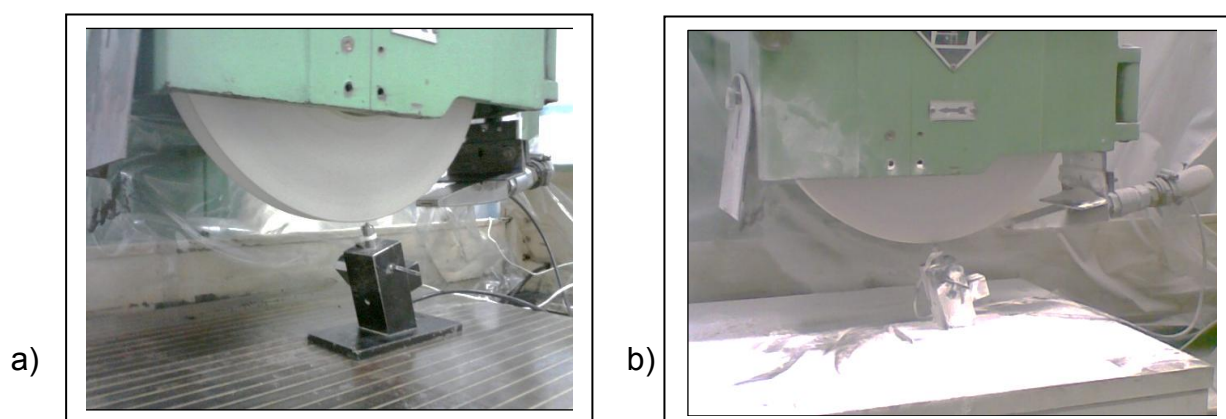


Figura 29. a) Dressador pronto para início do ensaio, b) durante o ensaio.



O rodízio dos rebolos sucedia após a realização de três ensaios, sendo um do diamante CVD sintético, outro do Brasil Extra e outro do Mato Grosso, ocorrendo à troca do rebolo por um novo. Seguido então, realizada uma nova sequência de ensaios, sendo esta uma réplica dos ensaios anteriores. No total foram utilizados três rebolos, com a produção de nove ensaios, três para cada tipo de diamante. Essa repetição se faz necessária, para que haja uma comparação dos resultados, analisando assim a propagação de erros que são obtidos por meio do desvio padrão da comparação dos ensaios.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e, no final deste capítulo será realizada a avaliação comparativa entre os mesmos.

### **4.1 Área desgastada em relação ao número de passadas**

A representação dos resultados será mostrada especificamente com os dados obtidos referentes ao cálculo das áreas desgastadas para a posição vertical e horizontal para cada ensaio, onde se compreende aos dados entre o número de passadas de cada diamante, bem como conclusões iniciais a cerca de cada ensaio.

Nesta seção, serão mostrados especificamente os dados obtidos por cada tipo de diamante nas duas posições estudadas.

Na seção 4.2 serão apresentadas as comparações entre os três tipos de diamantes.

#### **4.1.1 Diamante CVD Sintético Nacional – Horizontal**

É um diamante destinado à dressagem de rebolos convencionais, utilizados principalmente em dressadores de ponta única.

Foram realizados três ensaios com o diamante CVD sintético nacional. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

#### 4.1.1.1 Primeiro ensaio - horizontal

As figuras 30 a 33 mostram respectivamente a imagem inicial e as obtidas após 20, 60 e 156 passadas ao longo do primeiro ensaio com o diamante CVD sintético nacional na posição horizontal. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma deixa evidente a área inicial sem desgaste e as sucessivas etapas de dressagem, com as respectivas áreas de desgaste que o diamante está apresentando após a finalização de cada etapa de dressagem.

Na figura 30 nota-se que o diamante ainda está sem uso, intacto, sem nenhuma etapa de dressagem. Observa-se a tonalidade escura que é característica dos diamantes sintéticos.

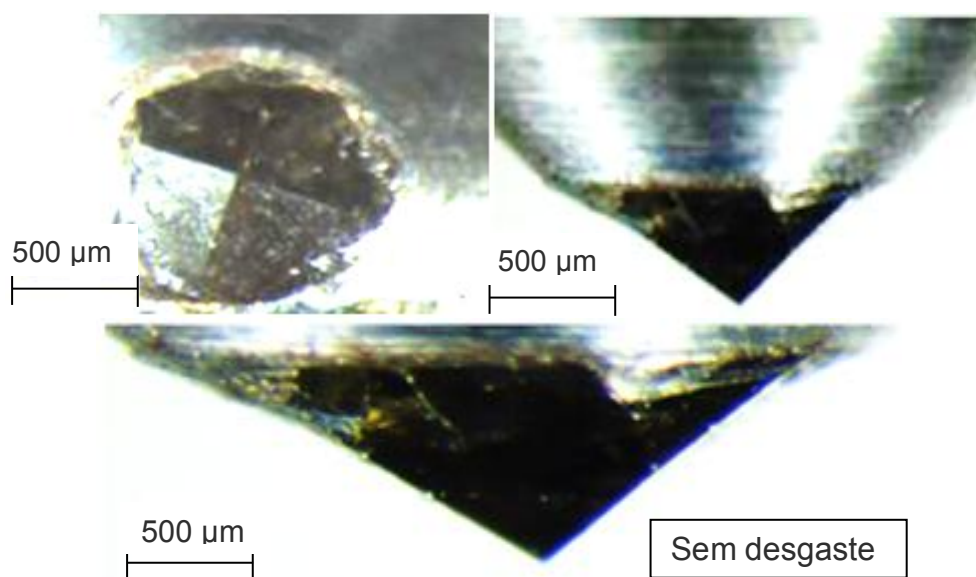


Figura 30. Diamante CVD sintético nacional com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio um.

Observa-se na figura 31 claramente o desgaste na extremidade após 20 passadas na posição horizontal no ensaio um, mostrando um comprimento de desgaste aparente de 161,88  $\mu\text{m}$ .

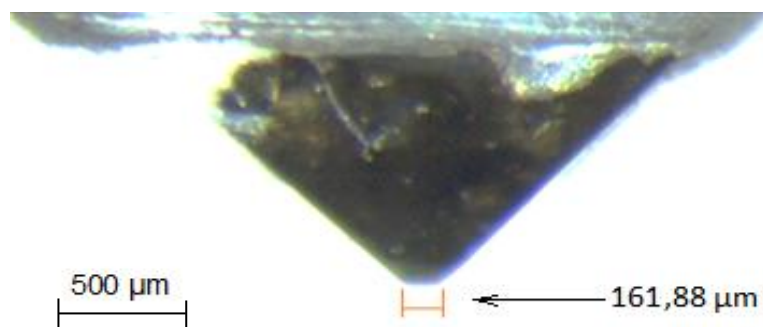


Figura 31. Dressador-CVD sintético - 20 passadas - posição horizontal - ensaio um.

A figura 32 apresenta o diamante após 60 passadas, demonstrando que o comprimento do desgaste cresceu consideravelmente em relação à etapa anterior, com uma medida de 280,48  $\mu\text{m}$ . É visível o desgaste em relação à figura anterior. O diamante também já apresenta certas distorções devidas ao sucessivo aumento da temperatura originadas devido ao maior contato entre o diamante o rebolo.

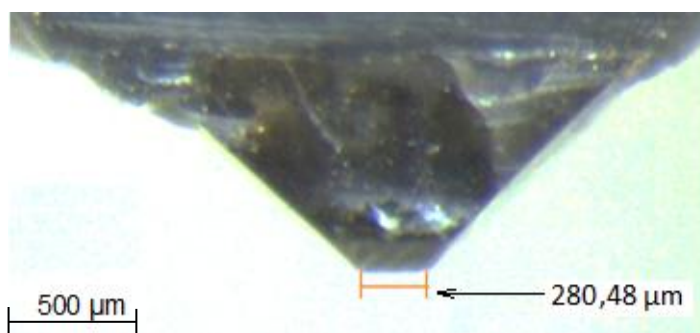


Figura 32. Dressador-CVD sintético - 60 passadas - posição horizontal - ensaio um.

A figura 33 apresenta o fim do primeiro ensaio de 156 passadas. Observa-se que o comprimento de desgaste é bem maior que das figuras 31 e 32, com 480,00  $\mu\text{m}$ , apresentando uma grande área de desgaste.

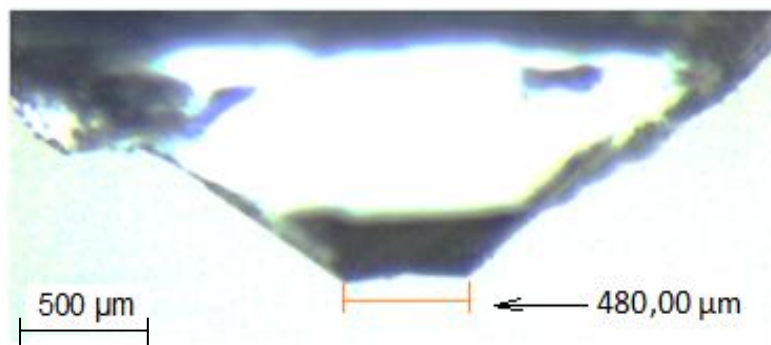


Figura 33. Dressador-CVD sintético - 156 passadas - posição horizontal - ensaio um.

Na tabela 2, estão dispostos os dados obtidos com o primeiro ensaio do diamante CVD Sintético na posição horizontal.

Tabela 2. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante CVD Sintético na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$
20	5,72
40	13,43
60	18,77
80	25,68
100	34,24
120	44,22
140	52,58
156	55,03

Os dados presentes na tabela 2 estão representados na figura 34.

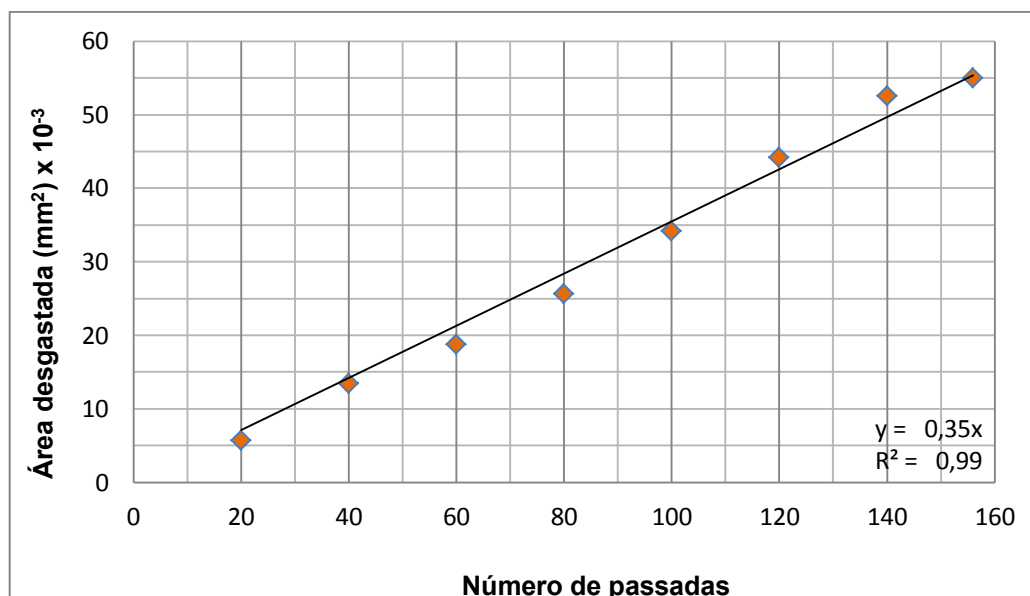


Figura 34. Área desgastada em relação ao número de passadas para o ensaio um do diamante sintético na posição horizontal.

Pela tabela 2 e a figura 34 observa-se que houve um crescimento do valor das áreas à medida que se aumentava o número de passadas. A taxa de desgaste encontrada pela curva linear da figura 34 foi de  $0,35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , com um ajuste linear de 0,99, mostrando uma boa linearização dos dados. Sabendo que o tempo de dressagem para cada passada é de 7,333 segundos, conforme indicado na seção 3.2, chegou-se ao tempo total de dressagem para este ensaio de 19 minutos e 40 segundos. O número máximo de passadas foi de 156, quando ocorreu o contato do metal com o rebolo, ocasionando o faiscamento e a interrupção do ensaio.

Os resultados das análises das etapas do segundo e terceiro ensaio, referente ao diamante CVD sintético na posição horizontal, encontram-se no Apêndice A.

#### 4.1.1.2 Comparação dos três ensaios do diamante CVD sintético nacional – horizontal

A tabela 3 reúne os dados dos ensaios para facilitar a observação e análise dos valores encontrados da área desgastada referente aos três ensaios.

Tabela 3. Dados do número de passadas e da área desgastada, obtidos pelos três ensaios para o diamante tipo CVD Sintético na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	5,72	17,56	17,38
40	13,43	42,33	30,23
60	18,77	56,51	33,15
80	25,68	54,17	46,56
100	34,24	82,49	47,34
120	44,22	88,59	55,37
140	52,58	94,96	59,24
160		111,43	61,82
180		112,53	73,03

Os dados presentes na tabela 3 foram dispostos na figura 35, valores acima de 180 passadas foram descartados.

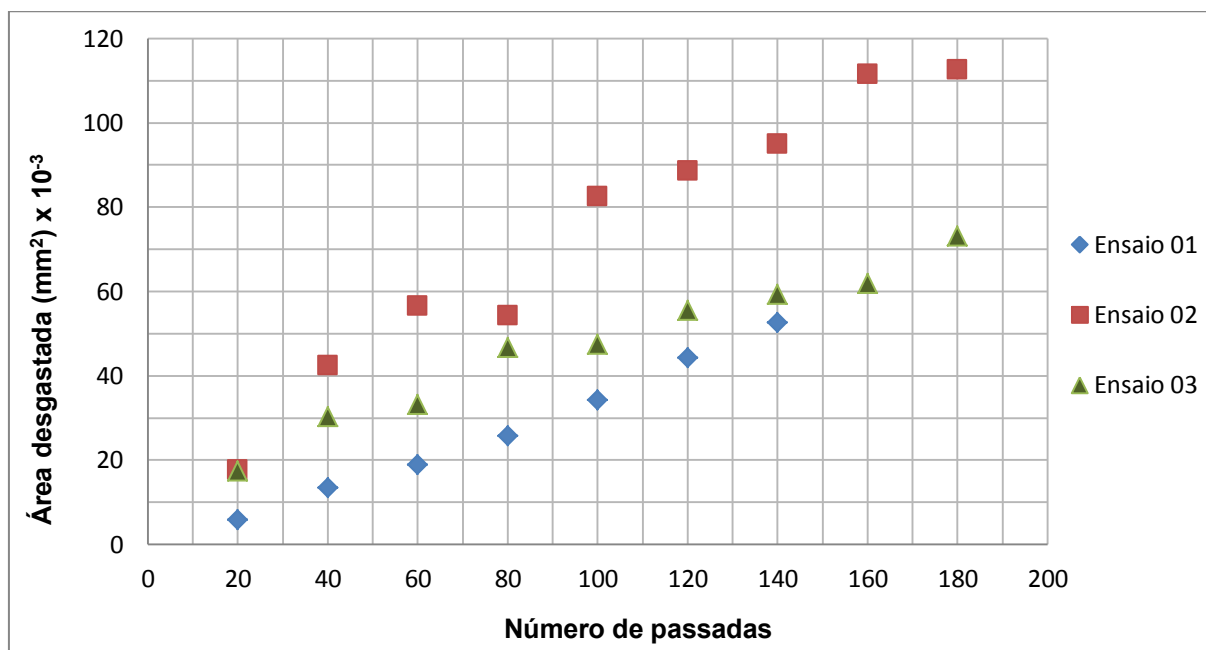


Figura 35. Área desgastada em relação ao número de passadas dos três ensaios obtidos pelo diamante CVD sintético na posição horizontal.

Observando a tabela 3 os ensaios dois e três tiveram um comportamento bem parecido, com o ensaio um apresentando uma área desgastada bem menor. A partir de 40 passadas, o ensaio dois apresentou uma maior área desgastada quando comparada com os dois demais ensaios. Essa dianteira obtida pelo ensaio dois se manteve para todos os próximos números de passadas, mostrando que, mesmo rejeitando-se os dados acima das 180 passadas, o ensaio dois apresentou maior desgaste conforme se aumentava o número de passadas. O ensaio três foi o segundo com maior taxa de desgaste e o primeiro ensaio apresentou a menor taxa.

Foi utilizada para comparação com os demais diamantes dos dados obtidos e observados para o diamante CVD sintético a média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas, dessa forma, os dados com mais de 140 passadas serão descartados. Assim, a tabela 4 representa o valor final médio da área desgastada para cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias amostrais e desvios-padrões da área desgastada para o diamante CVD Sintético.

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	13,55	1,62
40	28,66	8,55
60	36,14	9,51
80	42,14	5,38
100	54,69	8,72
120	62,72	9,35
140	68,93	4,04

Os dados da tabela 4 estão representados na figura 36.

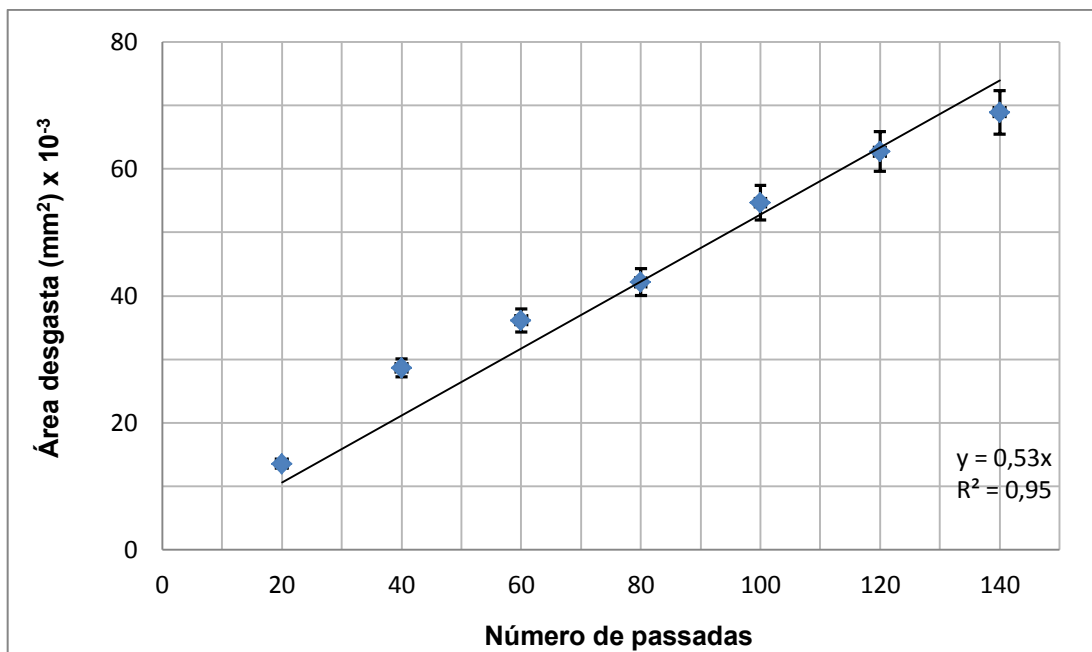


Figura 36. Área desgastada versus número de passadas para o diamante CVD Sintético - horizontal.

Observa-se uma grande linearidade dada pelo ajuste linear obtido pela curva da figura 36 ser de 0,95. O desvio padrão encontrado e exposto na tabela 4 indicando média dispersão dos dados. O coeficiente angular da reta encontrada na figura 36 é de  $0,53 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  área desgastada pelo número de passadas. Dessa forma, para cada passada são gastos  $0,53 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área.

Nas figuras 37 e 38 foram colocadas as três imagens referentes ao desgaste resultante para cada 20 passadas dos três ensaios até a passada 140 para uma visualização do desgaste dimensional.



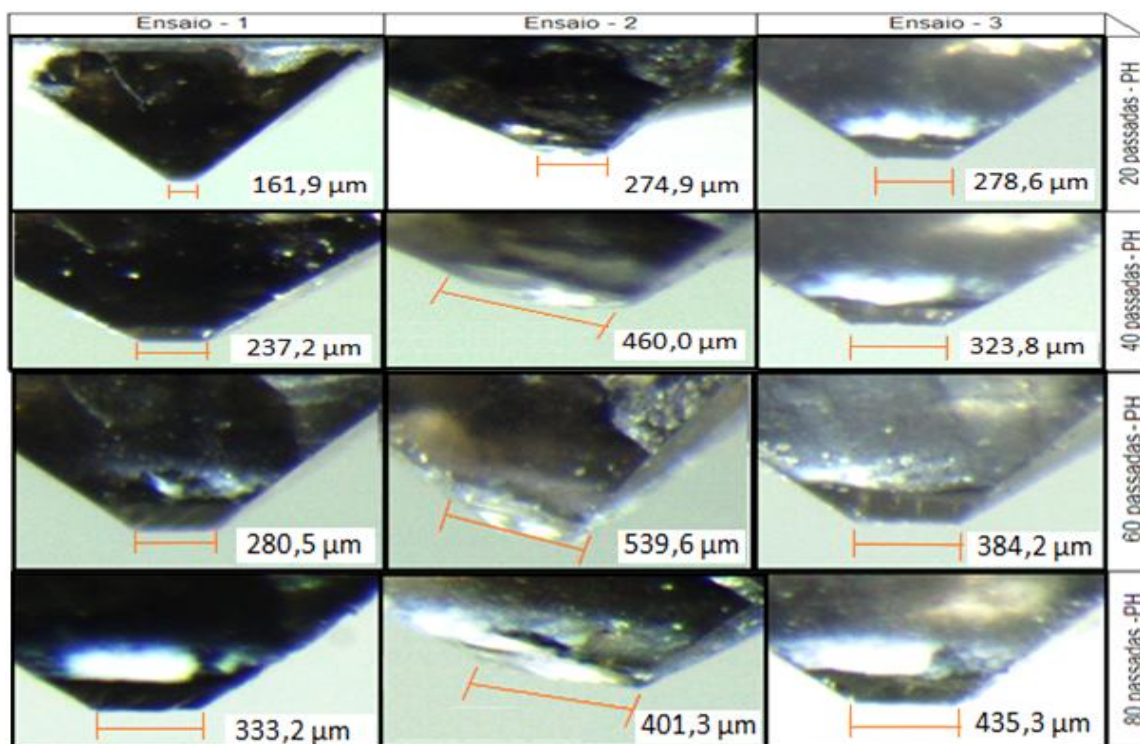


Figura 37. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas 20 a 80 na posição horizontal para o diamante CVD Sintético.

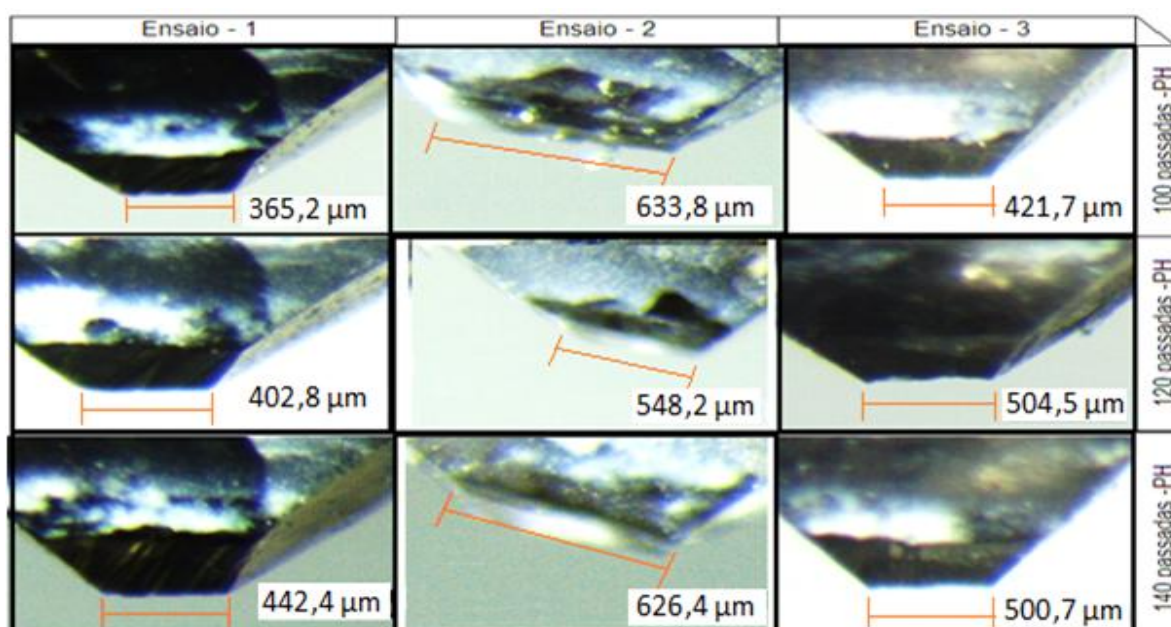


Figura 38. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas 100 a 140 na posição horizontal para o diamante CVD Sintético.

Nas imagens das figuras 37 e 38, pode-se observar o comportamento das áreas desgastadas etapa por etapa durante todo ensaio realizado para o diamante CVD sintético.

#### 4.1.2 Diamante CVD Sintético Nacional – Vertical

Foram realizados três ensaios com o diamante CVD sintético nacional. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

##### 4.1.2.1 Primeiro ensaio - vertical

As figuras 39 a 44 demonstram as áreas em cada etapa do início e passadas de 20, 60 100 e 156, com seu respectivo desgaste, obtidas no primeiro ensaio com o diamante CVD sintético nacional na posição vertical.

Na figura 39 é mostrado o diamante CVD sintético utilizado no ensaio um do ponto de vista vertical, observando claramente as quatro facetas do diamante, bem como a ponta.

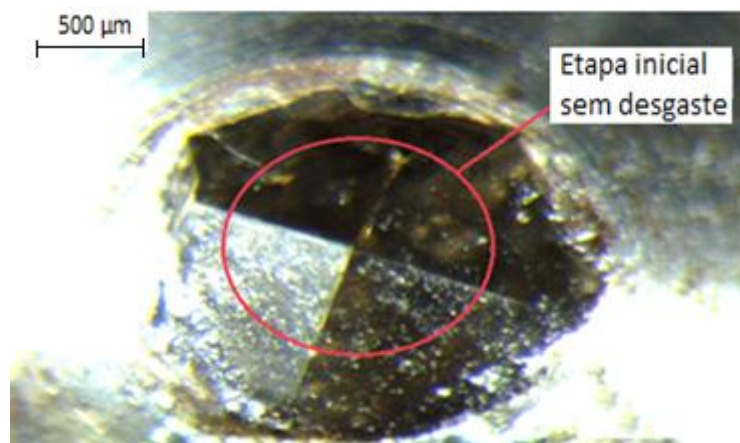


Figura 39. Diamante CVD sintético – etapa inicial, posição vertical - ensaio um.

Observa-se uma pequena região gasta na parte superior, conforme ilustra a figura 40 na etapa de 20 passadas.

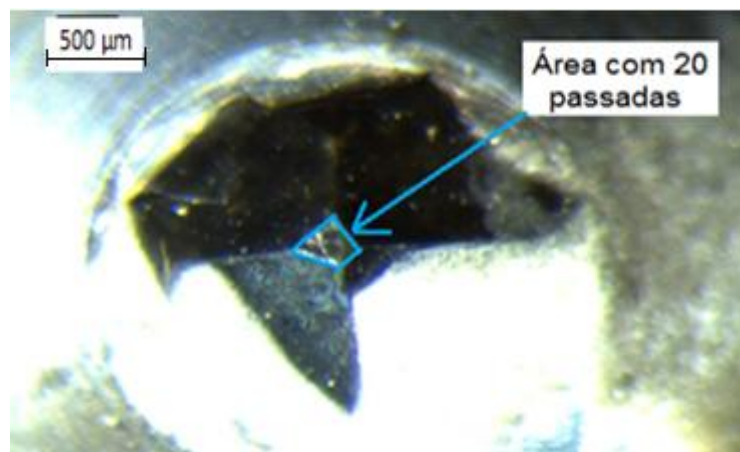


Figura 40. Diamante CVD sintético com 20 passadas, posição vertical - ensaio um.

A figura 41 mostra o diamante com 60 passadas. Verifica-se um aumento da região gasta quanto comparada com a figura 40.

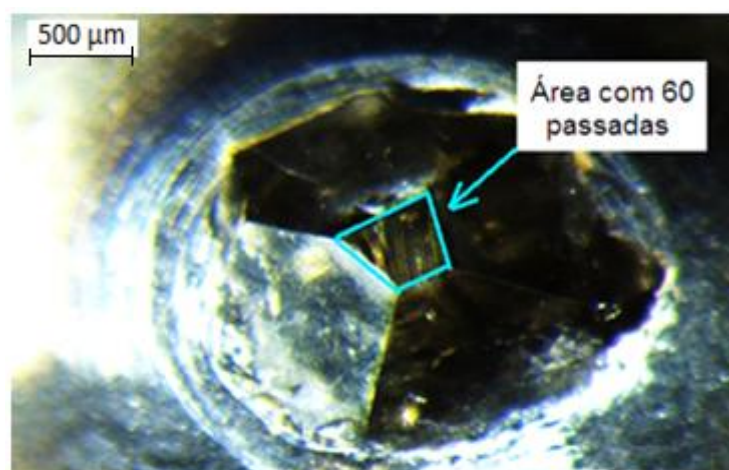


Figura 41. Diamante CVD sintético com 60 passadas, posição vertical - ensaio um.

A figura 42 apresenta uma grande região gasta que é bem visível.

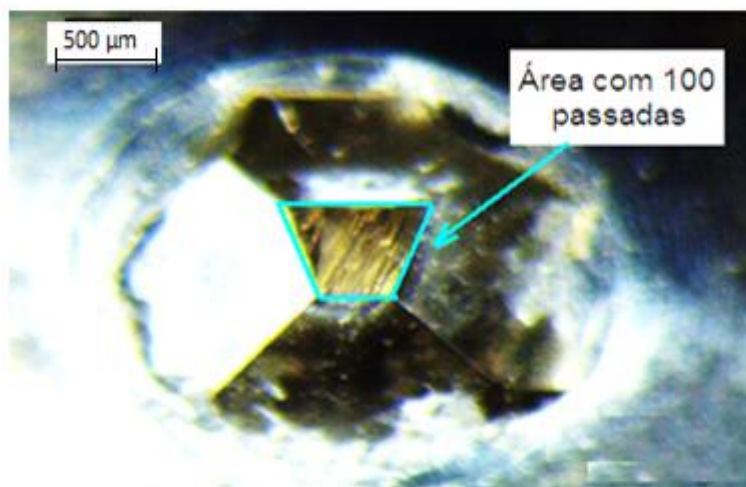


Figura 42. Diamante CVD sintético com 100 passadas, posição vertical - ensaio um.

Nesta etapa do ensaio como ilustrado na figura 43, verificou-se uma grande região desgastada, bem como arestas de diversos tamanhos e bem irregular.

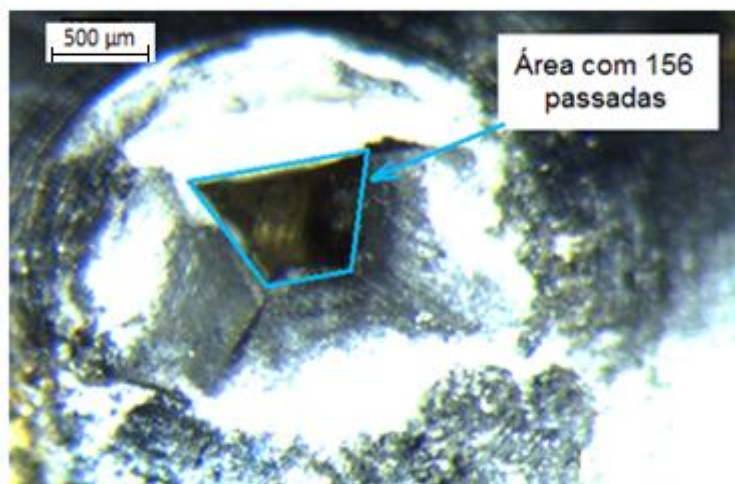


Figura 43. Diamante CVD sintético com 156 passadas, posição vertical - ensaio um.



Os dados dispostos na tabela 5 representam os valores obtidos no primeiro ensaio do diamante CVD Sintético na posição vertical.

Tabela 5. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo CVD Sintético na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	49,34
40	110,81
60	169,12
80	241,14
100	303,01
120	359,32
140	380,94
156	514,89

Os dados contidos na tabela 5 foram reorganizados em forma gráfica, conforme figura 44.

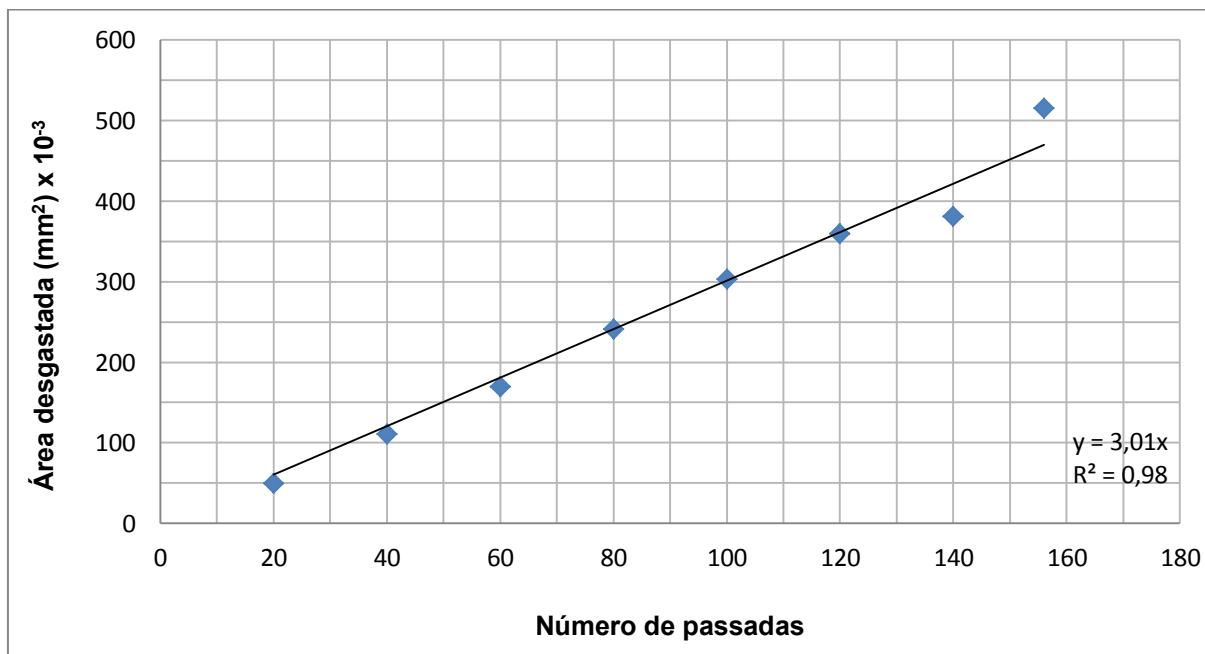


Figura 44. Área desgastada em relação ao número de passadas para o ensaio um do diamante CVD sintético na posição vertical.

Interpretando a tabela 5 e observando a figura 44, verifica-se que o valor da área desgastada aumenta linearmente de acordo com o número de passadas. Verifica-se também uma grande linearidade entre os dados, com um ajuste da curva obtida na figura 44 de 0,98, muito próxima de um. A taxa de desgaste obtida pela curva é de  $3,01 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . Pelos dados nota-se também que é justamente o último valor que está um pouco mais fora da linearidade do restante dos dados.

Os ensaios do segundo e terceiro dressador do diamante CVD sintético nacional na posição vertical, estão dispostos no Apêndice A.

#### 4.1.2.2 Comparação dos três ensaios do diamante CVD sintético nacional – Vertical

A tabela 6 reúne os dados encontrados nos três ensaios, as medidas da área desgastada, bem como o número de passadas.

Tabela 6. Dados do número de passadas e da área desgastada obtida pelos três ensaios para o diamante tipo CVD Sintético na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	49,34	41,69	124,52
40	110,81	126,95	212,32
60	169,12	196,80	263,86
80	241,14	262,54	325,63
100	303,01	324,07	349,63
120	359,32	390,08	539,88
140	380,94	423,46	565,85
160		470,99	658,31
180		685,21	707,66
200		1420,34	817,56
220		1701,80	
240		2043,10	
260		2625,62	
280		3031,27	
295		3334,61	

Os dados presentes na tabela 6 foram dispostos na figura 45.

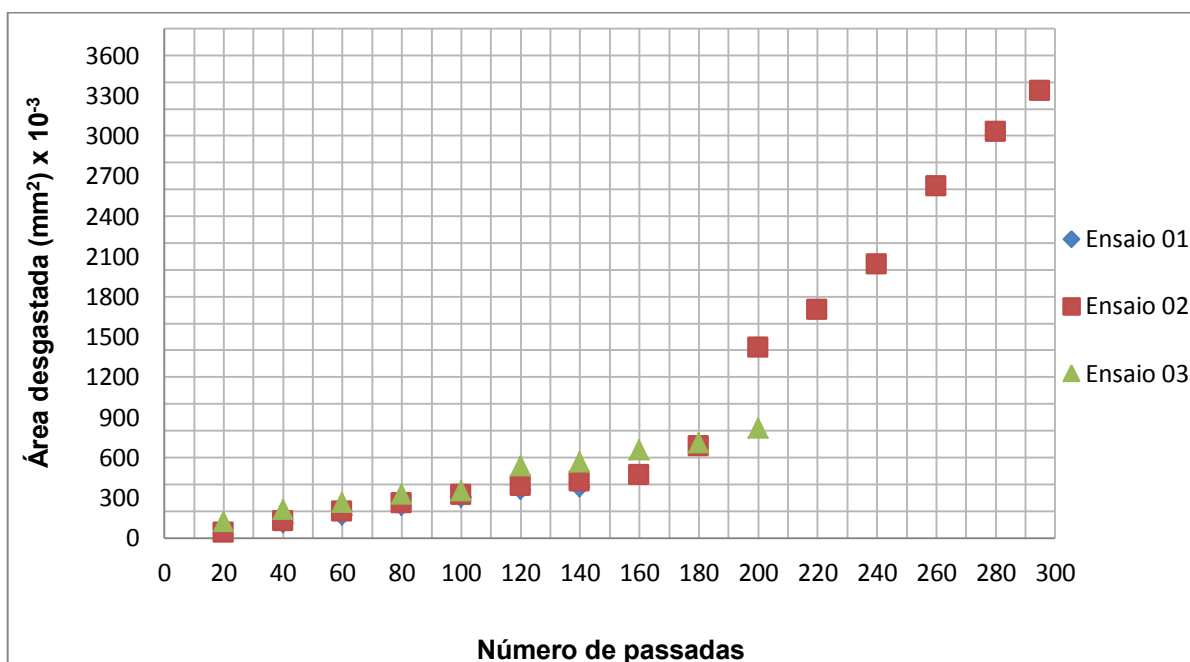


Figura 45. Área desgastada em relação ao número de passadas para os três ensaios obtidos para o diamante CVD sintético nacional na posição vertical.

Observando os dados da tabela 6, bem como a figura 45, verifica-se que os três ensaios estão bem próximos até a passada 100. A partir desta passada, o ensaio três começa a se distanciar dos demais valores obtidos pelos outros dois ensaios. Os ensaios um e dois ainda continuam bastante parecidos até a passada 140, sendo a passada 140 o último dado obtido para o ensaio um. Na passada 180, os valores obtidos para o ensaio dois e três voltam a ser bastante parecidos, mas na passada 200 o ensaio dois sofre uma variação muito grande, gerando alta dispersão dos dados. Porém, até a passada 100 os três ensaios apresentam uma tendência muito próxima e linear.

Para uma melhor comparação entre as áreas desgastadas obtidas pelos três amostras do diamante CVD sintético nacional, calculou-se a média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas, dessa forma, os dados acima de 140 passadas foram descartados. Assim, a tabela 7 representa o valor final médio da área desgasta para cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 7. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante CVD Sintético

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	71,85	18,57
40	150,02	20,45
60	209,93	18,87
80	276,44	18,39
100	325,57	19,33
120	429,76	19,66
140	456,75	20,68

Os dados obtidos pela tabela 7 estão dispostos na figura 46, para uma melhor visualização dos resultados.

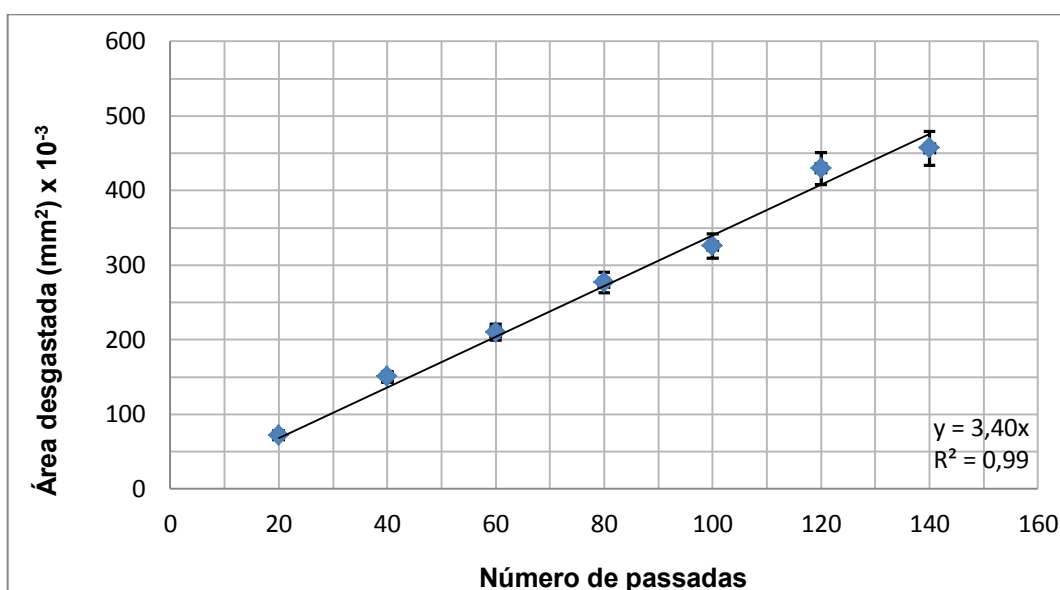


Figura 46. Área desgastada versus número de passadas para o diamante CVD Sintético – Vertical.

Pelos dados da tabela 7 e pela figura 46 observa-se uma grande linearidade entre o dados, bastando verificar o ajuste linear da curva obtida com 0,99, extremamente próximo de 1. O desvio padrão obtido pela tabela 6 também indica baixa dispersão dos dados. O coeficiente angular da reta encontrada na figura



46 é de uma taxa de desgaste de  $3,40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área desgastada por número de passadas. Dessa forma, para uma passada são gastos  $3,40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área.

Na figura 47 foram colocadas as três imagens referentes aos desgastes obtidos a cada 20 passadas dos três ensaios, considerando até a passada 140 para uma visualização do desgaste das respectivas áreas.

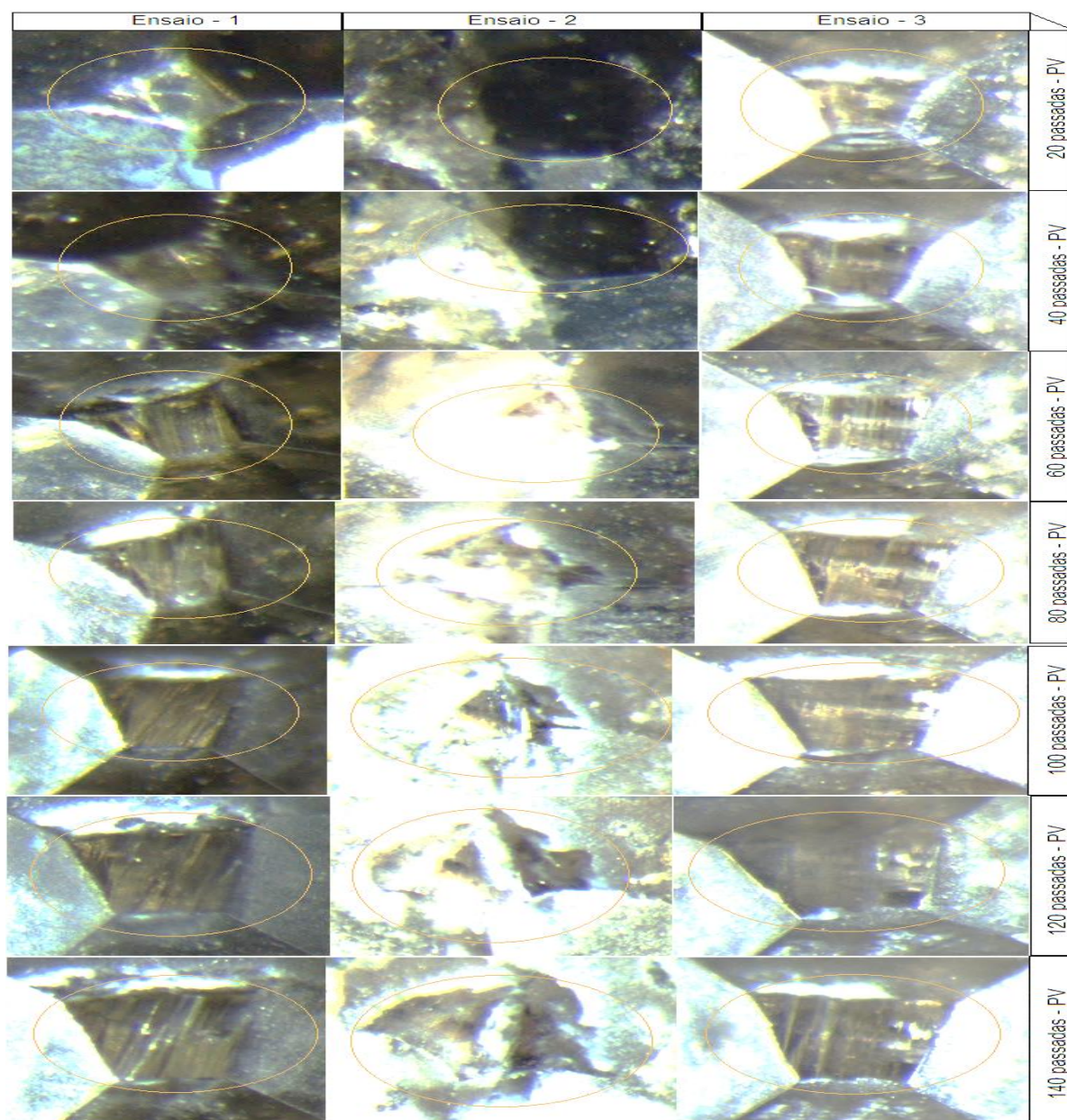


Figura 47. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas de 20 a 140 na posição vertical para o diamante CVD Sintético nacional.

#### 4.1.3 Diamante Brasil Extra – Horizontal

O diamante Brasil Extra um diamante natural fabricado pela empresa Royall Diamond. É um diamante destinado à dressagem de rebolos convencionais, produzidos principalmente para uso em dressadores de ponta única.

Foram realizados três ensaios com o diamante Brasil Extra. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

##### 4.1.3.1 Primeiro ensaio – Horizontal

As figuras 48 a 52 mostram as imagens das áreas sem e com o desgaste após 20, 100, 140 e 180 passadas obtidas no primeiro ensaio com o diamante Brasil Extra. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma torna evidente a área inicial sem desgaste e as etapas de dressagem com suas respectivas áreas de desgaste do diamante a cada etapa.

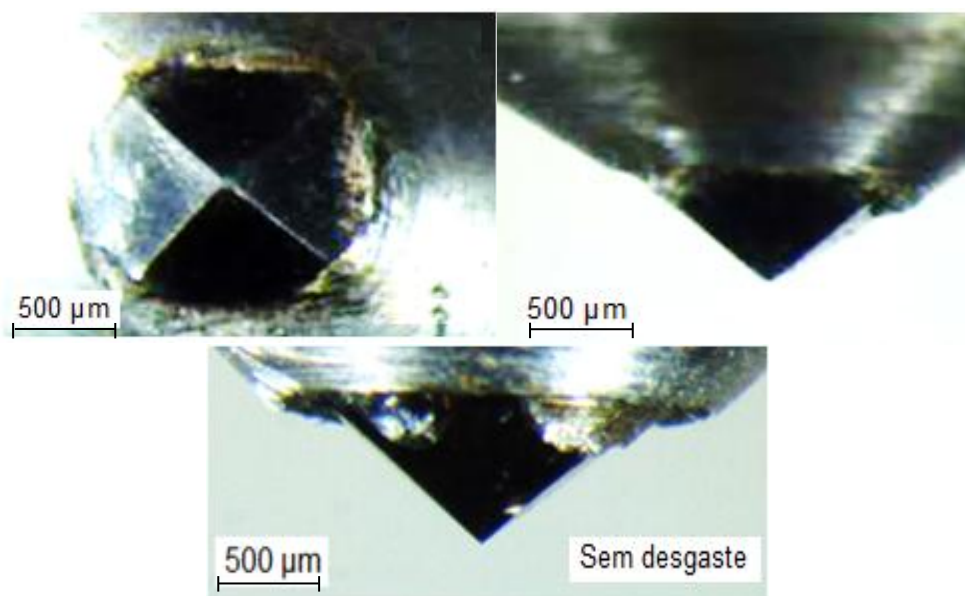


Figura 48. Diamante Brasil Extra com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio um.

A figura 49 apresenta o diamante Brasil Extra após as primeiras 20 passadas. A área gasta ainda é bem pouco vista pela figura, mas visível à aresta de corte.

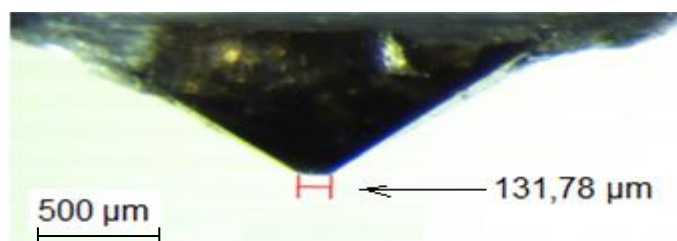


Figura 49. Diamante Brasil Extra com 20 passadas, posição horizontal no ensaio um.

A figura 50 mostra o diamante após a passada número 100, já é visível a área de desgaste na sua face, com uma borda de corte de 307,95 μm. A parte clara é resultado do estanho que atingiu ponto de fusão durante o ensaio, material este que foi utilizado para fixação do termopar que estava presente para coleta de dados de outro ensaio.

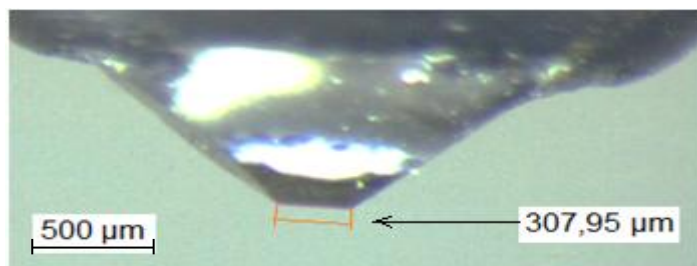


Figura 50. Diamante Brasil Extra com 100 passadas, posição horizontal no ensaio um.

A figura 51 mostra o diamante com 140 passadas. A face já está bastante gasta, com a borda superior do diamante com 406,59 μm. Uma medida bem maior que o apresentado com 20 passadas, conforme a figura 49, com 131,78 μm.

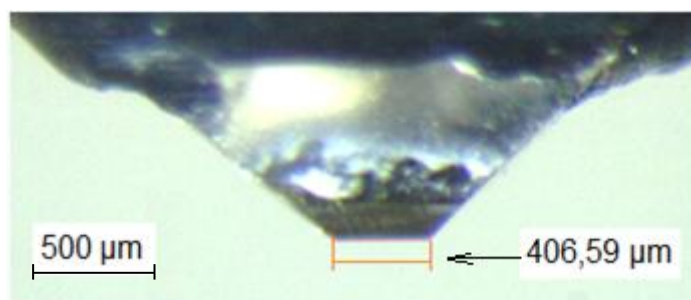


Figura 51. Diamante Brasil Extra com 140 passadas, posição horizontal no ensaio um.

A figura 52 mostra a imagem do diamante Brasil Extra utilizado no ensaio um ao final do ensaio, com 180 passadas. A aresta superior do diamante está bastante gasta, com 500,71  $\mu\text{m}$ .

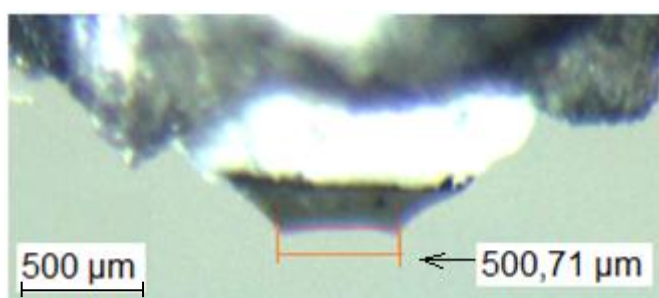


Figura 52. Diamante Brasil Extra ao final do ensaio um com 180 passadas na posição horizontal.

Na tabela 8, estão dispostos os dados obtidos com o primeiro ensaio do diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal.

Tabela 8. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$
20	3,33
40	11,29

60	16,31
80	18,60
100	24,15
120	31,04
140	40,65
160	51,05
180	101,57

Os dados da tabela 8 foram reorganizados na figura 53.

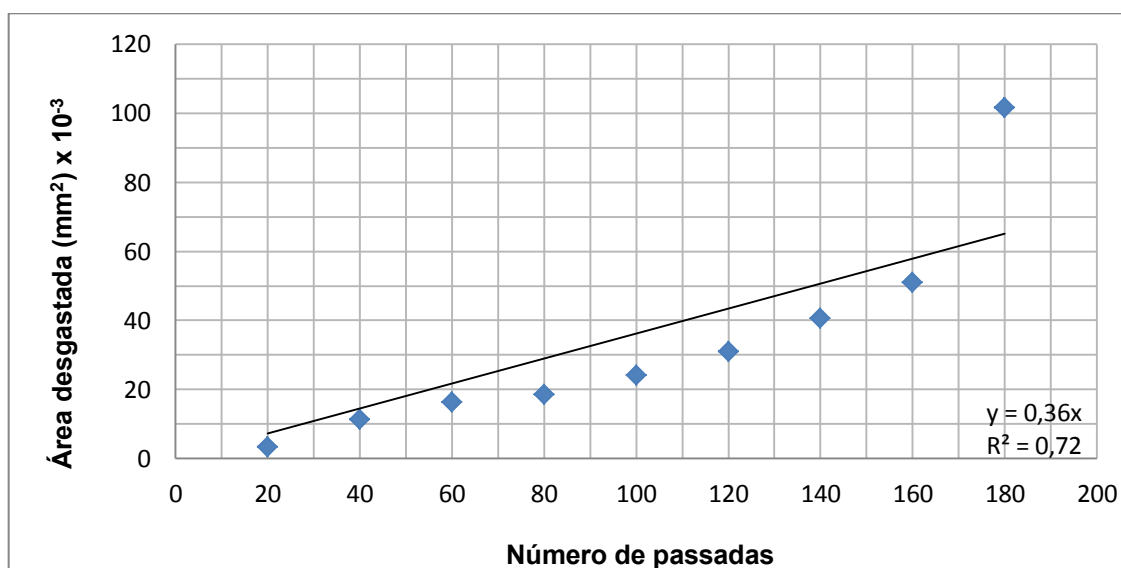


Figura 53. Área desgastada em relação ao número de passadas para o primeiro ensaio do diamante Brasil Extra na posição horizontal.

Observando os dados da tabela 8 e a figura 53 verifica-se que os valores gastos das áreas aumentam de acordo com o aumento do número de passadas. Pela figura 53 observa-se que os dados estão bastante lineares, com exceção do último valor, o da passada 180 final. Caso esse valor fosse removido o ajuste linear da curva seria bem menor. Porém, apesar da dispersão do último dado a curva apresentou bastante linearidade, com uma taxa de desgaste de  $0,36 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  com um ajuste linear de 0,72.

Para o segundo e terceiro ensaio referentes ao diamante Brasil Extra na posição horizontal, as análises dos resultados encontram-se no Apêndice B.

#### 4.1.3.2 Comparação dos três ensaios do diamante Brasil Extra - horizontal

A tabela 9 reúne os dados encontrados nos três ensaios, as medidas da área desgastada, bem como o número de passadas.

Tabela 9. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos pelos três ensaios para o diamante Brasil Extra na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	3,33	16,19	16,24
40	11,29	32,46	26,86
60	16,31	44,64	31,84
80	18,60	74,97	46,95
100	24,15	116,63	49,89
120	31,04	148,67	
140	40,65	299,87	
160	51,05	471,70	
180	101,57		

Os dados da tabela 9 estão dispostos na figura 54.

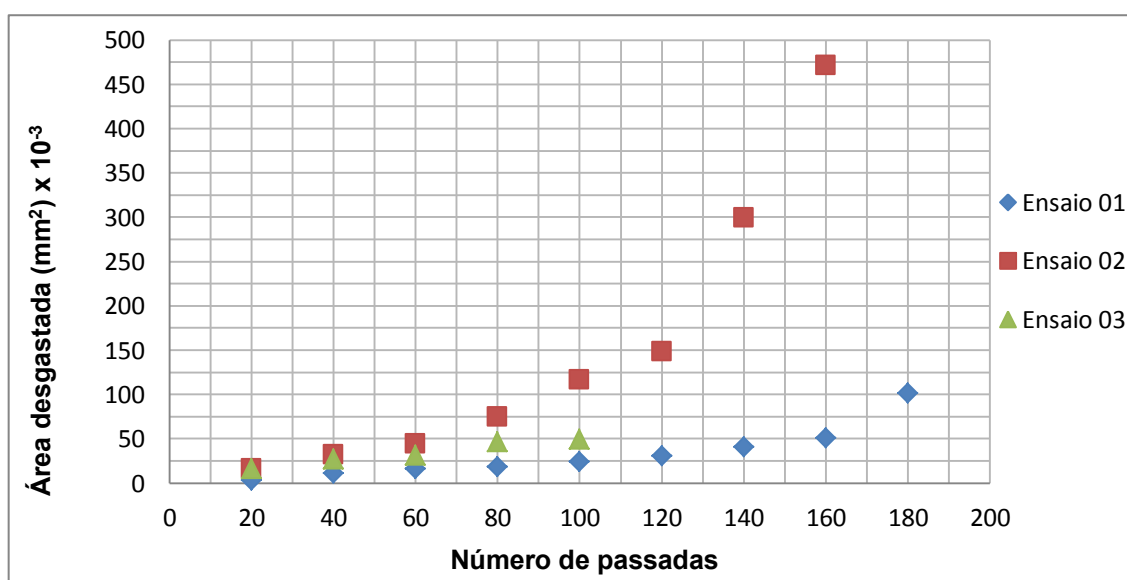


Figura 54. Área desgastada pelo número de passadas para os três ensaios do diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal.



Observando os dados da tabela 9 e da figura 54 verifica-se que os três ensaios se comportam de maneira muito próximas até a passada 80, após o ensaio dois começa a se distanciar dos valores dos demais ensaios, enquanto que os ensaios um e três estão crescendo em ritmos semelhantes. Para a passada de 120 a 160 o ensaio dois se dispersa cada vez mais do ensaio um, que continua seguindo uma tendência linear até que ao fim de seu ensaio, na passada 180, sofre uma pequena variação.

Na comparação entre os três diamantes foram calculados a média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas, dessa forma, os dados com maior de 100 passadas, foram descartados.

Na tabela 10 é apresentado o valor final médio da área desgasta do diamante tipo Brasil Extra para cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 10. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias amostrais e desvios-padrões da área desgastada para o diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal.

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	11,92	7,44
40	23,54	10,98
60	30,93	4,19
80	46,84	8,19
100	63,56	7,73

Os dados obtidos pela tabela 10 foram expostos na figura 55.

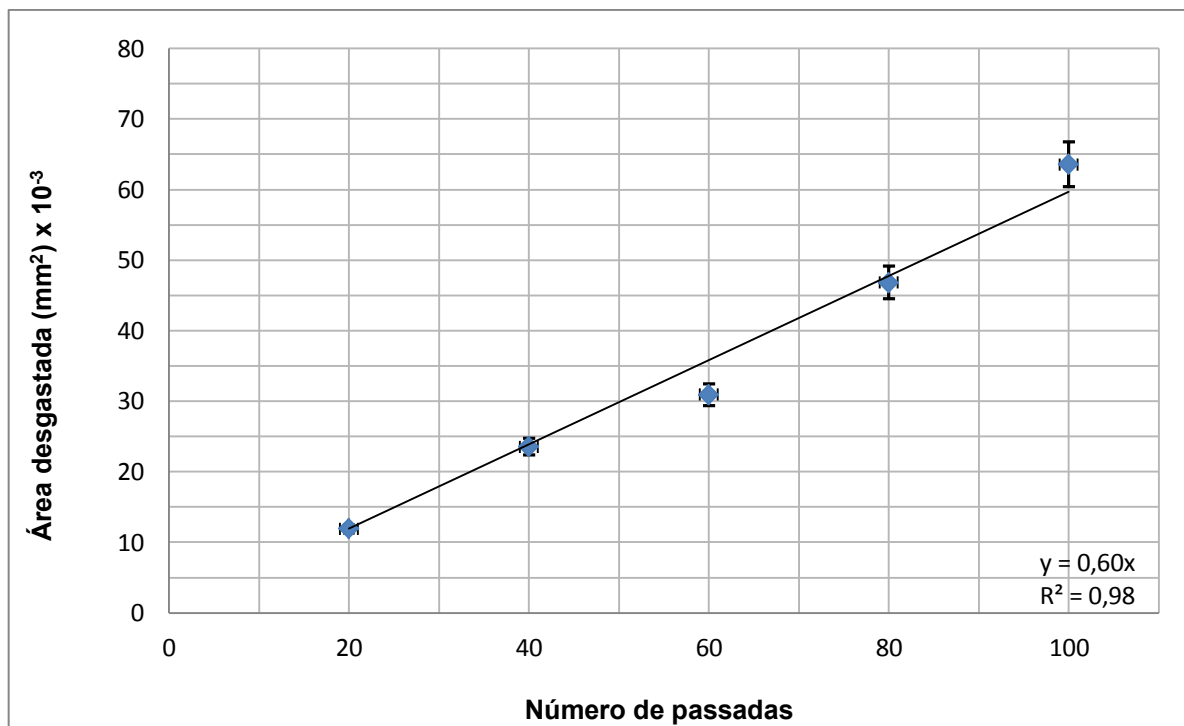


Figura 55. Área desgastada versus número de passadas para o diamante Brasil Extra – horizontal.

Pela tabela 10 e pela figura 55 observa-se uma grande linearidade entre os dados, com um ajuste linear da curva com 0,98. O desvio padrão também está indicando uma média dispersão dos dados. O coeficiente angular da reta encontrada na figura 55 é de 0,60. Dessa forma, para cada passada são gastos  $0,60 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área.

Na figura 56 estão apresentadas as três imagens referentes à área desgastadas obtidas a cada 20 passadas dos três ensaios até a passada 100 para uma visualização do desgaste dimensional.



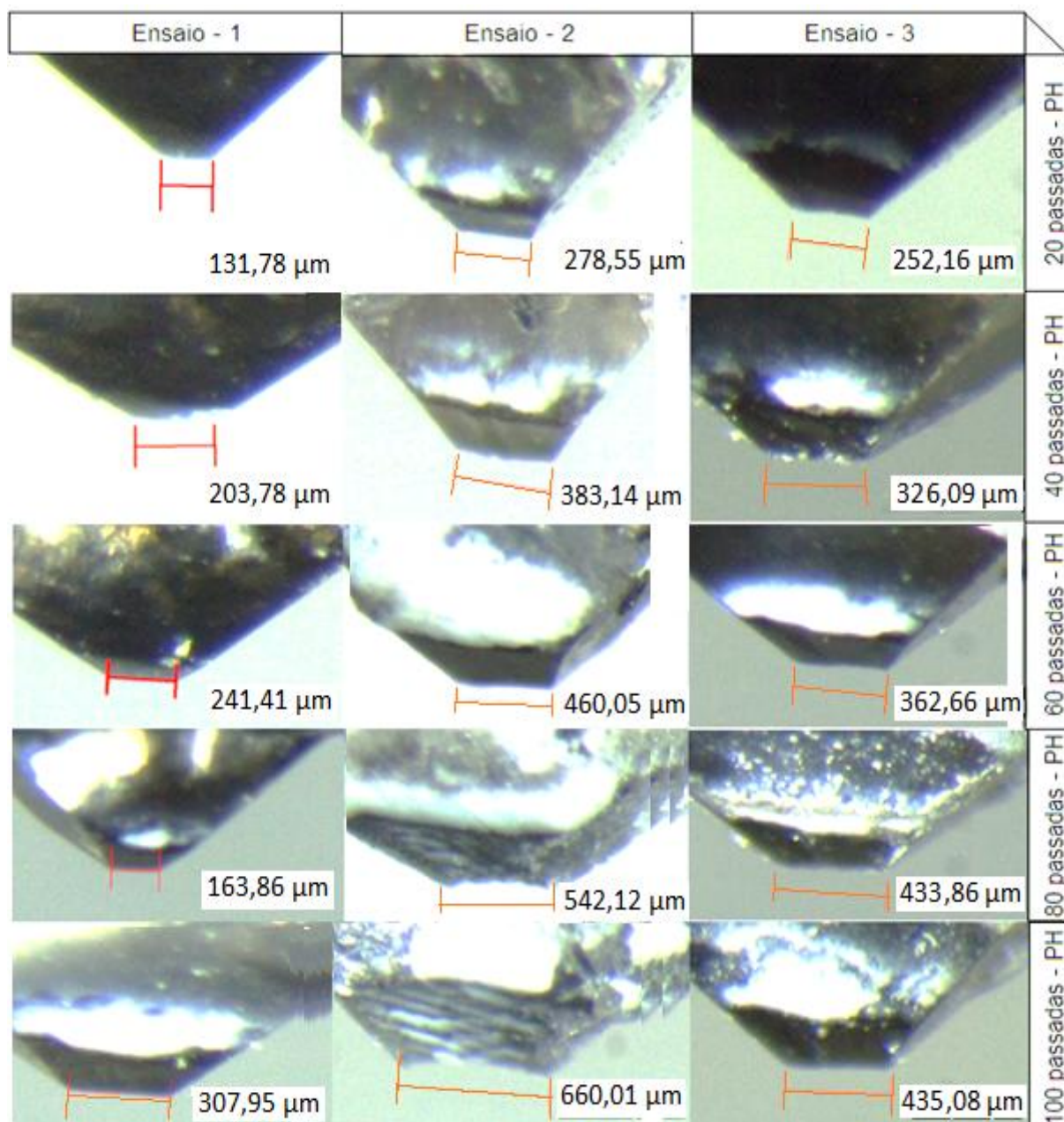


Figura 56. Ensaio 01, 02 e 03 com passadas 20, 40, 60, 80 e 100 na posição horizontal para o diamante Brasil Extra.

Nas imagens da figura 56, pode-se observar o comportamento das áreas desgastadas etapa por etapa durante todos três ensaios realizados para o diamante Brasil Extra na posição horizontal.

#### 4.1.4 Diamante Brasil Extra – Vertical

Foram realizados três ensaios com o diamante Brasil Extra. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

##### 4.1.4.1 Primeiro ensaio - Vertical

As figuras 57 a 62 demonstram as áreas em cada etapa do início e as obtidas nas passadas de 20, 80, 140 e 180, com seu respectivo desgaste, ao longo deste primeiro ensaio com o diamante Brasil Extra na posição vertical.

Na figura 57 é mostrado o diamante Brasil Extra utilizado no primeiro ensaio no ponto de vista vertical, na qual se veem claramente as quatro faces do diamante, bem como a ponta sem desgaste.

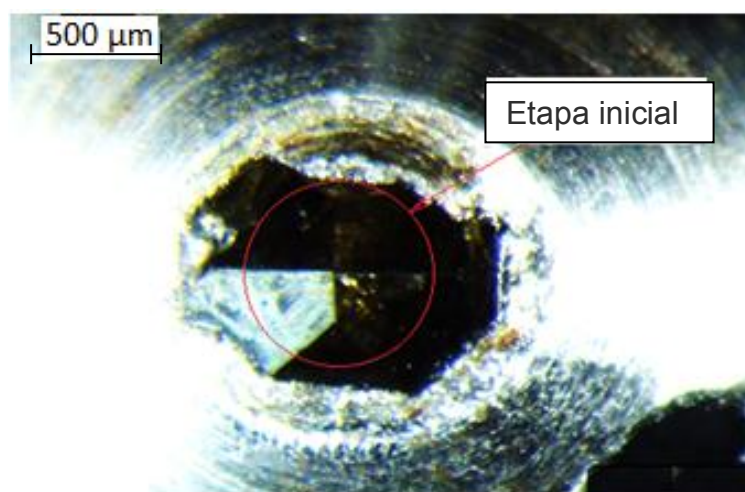


Figura 57. Diamante Brasil Extra com nenhuma passada, posição vertical no ensaio um.

Observa-se uma pequena região gasta na parte superior, conforme ilustra a figura 58 na etapa de 20 passadas.

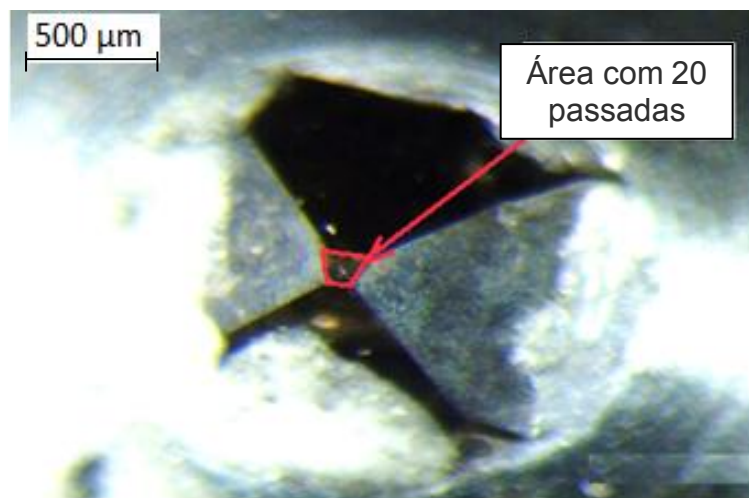


Figura 58. Diamante Brasil Extra com 20 passadas, posição vertical no ensaio um.

A figura 59 mostra o diamante com 80 passadas. Verifica-se um aumento da região gasta quanto comparada com a figura 58.

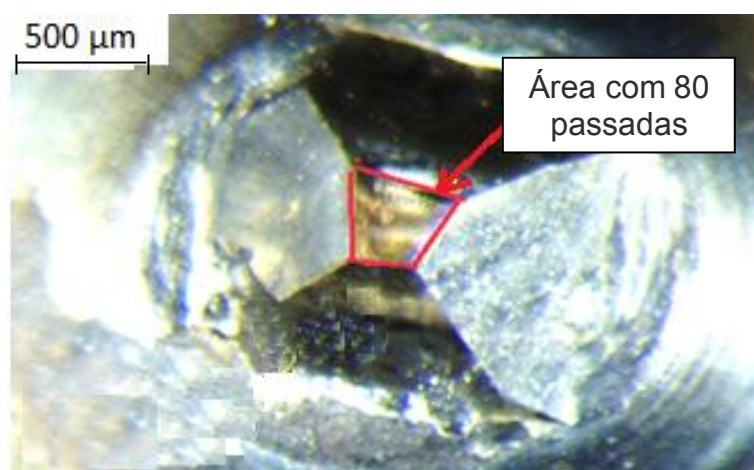


Figura 59. Diamante Brasil Extra com 80 passadas, posição vertical no ensaio um.

Nesta etapa do ensaio como ilustrado na figura 60, verificou uma região desgastada proporcional à etapa crescente.

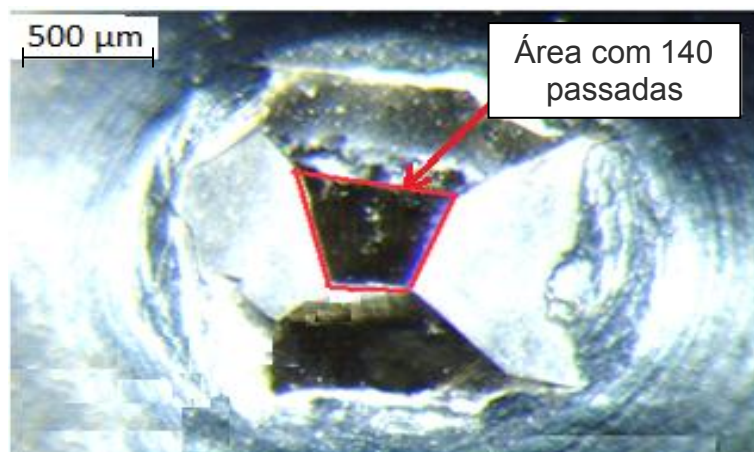


Figura 60. Diamante Brasil Extra com 140 passadas, posição vertical no ensaio um.

A figura 61 verificou uma proporcionalidade em relação à etapa da figura 60, bem como arestas de diversos tamanhos e bem regulares com sua estrutura.

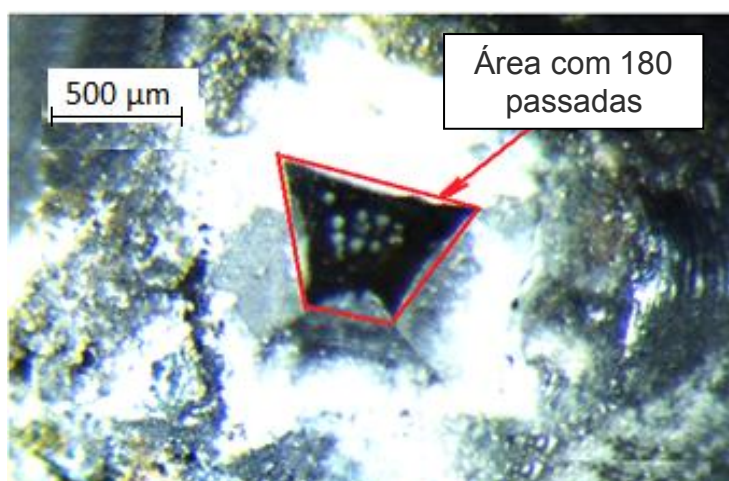


Figura 61. Diamante Brasil Extra ao final do ensaio um com 180 passadas na posição vertical.

Na tabela 11 é apresentado o valor final médio da área desgasta do diamante tipo Brasil Extra para cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 11. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	27,39
40	75,14
60	106,36
80	158,98
100	231,70
120	288,11
140	393,78
160	473,45
180	644,79

Os dados da tabela 11 foram linearizados na figura 62.

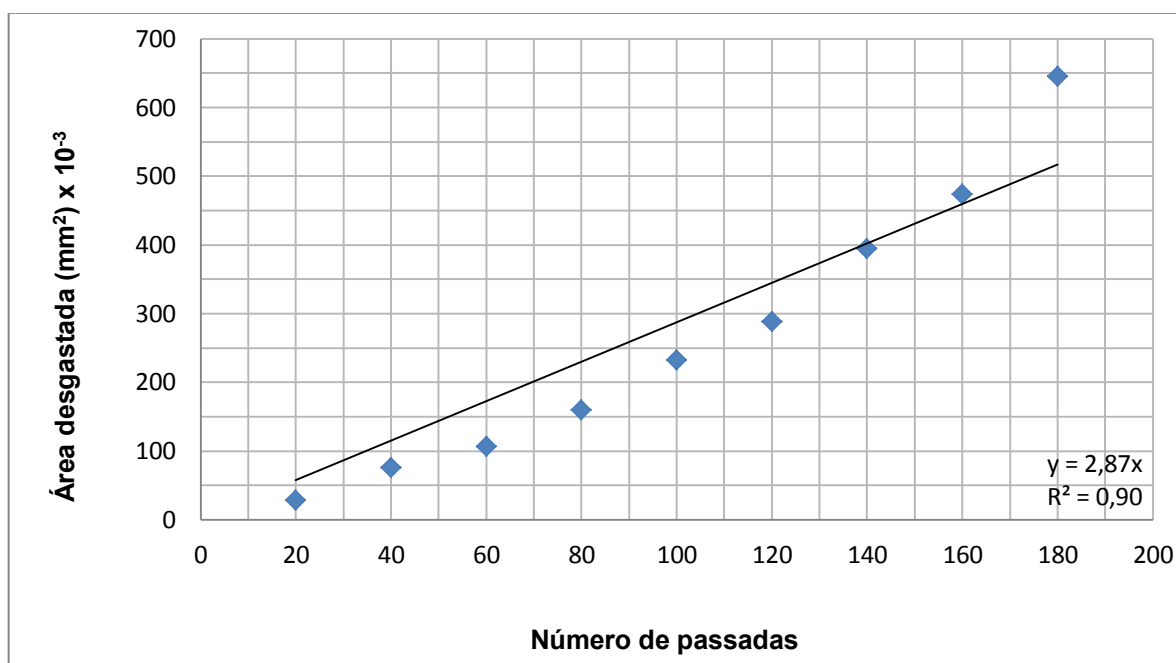


Figura 62. Área desgastada em relação ao número de passadas do diamante Brasil Extra para o ensaio um na posição vertical.



Interpretando a tabela 11 e observando a figura 62, verifica-se que o valor da área desgastada aumenta linearmente de acordo com o número de passadas. Os dados apresentaram relativa linearização, com um ajuste linear da curva obtida de 0,90. A taxa de desgaste foi de  $2,87 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ .

As análises dos resultados dos ensaios realizados para o segundo e terceiro ensaios referentes ao diamante Brasil Extra na posição vertical. Encontram-se no Apêndice B.

#### 4.1.4.2 Comparação dos três ensaios do diamante Brasil Extra – Vertical

A tabela 12 reúne os dados encontrados nos três ensaios, as medidas das áreas desgastadas, bem como o número de passadas.

Tabela 12. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos nos três ensaios para o diamante tipo Brasil Extra na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	27,39	27,13	97,43
40	75,14	51,55	160,06
60	106,36	152,71	243,04
80	158,98	188,62	304,65
100	231,70	297,49	355,06
120	288,11	398,05	
140	393,78	465,80	
160	473,45	532,47	
180	644,79		

Os dados da tabela 12 estão representados na figura 63.

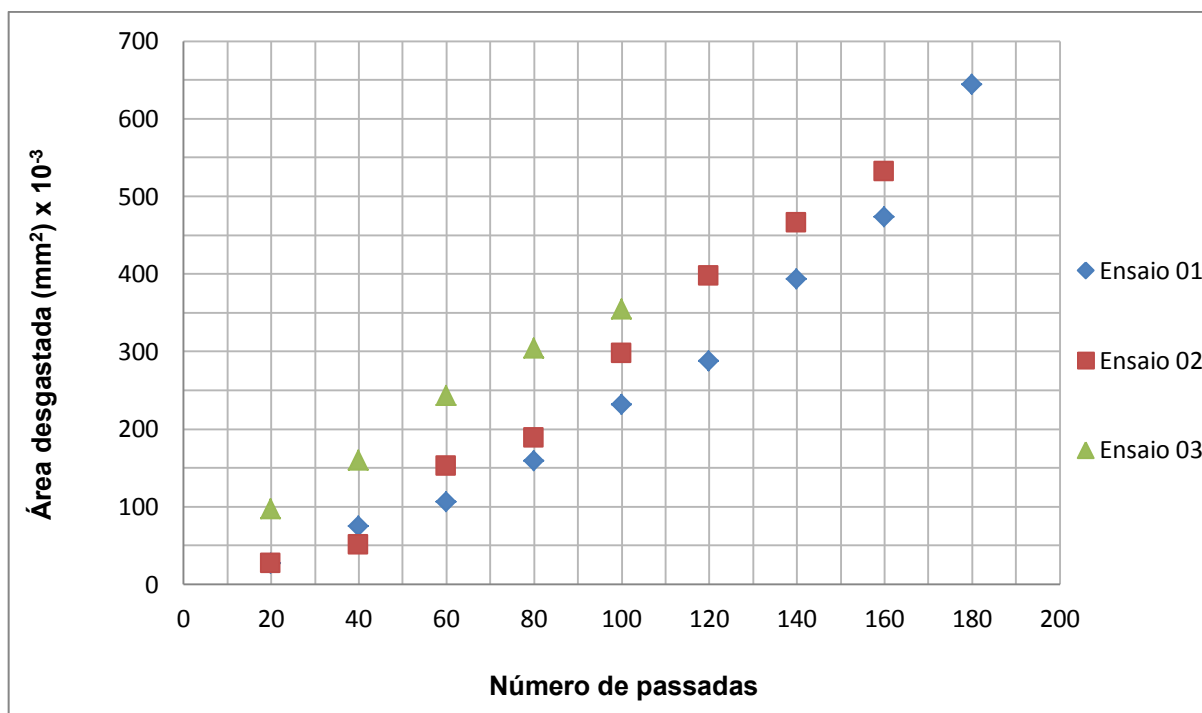


Figura 63. Área desgastada pelo número de passadas para os três ensaios realizados na posição vertical para o diamante tipo Brasil Extra.

Observando os dados contidos na tabela 12 e na figura 63 verifica-se que os três ensaios apresentam tendências parecidas. O ensaio três aparece inicialmente mais disperso que os ensaios um e dois. O ensaio dois aumenta o valor da área desgastada com relação ao ensaio um entre as passadas 40 e 60. O ensaio um e dois começa a se dispersar na passada 80, porém apresentam tendências parecidas até a passada 160. O ensaio três cresce linearmente, mas com valores distintos dos demais ensaios. O ponto mais disperso é o da passada 180 para o ensaio um.

Para uma maior precisão foi calculada a média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas. Desta forma, os dados com mais de 100 passadas foram descartados. Assim, a tabela 13 representa o valor final médio da área desgastada do diamante tipo Brasil Extra para cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 13. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Brasil Extra na posição vertical.

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	50,65	20,51
40	95,58	32,072
60	167,37	29,51
80	217,42	26,99
100	294,75	31,72

Os dados apresentados na tabela 13 estão expostos na figura 64.

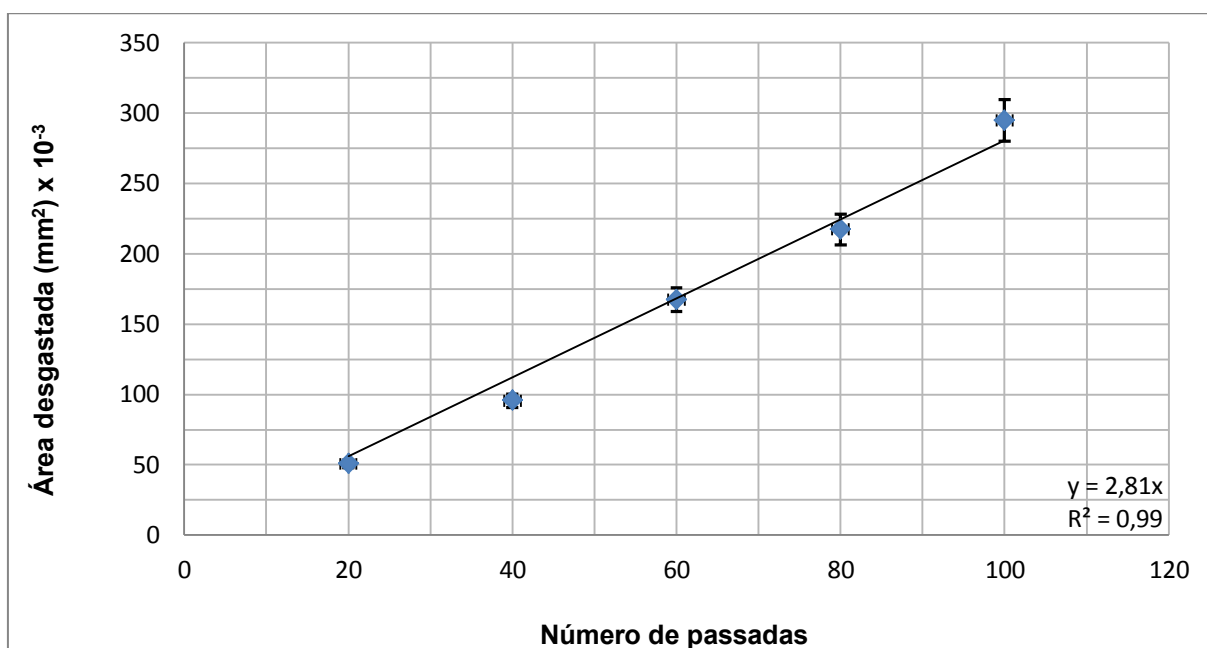


Figura 64. Área desgastada versus número de passadas do diamante Brasil Extra na posição vertical.

Pelos dados obtidos e mostrados pela tabela 13 e a figura 64, observa-se uma grande linearidade entre os dados, como mostrado no ajuste linear obtido pela curva da figura 64 com 0,99. O desvio padrão indica baixa dispersão dos



dados. O coeficiente angular da reta encontrada na figura 64 é de 2,81. Dessa forma, para uma passada são gastos  $2,81 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área.

Na figura 65 foram alocadas as três imagens referentes às áreas desgastadas obtidas a cada 20 passadas dos três ensaios considerando até a passada 100 para uma melhor visualização.

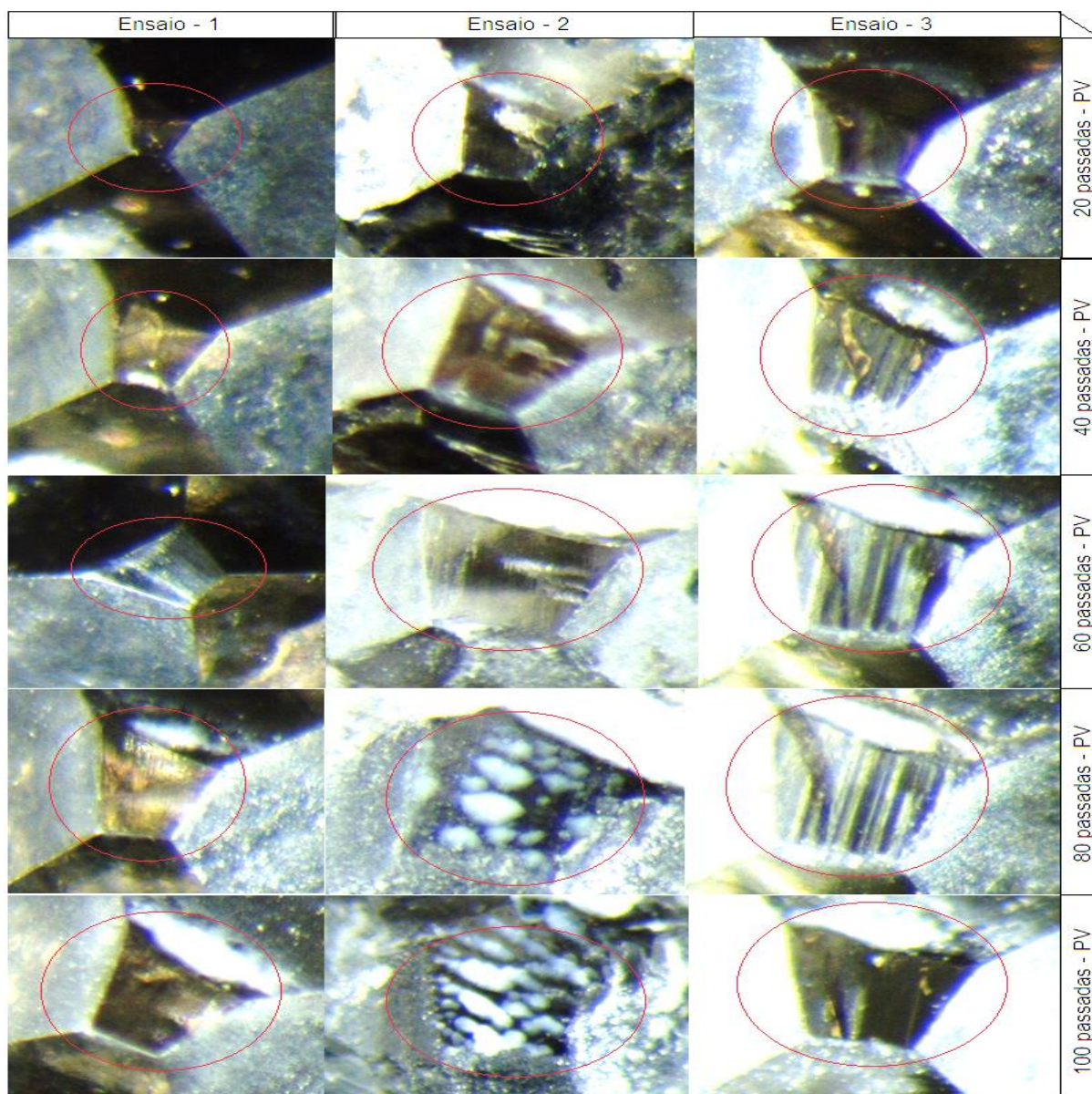


Figura 65. Ensaios 01, 02 e 03 com as passadas de 20 a 100 na posição vertical para o diamante Brasil Extra.

#### 4.1.5 Diamante Mato Grosso – Horizontal

Foram realizados três ensaios com o diamante Mato Grosso. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

##### 4.1.5.1 Primeiro ensaio - horizontal

As figuras 66 a 70 mostram respectivamente as imagens das áreas sem e com o desgaste após 20, 80 e 140 passadas ao longo do primeiro ensaio com o diamante Mato Grosso. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma evidência a área inicial do diamante sem desgaste e as etapas de dressagem com as respectivas áreas de desgaste que o diamante está apresentando a cada etapa.

A figura 66 apresenta o diamante Mato Grosso com sua área inicial sem desgaste com diversas faces.

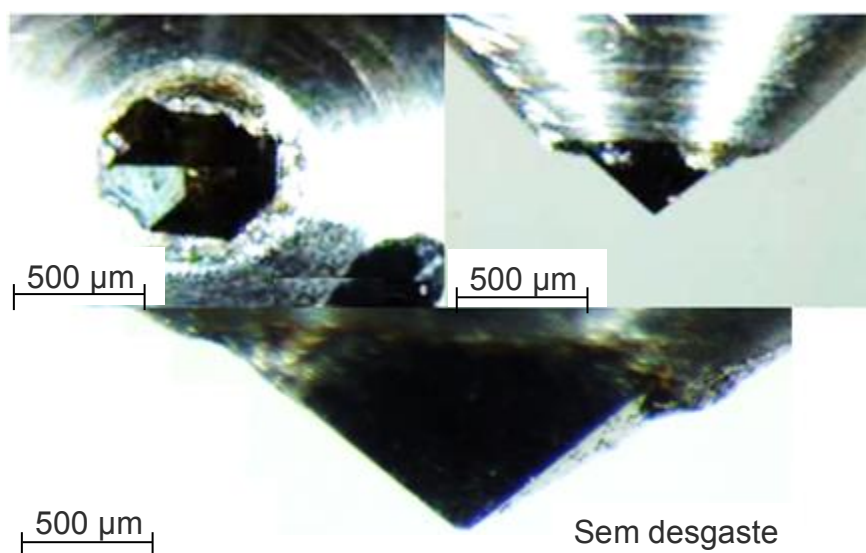


Figura 66. Dressador com o diamante Mato Grosso, sem desgaste.

A figura 67 mostra o diamante após as primeiras 20 passadas. Observa-se que a medida da borda de desgaste é de 315,68  $\mu\text{m}$ . E já apresenta uma pequena região de desgaste próximo a extremidade.

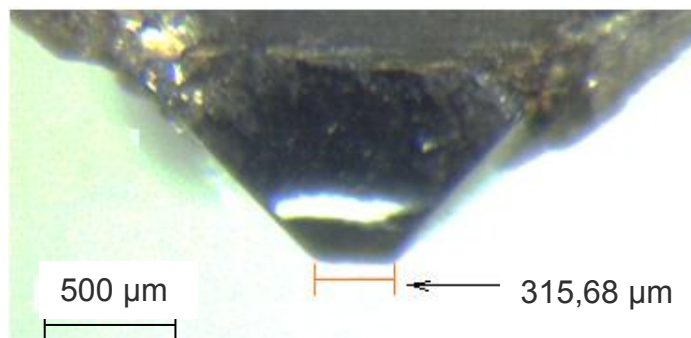


Figura 67. Diamante Mato Grosso com 20 passadas, posição horizontal no ensaio um.

A figura 68 mostra o diamante com 80 passadas. A medida da borda de desgaste ficou em 636,24  $\mu\text{m}$ , bem maior que a obtida pelas primeiras 20 passadas como mostrada na figura 67. A área de desgaste também ficou consideravelmente maior, como se pode verificar pela tabela 13.

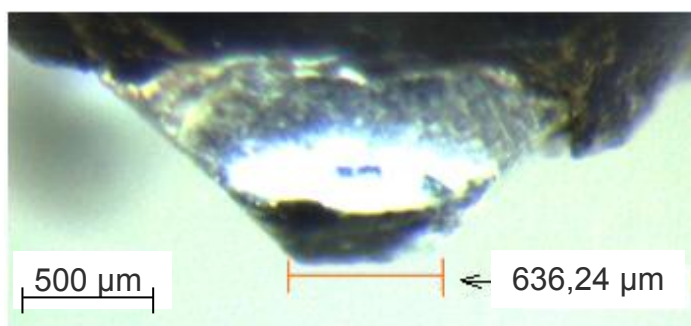


Figura 68. Diamante Mato Grosso com 80 passadas, posição horizontal no ensaio um.

A figura 69 mostra o diamante ao final do primeiro ensaio. O diamante está bastante gasto, com uma medida de desgaste da borda de 800,01  $\mu\text{m}$ . Observa-se também que estruturalmente o diamante sofreu um alto gasto após 140 passadas devido à fadiga gerada pelo calor e excessivas forças de dressagem.

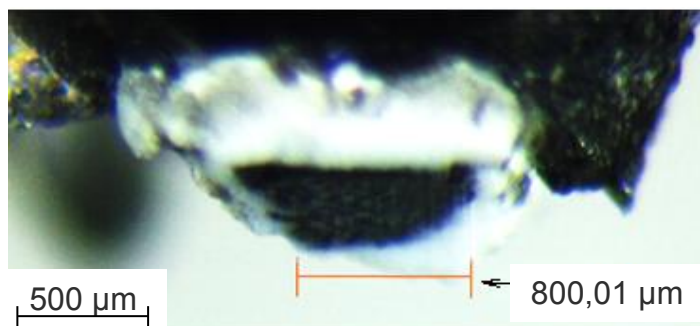


Figura 69. Diamante Mato Grosso ao final do ensaio um com 140 passadas na posição horizontal.

Na tabela 14, estão dispostos os dados obtidos com o primeiro ensaio do diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal.

Tabela 14. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$
20	35,27
40	52,47
60	80,14
80	92,19
100	112,28
120	132,39
140	186,44

Os dados da tabela 14 estão rerepresentados na figura 70.

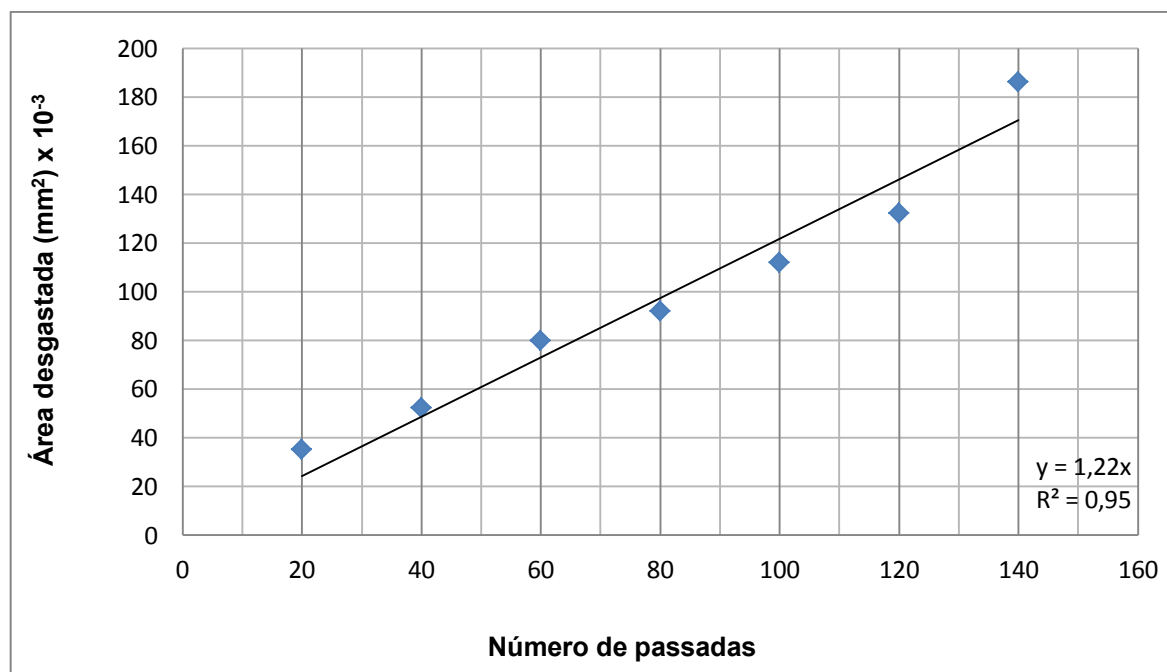


Figura 70. Área desgastada em relação ao número de passadas para ensaio um do diamante Mato Grosso na posição horizontal.

Pelos dados da tabela 14 e pela figura 70 observa-se que o desgaste da área cresce à medida que aumenta o número de passadas. Os dados foram bastante lineares, com um ajuste linear da curva obtida de 0,95. A taxa de desgaste foi de  $1,22 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . Novamente observou-se que a última passada, a de número 140, apresentou maior dispersão comparada com as anteriores.

Os resultados das análises das etapas do segundo e terceiro ensaios referentes ao diamante Mato Grosso na posição horizontal encontram-se no Apêndice C.

#### 4.1.5.2 Comparação dos três ensaios do diamante Mato Grosso – Horizontal

A tabela 15 reúne os dados encontrados nos três ensaios, as medidas das áreas desgastadas, bem como o número de passadas.

Tabela 15. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos nos três ensaios para o diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	35,27	15,63	38,03
40	52,47	32,15	48,14
60	80,14	38,99	78,37
80	92,19	52,78	156,31
100	112,28	62,48	286,73
120	132,39	83,57	
140	186,44	87,20	
160		90,85	
180		121,17	

Os dados concentrados na tabela 15 foram reorganizados na figura 71.

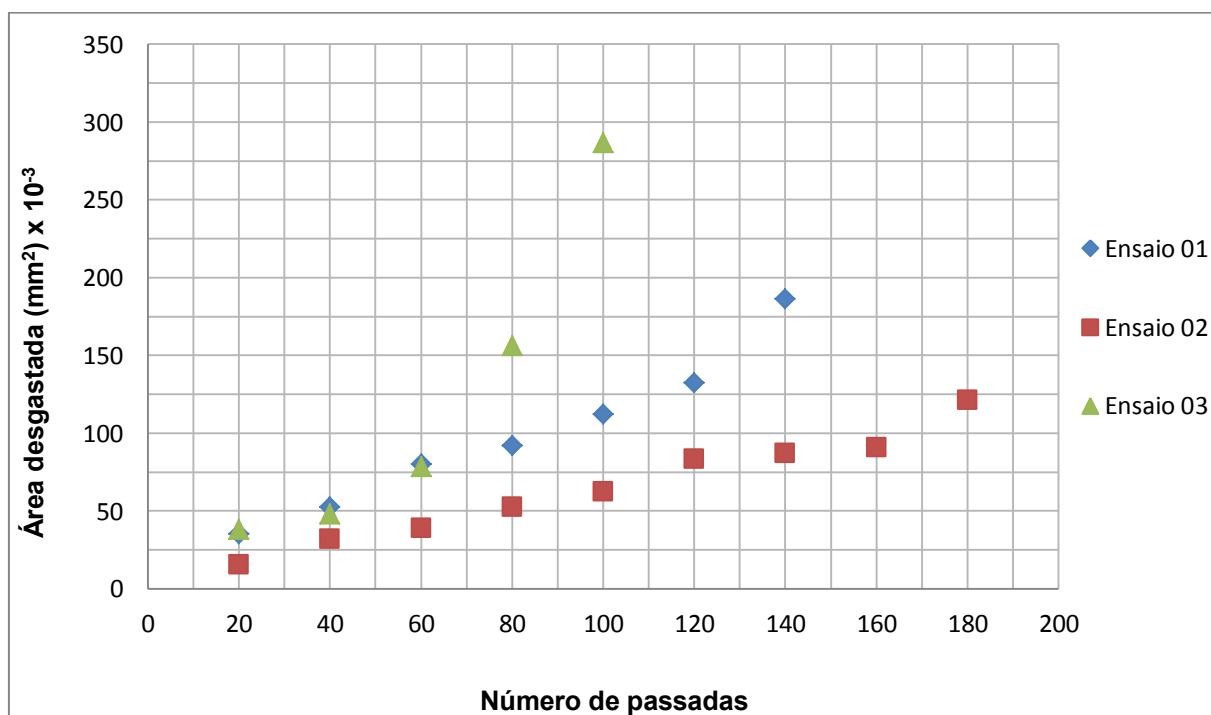


Figura 71. Área desgastada em relação ao número de passadas referentes aos dados obtidos para os três ensaios do diamante Mato Grosso na posição horizontal.



Pela tabela 15 e figura 71 observa-se que até próximo das 60 primeiras passadas os ensaios um e três comportaram-se de forma bastante semelhante, com valores de área desgastada bem próximos, porém o ensaio três desvirtuou-se a partir da passada 80, ficando muito disperso quando comparado com os dados dos ensaios um e três.

Os ensaios um e dois mantiveram ritmos bastante parecidos, apresentando uma maior diferença na passada 140, cujo qual foi a última passada do diamante usado no ensaio um. Por ser o da passada 140 o último dado obtido, pode ser considerado anormal, como os demais valores encontrados como área desgastada para as últimas passadas até a presente circunstância deste trabalho.

Para uma melhor comparação entre os resultados dos três diamantes, foi calculada a média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas, dessa forma, os dados com mais do que 100 passadas foram descartados. Assim, a tabela 16 representa o valor final médio da área desgastada do diamante tipo Mato Grosso obtidos a cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 16. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Mato Grosso na posição horizontal.

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	29,65	5,213
40	44,25	10,70
60	65,83	8,26
80	100,42	5,26
100	153,83	11,76

Reagrupando os dados da tabela 16 na figura 72.

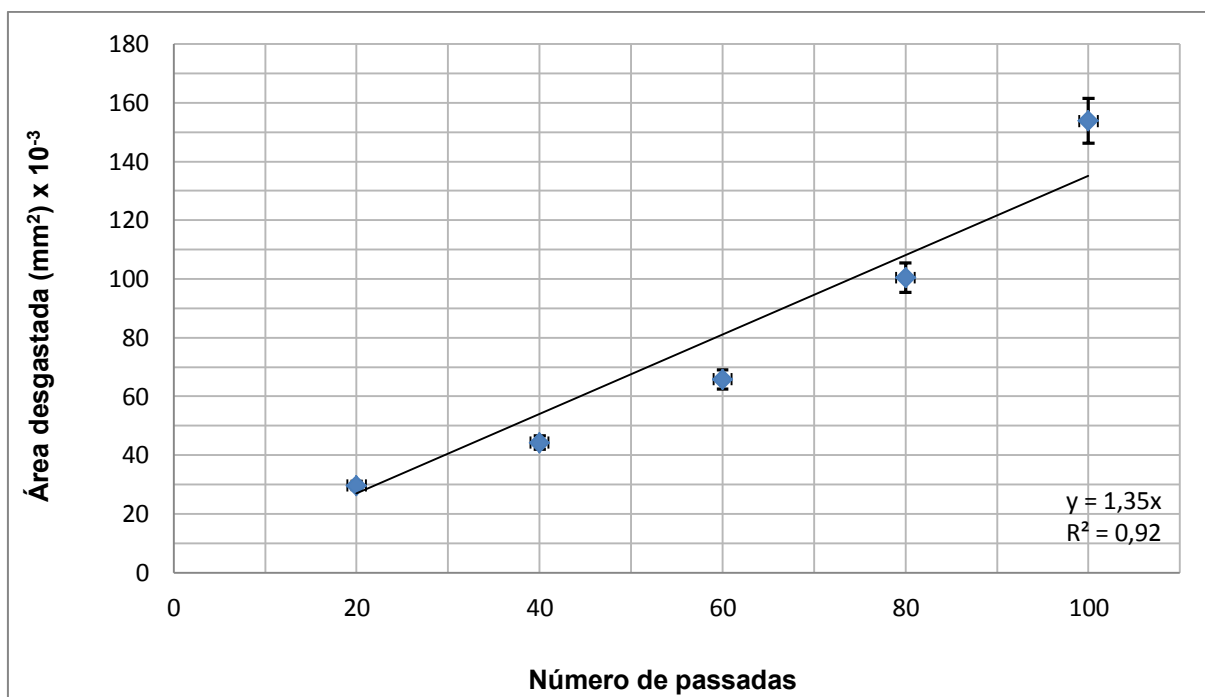


Figura 72. Área desgastada versus número de passadas para o diamante tipo Mato Grosso – horizontal.

Pela tabela 16 e a figura 72, observa-se uma grande linearidade entre os dados, visto que o ajuste linear obtido para a reta é de 0,92. O desvio padrão encontrado também está indicando média dispersão dos dados. O coeficiente angular da reta é de 1,35. Dessa forma, para uma passada são gastas  $1,35 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup> de área.

Na figura 73 foram colocadas as imagens referentes ao desgaste para cada 20 passadas dos três ensaios até a passada 100 para uma visualização do desgaste dimensional.



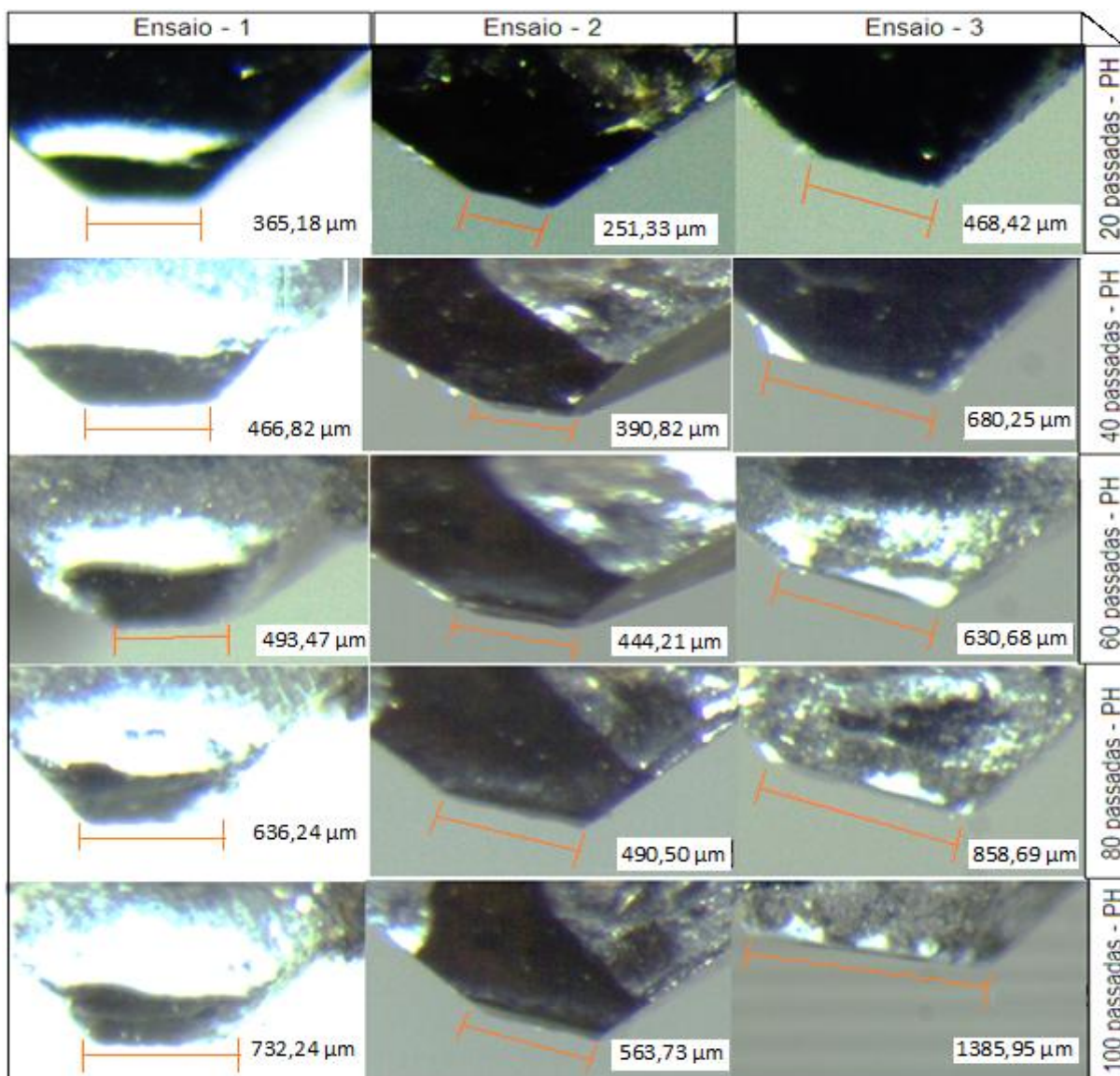


Figura 73. Ensaios 01, 02 e 03 com passadas de 20 a 100 na posição horizontal para o diamante Mato Grosso.

#### 4.1.6 Diamante Mato Grosso – Vertical

Foram realizados três ensaios com o diamante Mato Grosso. Os resultados estão expressos em tabelas e figuras.

#### 4.1.6.1 Primeiro ensaio – vertical

As figuras 74 a 77 mostram respectivamente as imagens das áreas em cada etapa do início e as obtidas nas passadas de 20, 100 e 140, com seu respectivo desgaste, obtidas no primeiro ensaio com o diamante Mato Grosso na posição vertical.

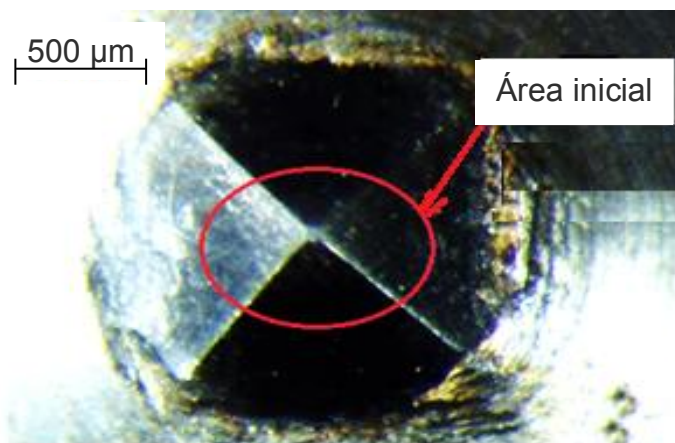


Figura 74. Diamante Mato Grosso - nenhuma passada, posição vertical - ensaio um.

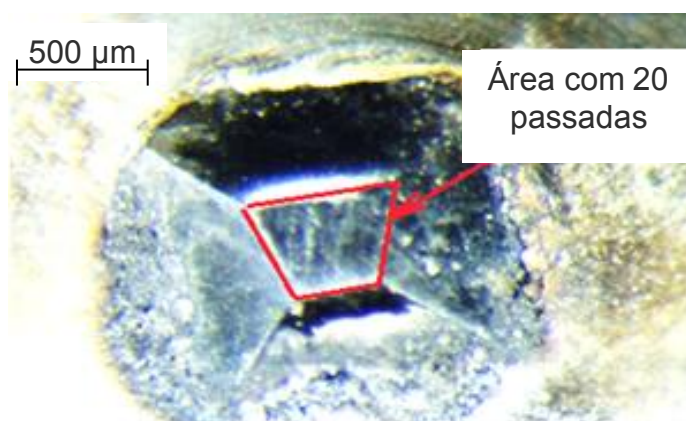


Figura 75. Diamante Mato Grosso - 20 passadas, posição vertical - ensaio um.

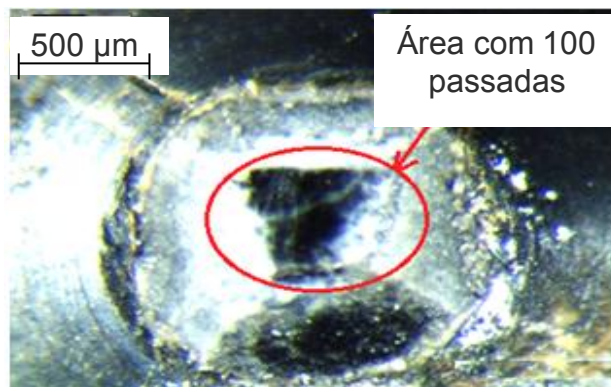


Figura 76. Diamante Mato Grosso - 100 passadas, posição vertical no ensaio um.

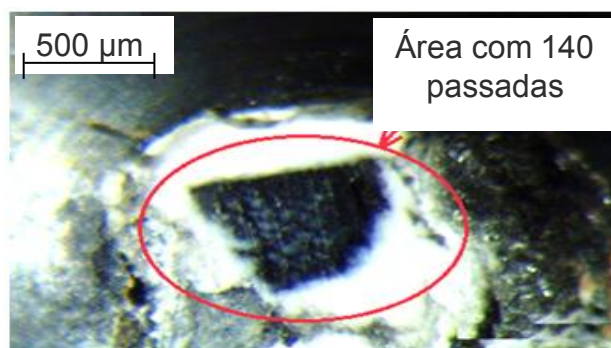


Figura 77. Diamante Mato Grosso - 140 passadas, posição vertical - ensaio um.

A tabela 17 reúne os dados encontrados no primeiro ensaio, as medidas da área desgastada, bem como o número de passadas.

Tabela 17. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no primeiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	290,15
40	396,05
60	484,02
80	645,55
100	684,57
120	701,41
140	888,05

Os dados da tabela 17 foram reagrupados na figura 78.

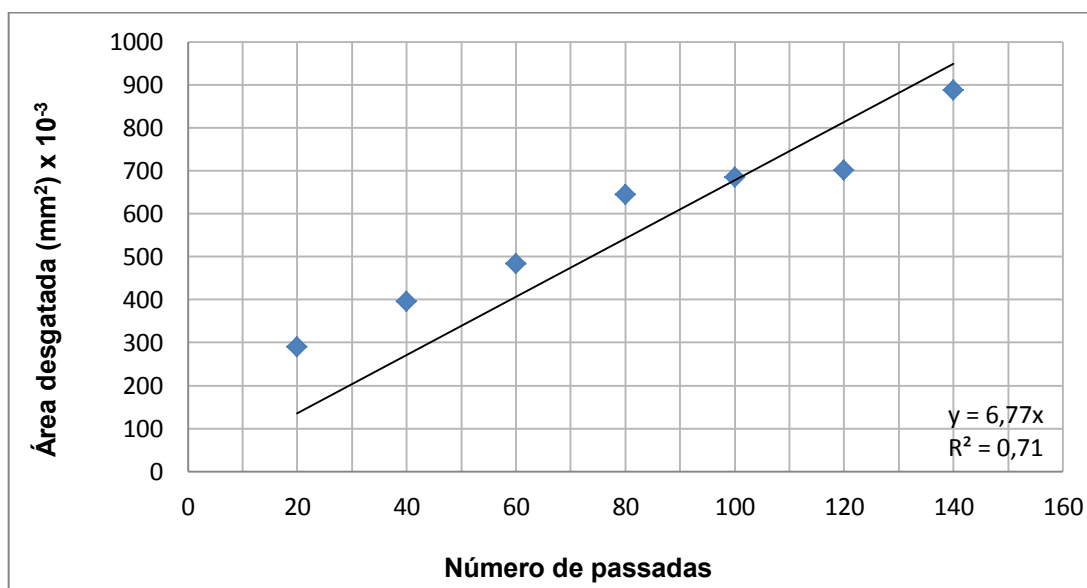


Figura 78. Área desgastada em relação ao número de passadas para o primeiro ensaio do diamante Mato Grosso na posição vertical.

Observando os dados da tabela 17 e da figura 78, verifica-se que o valor da área aumentou à medida que o número de passadas cresceu. Pelo valor do ajuste linear obtido pela curva, cujo valor foi de 0,71, observa-se que os dados estão dispersos, não apresentando uma boa linearização. A taxa de desgaste obtida pelo coeficiente angular da curva foi de  $6,77 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ .

Os resultados das análises das etapas do segundo e terceiro ensaios referentes ao diamante Mato Grosso na posição vertical encontram-se no Apêndice C.

#### 4.1.6.2 Comparação dos três ensaios do diamante Mato Grosso – Vertical

A tabela 18 reúne os dados encontrados para os três ensaios, as medidas da área desgastada, bem como o número de passadas.

Tabela 18. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos pelos três ensaios para o diamante tipo Mato Grosso na posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
20	290,15	65,56	168,65
40	396,05	128,36	254,38
60	484,02	190,99	346,57
80	645,56	245,49	549,58
100	684,57	287,02	670,06
120	701,41	340,92	
140	888,05	374,70	
160		428,14	
180		516,53	
191		555,17	

Os dados da tabela 18 estão reagrupados na figura 79.

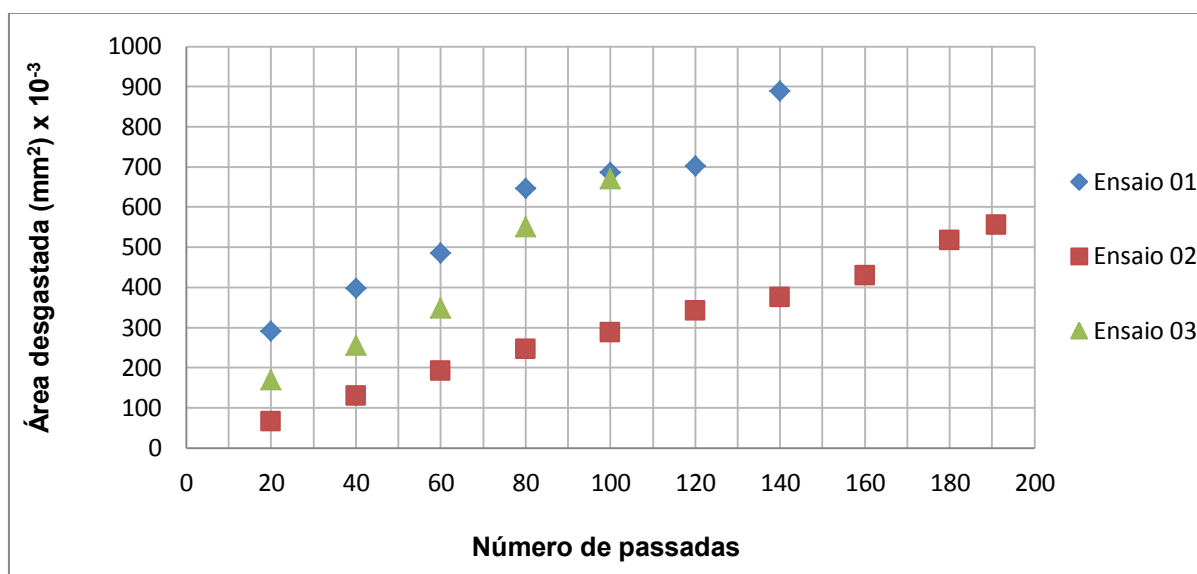


Figura 79. Área desgastada em relação ao número de passadas obtidos pelos três ensaios do diamante Mato Grosso na posição vertical.

Observando os dados contidos na tabela 18 e na figura 79, verifica-se que, apesar dos três ensaios apresentarem dados de áreas desgastadas, até a passada 60 os três seguem uma tendência parecida. Na passada 80 os valores de área para os ensaios um e três se distanciam da do ensaio dois. Os pontos para a

passada número 100 mostram valores parecidos para os ensaios um e três. Os pontos para a passada 140 mostram uma grande dispersão dos dados quando se compara o ensaio um e o ensaio dois.

Foi calculada uma média aritmética dos três ensaios para cada número de passadas, desta forma, os dados com mais do que 100 passadas foram descartados. Assim, a tabela 19 apresenta o valor final médio das áreas desgastadas do diamante tipo Mato Grosso obtidas a cada 20 passadas, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 19. Número de passadas para os três ensaios com suas respectivas médias e desvios-padrões da área desgastada para o diamante Mato Grosso na posição vertical.

Número de passadas	Média da área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Desvio-padrão (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	174,79	21,24
40	259,60	13,39
60	340,53	24,67
80	480,21	30,89
100	547,22	22,55

Os dados apresentados na tabela 19 estão expostos na figura 80.

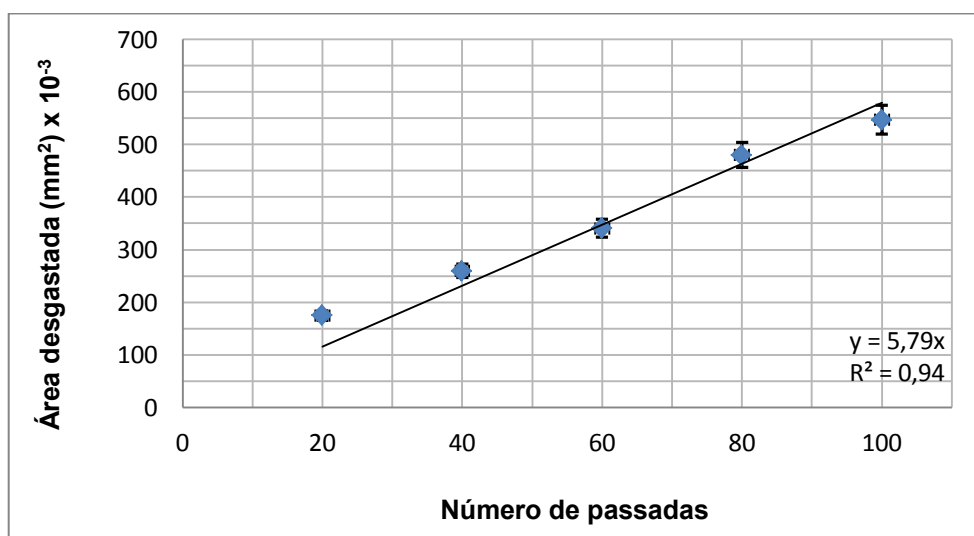


Figura 80. Área desgastada versus número de passadas do diamante Mato Grosso na posição vertical.



Pela tabela 19 e figura 80, observa-se uma grande linearidade entre os dados, como se percebe pelo ajuste linear da reta obtido pela figura 80 de 0,94. O desvio padrão encontrado indica relativa baixa dispersão dos dados. O coeficiente angular da reta encontrado é de 5,79. Dessa forma, para cada passada são gastos  $5,79 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de área.

Na figura 81 foram colocadas as três imagens referentes ao desgaste para cada 20 passadas dos três ensaios até a passada 100 para uma visualização das respectivas áreas de desgaste.

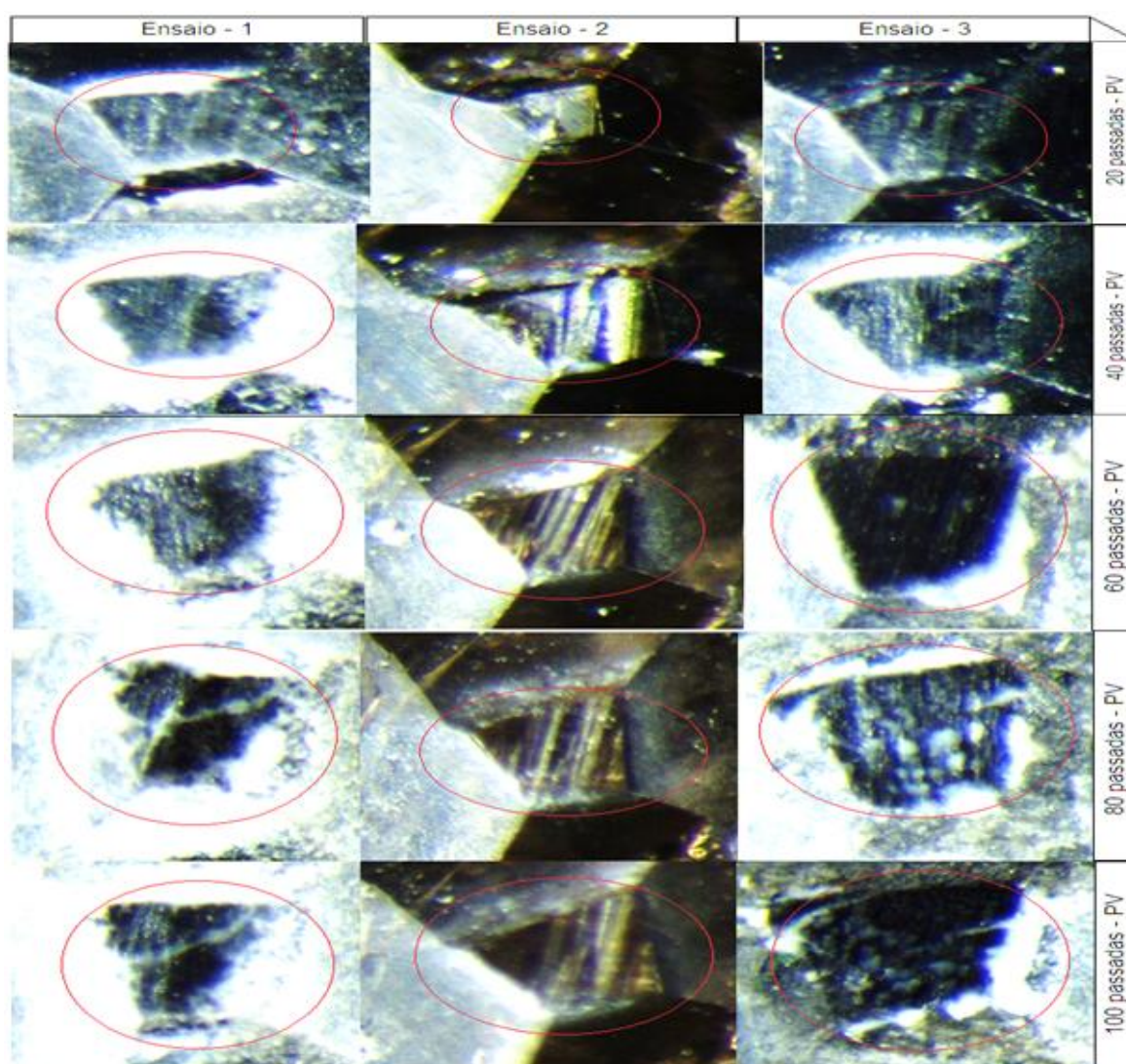
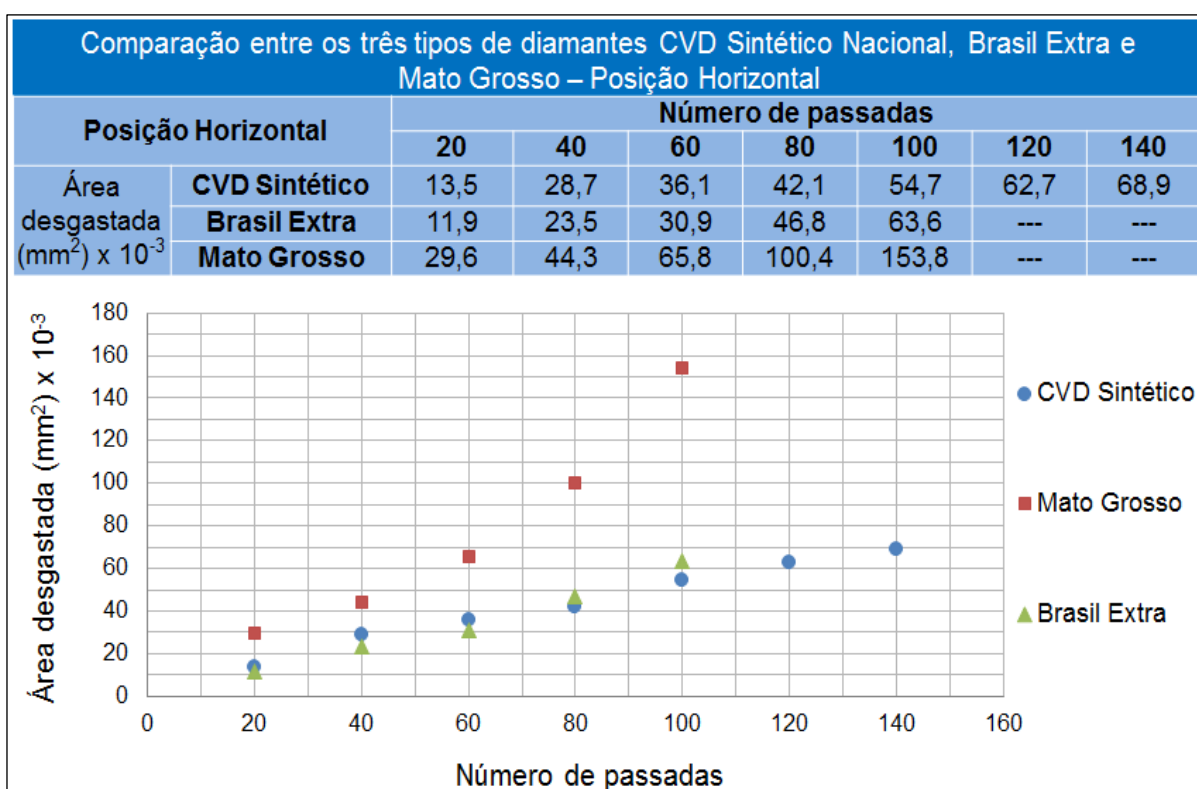


Figura 81. Ensaios 01, 02 e 03 do diamante Mato Grosso - 20 a 100 passadas na posição vertical.

#### 4.2 Comparação entre os três tipos de diamantes na posição horizontal e vertical.

Para uma comparação entre os três diamantes, os dados dispostos na tabela 20 representam as médias das áreas desgastadas para os respectivos números de passadas, considerando a posição horizontal de observação dos diamantes e o número de passadas.

Tabela 20. Comparação entre o número de passadas e Área gasta para os três diamantes na posição horizontal.



Pela tabela 20 observa-se que o dressador com o diamante tipo Mato Grosso foi o que teve a maior relação área desgastada em relação ao número de passadas. Os diamantes do tipo CVD sintético e Brasil Extra se comportaram de forma muito próximas, com o CVD Sintético teve um desgaste pouco maior que o



Brasil Extra até a próxima passada, quando o Brasil Extra passa a apresentar uma maior área desgastada.

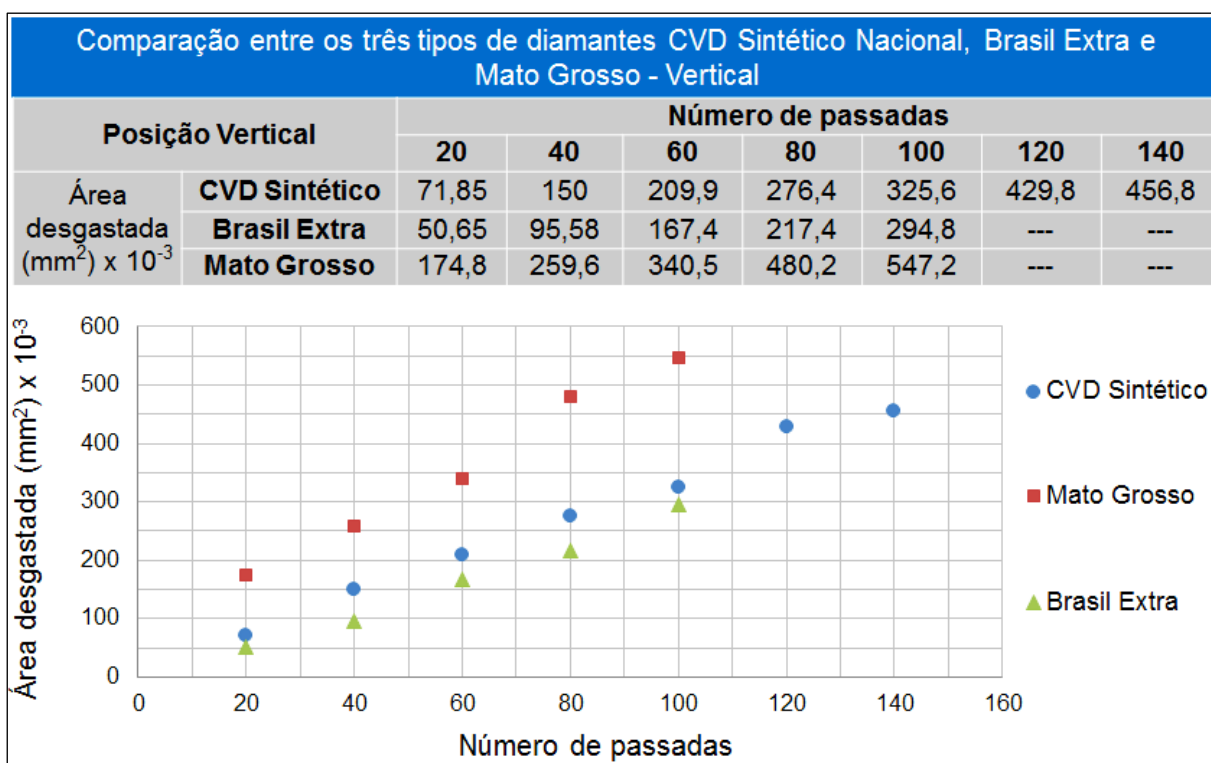
Observando também os coeficientes angulares das retas de linearização dos dados para os três tipos de diamantes, o diamante tipo Mato Grosso apresenta um coeficiente de  $1,35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , contra  $0,59 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  do Brasil Extra e  $0,53 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  do CVD Sintético, é notório que o diamante Mato Grosso apresenta um desgaste maior com relação aos outros dois.

Por conseguinte, o dressador do tipo Mato Grosso apresentou um maior desgaste da área do que o CVD sintético e o Brasil Extra, em uma relação aos coeficientes apresentados, com percentual de desgaste de 39,2 % a mais de desgaste para o diamante sintético e 43,7 % a mais de desgaste para o diamante Brasil Extra. Assim, neste estudo comparativo o diamante tipo Mato Grosso é de qualidade inferior.

Para os diamantes tipo CVD Sintético e Brasil Extra, as relações de desgaste dos coeficientes das áreas estão muito próximas com apenas 10,1 % a mais para o diamante Brasil Extra a mais de desgaste, com uma ligeira superioridade do diamante CVD Sintético em longo prazo, sendo que este apresentou também maior tempo de vida que os demais. Assim, a relação de desgaste por passada do Brasil Extra para o CVD Sintético nacional é muito pequena na comparação da etapa da posição horizontal.

Para uma comparação entre os três diamantes, os dados dispostos na tabela 21 representam as médias das áreas desgastadas para os respectivos números de passadas, considerando a posição vertical de observação dos diamantes e o número de passadas.

Tabela 21. Dados referentes à área desgastada e número de passadas para os três diamantes na posição vertical.



Observando a tabela 21, nota-se que o dressador possuidor do diamante tipo Mato Grosso foi o que teve a maior relação área desgastada por número de passadas. O diamante tipo CVD Sintético apresentou levemente uma maior relação maior área desgastada por número de passadas que o diamante tipo Brasil Extra.

Considerando os valores dos coeficientes angulares das retas de linearização dos dados obtidos para os três diamantes, o diamante tipo Mato Grosso apresentou  $5,79 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , enquanto que o CVD Sintético apresenta  $3,40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  e  $2,81 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  para o tipo Brasil Extra. Dessa forma, o diamante Mato Grosso apresentou uma relação de 58,7 % a mais de desgaste que o diamante CVD Sintético e 48,5 % a mais de desgaste que o diamante Brasil Extra.

O diamante CVD Sintético nacional apresentou uma taxa de área gasta por passada maior em relação ao Brasil Extra de 17,4 % a mais de desgaste. Em contra partida para os dados obtidos na posição horizontal o diamante Brasil Extra

apresentou uma relação de 10,8 % a mais de desgaste que o diamante sintético. Assim, pode-se verificar uma aproximação nos resultados, mostrando que tanto o diamante CVD Sintético Nacional quanto o Brasil Extra apresentaram resultados próximos.

Para o diamante Mato Grosso em relação ao CVD Sintético obteve-se uma relação de 39,2 % a mais de desgaste para a posição horizontal e 58,7 % a mais de desgaste para posição vertical. Para a relação do diamante Mato Grosso em relação ao Brasil Extra tem 43,7 % a mais de desgaste para a posição horizontal e 48,5 % a mais de desgaste para a posição vertical. Assim, os dados apresentam bastante proximidade, confirmando que tanto a posição horizontal quanto a posição vertical apresentam forte correspondência.

#### 4.3 Estimativa do tempo de vida em função do número de passadas

Para cada ensaio, os diamantes apresentaram um número máximo de passadas até ocorrer o faiscamento, tendo assim uma estimativa do tempo por passadas. Os dados obtidos pela média do número de passadas em cada ensaio estão apresentados na tabela 22.

Tabela 22. Estimativa do tempo de vida em função do número de passadas para cada ensaio.

Diamantes	1	2	3	Média de Passadas	Desvio Padrão
<b>CVD Sintético</b>	156	295	184	<b>212</b>	<b>34</b>
<b>Mato Grosso</b>	140	191	86	<b>139</b>	<b>53</b>
<b>Brasil Extra</b>	180	166	117	<b>154</b>	<b>23</b>

Os dados da tabela 22 estão expostos no gráfico da figura 82.

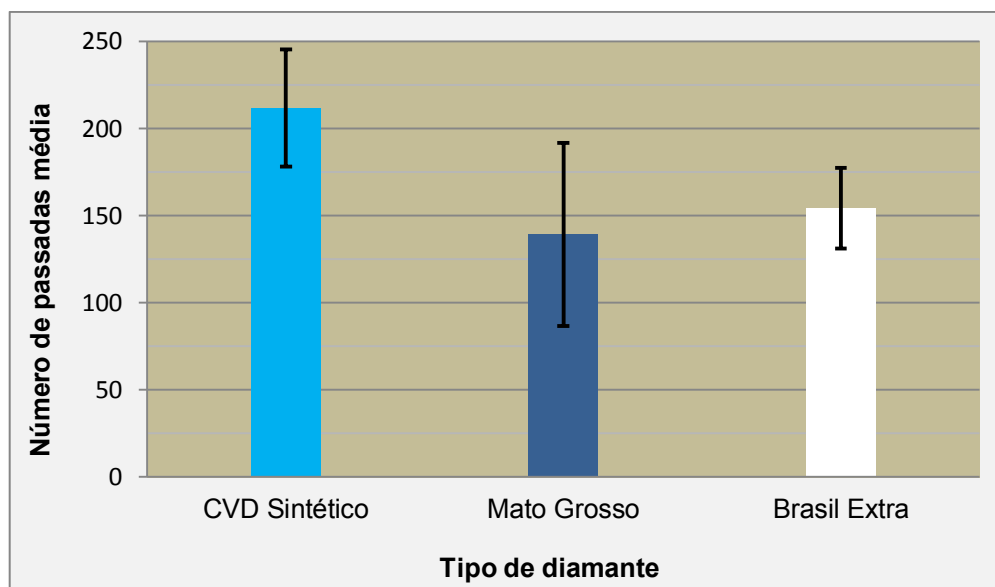


Figura 82. Média do número máximo de passadas até ocorrer o faíscaamento para cada tipo de diamante.

Observando a tabela 22 e a figura 82 percebe-se que o diamante tipo CVD Sintético foi o que obteve a maior média do número de passadas, quando comparado com os demais diamantes. Em seguida ficou o diamante tipo Brasil Extra, seguido pelo Mato Grosso.

Ponto positivo do diamante sintético está, interligado na sua produção que já vem com características específicas em função de determinada aplicação que é específica. E o ponto principal está, na friabilidade, que é uma das grandes vantagens dos diamantes sintéticos.

Enquanto que os diamantes naturais essa diferença é em função de sua origem que tem diversas variáveis, que, por exemplo, o Brasil Extra, é um diamante octaédrico robusto e com boa performance em dressagem de rebolo, ponto este no qual se equipara com o sintético, em contrapartida o seu custo é maior.

Analisando a tabela 22, o diamante Mato Grosso apresentou a menor média do número máximo de passadas resultando no mínimo de tempo de vida, com apenas 86 passadas. Também apresentou a maior variação de dados do resultado de passadas em comparação aos demais diamantes.

Assim, o diamante tipo CVD Sintético Nacional apresentou maior tempo de vida, tanto médio quanto absoluto, enquanto que o diamante tipo Mato Grosso apresentou o menor tempo de vida útil médio e o segundo maior em termos absoluto, mas a maior discrepância de valor. O diamante tipo Brasil Extra apresentou o segundo maior valor médio de vida útil.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou a análise do comportamento do desgaste de dressadores de ponta única, através do acompanhamento de quantidades de passadas e a análise dos valores do desgaste de área. Baseando-se nos resultados obtidos para os três tipos de diamantes, o dressador com ponta de diamante tipo Mato Grosso apresentou maior divergência em relação ao número de passadas por ensaio, tendo um desvio padrão maior, uma maior área desgastada em relação ao número de passadas que os demais dressadores do tipo CVD Sintético Nacional e do tipo Brasil Extra. O tipo CVD Sintético Nacional quando se refere ao tempo de vida útil apresentou uma grande vantagem na quantidade de passadas sobre os demais ensaiados.

Os resultados apresentados referentes às taxas de desgaste foram muito próximos para os tipos Brasil Extra e CVD Sintético. Já o tipo Mato Grosso apresentou uma diferença da taxa de desgaste mais elevada e uma qualidade muito inferior em todos os aspectos em relação os demais ensaiados.

Portanto, conclui-se que o diamante do tipo CVD Sintético Nacional quando se refere ao tempo médio de vida útil do dressador, apresentou uma grande vantagem na aplicação sobre os demais ensaiados do tipo Brasil Extra e Mato Grosso.

### 5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Análise do desempenho do dressador de ponta única/ ou de placa de pontas alinhadas em processo (*in-process*), ou seja, durante o processo de retificação, com o objetivo de verificar as vantagens e a viabilidade neste processo.
- Verificação da ocorrência de grafitização no diamante na etapa de dressagem a seco com nas temperaturas entre 600 e 700 °C.

## 6 REFERÊNCIAS

ANGUS, U. C.; BUCK, F. A.; SUNKARA, M.; GROTH, T. F.; HAINAN, C. C. “**Diamond growth at low pressure**”. MRS Bull, October, 1995.

AZIZI, A.; REZAEL, S. M.; RAHIMI, A. “Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance”. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2009.

BAILEY, M. W. Section 1 of **Diamond Materials and their Applications**, in **Handbook of ceramic Hard Materials**, R. Riedel (Ed.), Wiley-VCH, Weinheim, p. 479 - 485, 2000.

BELMONTE, M.; FERROB, P.; FERNANDES, A. J. S.; COSTA, F. M.; SACRAMENTO, J.; SILVA, R. F. Wear resistant CVD diamond tools for turning of sintered hardmetals. **Diamond and Related Materials** - 12, p. 738 - 743, 2003.

BIANCHI, E. C.; OLIVEIRA, J. F. G. **Ação das condições de dressagem na vida de rebolos na retificação de precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 11. *Anais*. São Paulo, v.3, p.341-344, 1991.

BROOKES, C. A. “Diamond in perspective: a review of mechanical properties of natural diamond”. **Diamond and Related Materials**. Vol. I, p. 13-17. 2010.

BUTLER-SMITH, P. W.; AXINTE, D. A.; DAINE, M. Solid diamond micro-grinding tools: From innovative design and fabrication to preliminary performance evaluation in Ti-6Al-4V. **International Journal of Machine Tools & Manufacture** - 59, p. 55 - 64, 2012.

BUTTERY, T. C.; STATHAM, A.; PERCIVAL, J. B.; HAMED, M. S. Some effects of dressing on grinding performance. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, p. 193 - 208, 2001.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8° ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

Catálogo da empresa ELEMENT SIX, Disponível em: < [http://www.e6.com/wps/wcm/connect/e6\\_content\\_en/home/materials+and+products/materials+and+products](http://www.e6.com/wps/wcm/connect/e6_content_en/home/materials+and+products/materials+and+products) >. Acesso em 15 de agosto de 2014.

DANESHI, A.; JANDAGHI, N.; TAWAKOLI, T. Effect of Dressing on Internal Cylindrical Grinding. **CIRP - International Conference on High Performance Cutting**, 37 - 41, 2014.

DERKX, J. M.; HOOGSTRATE, A. M.; SAURWALT, J. J.; KARPUSCHEWSKI, B. Form crush dressing of diamond grinding wheels. **CIRP Annals - Manufacturing Technology** - 57, p. 349 - 352, 2008.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8º ed. São Paulo. Editora Artliber, 2013.

ERENO, D. **Diamantes versáteis**. Revista FAPESP, Edição Especial 50 anos, p. 166 – 169, 2012.

FITZPATRICK, M.; ANDRADE, A. A. C. **Introdução aos Processos de Usinagem**. Porto Alegre. Ed. AMGH, 2013.

FLETCHER, N. P. Single point diamond dressing of aluminium oxide grinding wheels and its influence in cylindrical traverse grinding. **International Journal of Machine Tools & Manufacture** - 20, p. 55 - 65, 2007.

GAO, R. X. “**Monitoring Systems for Grinding Processes, Springer Series in Advanced Manufacturing**”, p. 83 - 107, 2007.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. **Form set dresser diamond**. Worthington, USA. /Catálogo/.

GRAF, W. **Diamant-Abrichtwerkzeuge**. WST, p. 2 - 32, 2008.

HARANO, K.; SATOH, T.; SUMIYA, H. Cutting performance of nano-polycrystalline Diamond. **Diamond & Related Materials** - 24, p. 78 - 82, 2012.



HARIMKAR, S. P.; SAMANT, A. N.; KHANGAR, A. A.; DAHOTRE, N. B. "Prediction of Solidification Microstructures During Laser Dressing of Alumina - Based Grinding Wheel Material". **Journal Physics** - 39, p. 1642 - 1649, 2006.

HASSUI, A.; DINIZ, A. E. "Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel". **International Journal of Machine Tools & Manufacture** - 43, p. 855 - 862, 2003.

JACKSON, M. J.; KHANGAR, A.; CHENC, X.; ROBINSON, G. M.; VENKATESH, V. C.; DAHOTRE, N. B. "Laser cleaning and dressing of vitrified grinding wheels". **Journal of Materials Processing Technology** - 185, p. 17 - 23, 2007.

JOFFREAU, P.O.; HAUBNER, R.; LUX, B. **Journal Reference Metallic - Hard Metals**. Vol. 7, n. 4, pp. 186, 1988.

KIM, J. S.; KIM, M. H.; PARK, S. S.; LEE, J. Y. **Journal of Applied Physics**. Vol. 67, p. 3354, 1990.

LIN, Z.C.; LIN, B.; XU, Y. S.; HU, J. "Experimental studies on grinding forces and force ratio of the unsteady-state technique". **Journal of Material Processing Technology**. Vol. 129, p. 76 - 80, 2008.

LINKE, B. Dressing process model for vitrified bonded grinding wheels. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1, p. 345 - 348, 2008.

L-NESS. **Laboratory for Nanostructure Epitaxy and Spintronics on Silicon**. Research groups. <<http://lness.como.polimi.it/lepecvd.php>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2 ed, 2012.

MALKIN, S. **Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives**. 2 ed. Industrial Press, 2008.

MARINESCU, I. D.; HITCHINER, M.; UHLMANN, E.; ROWE, W. B.; INASAKI, I. "**Handbook of machining with grinding wheels**". 1a Ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2007.

MARINESCU, I. D.; ROWE, W. B.; DIMITROV, B.; INASAKI, I. "**Tribology of abrasive machining processes**". 1 ed. Norwich, William Andrew Inc, 2004.

MESSER, J. **Abrichten konventioneller Schleifscheiben mit stehenden Werkzeugen**, p. 1 - 110, 2003.

MURAKAWA, M.; TAKEUCHI, S. Forming of a grinding wheel using a dresser with brazed diamond film. **Materials Science and Engineering**, A140, 759 - 763, 2001.

NUSSBAUM, Guillaume Ch. **Rebolos e Abrasivos: tecnologia básica**. Volume I, II e III. São Paulo. Editora Icone. 1988.

OHTAKE, N.; YOSHIKAWA, M. "**Journal of Electrochemical Society**". Vol 137, n. 2, pp. 717, 1990.

OLIVEIRA, J. F. G. "**Análise da ação do macroefeito de dressamento de rebolos no desempenho do processo de retificação**". Tese de Doutorado – USP, São Carlos, SP, Brasil, 1988.

PORTO, A. J. V.; SILVA, H. A. T.; DUDUCH, J. G.; RÚBIO, J. C. C.; MONTANARI, L.; JASINEVICIUS, R. G.; ALMEIDA, R. M.; SCHROETER, R. B. **Usinagem de Ultraprecisão**. São Carlos: Editora RIMA, FAPESP, 2004.

PRICKEN, W. **Dressing of vitrified bond wheels with CVD dress and monodress**. IDR 3, p. 226 - 231, 2005.

SALEH, T.; BISHWAS, I.; RAHMAN, M. "Efficient dressing of the wheel in ELID grinding by controllable voltage with force feedback". **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 2009.

SALMON, S.C. "**Modern Grinding Process Technology**". MacGraw-Hill, 1992.

SHAW, M. C. **Principles of abrasives processing**. Oxford Science on Advanced Manufacturing, New York, USA, 574 p. 1996.

SHIH, A. J.; AKEMON, J. L. Wear of the blade diamond tools in truing vitreous bond grinding wheels. **Wear**, 250, p. 587–592, 2001.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte II**. Florianópolis, 8° ed, Editora da UFSC. 2008.

T.F.S. Terra ferramentas superabrasivas. Catálogo: disponível em: <http://www.tfsferdiam.com.br> Acesso em: 15 de setembro de 2013.

TÖNSHOFF, H. K.; LIERSE, T.; INASAKI, I. Grinding of advanced ceramics. In: JAHANMIR, S.; RAMULU, M.; KOSHY, P. **Machining of Ceramics and Composites**, Marcel Dekker, Cap.3, 1999.

TRAVA-AIROLDI, V. J.; CORAT, E. J.; SANTOS, L. V.; DINIZ, A. V.; Moro, J. R.; LEITE, N. F. “**Diamond Related Materials**”. Vol. 11, p. 532, 2002.

WILLIAMS, B. E.; GLASS, J. T.; DAVIS, R. F. **Micro-optoeletronica materials**, Vol. 877, p. 56 - 60, 1988.

VAN LACK, L.H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. 19ª reimpressão. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda, 2012.

XUE, L.; NAGHDY, F.; COOK, C. Monitoring of wheel dressing operations for precision grinding. **IEEE International Conference on Industrial Technology**, Bangkok, p. 1296 - 1299, 2002.

ZHANG, C.; SHIN, Y. C. Wear of diamond dresser in laser assisted truing and dressing of vitrified CBN wheels. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 43, n. 1, p. 41 - 49, 2003.

## APÊNDICE A – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE CVD SINTÉTICO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

Este apêndice relaciona as réplicas dos ensaios realizados para os corpos de prova 2 e 3 do diamante CVD sintético na posição horizontal e vertical.

### APA.1 Diamante CVD sintético – 2º ensaio – horizontal

A figura APA.1, mostra respectivamente a imagem inicial e as obtidas após 20, 180, 200 e 295 passadas ao longo do segundo ensaio com o diamante CVD sintético nacional.

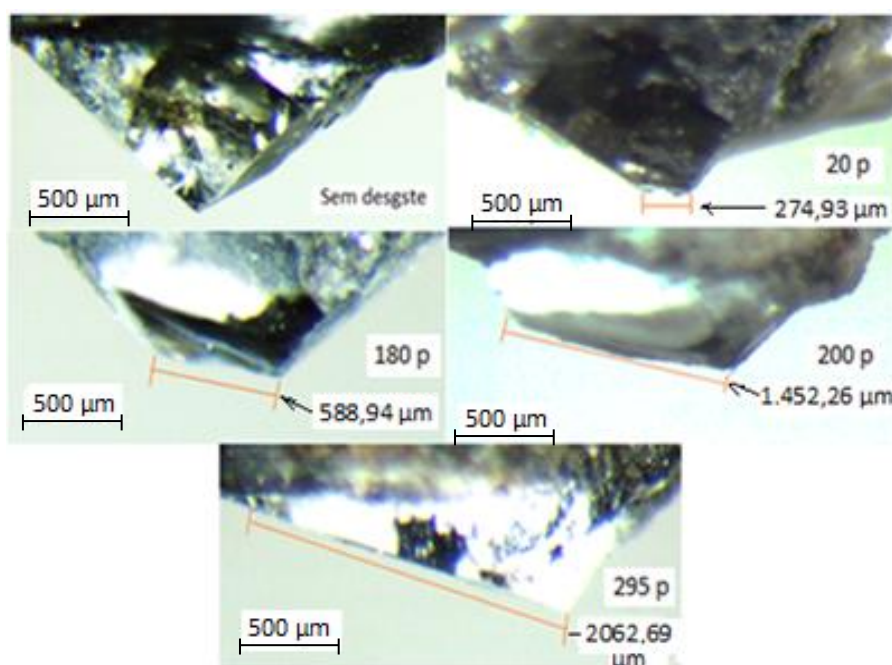


Figura APA.1 Diamante CVD sintético do início ao fim, ensaio dois - posição horizontal

A figura APA.1 demonstra a grande evolução da área desgastada após 200 passadas, apresentando o aumento do comprimento de desgaste em função do aumento da área desgastada no final do ensaio. Observa-se que o diamante está extremamente gasto, com um comprimento de desgaste de 2062,69 μm.

Na tabela APA.1 estão agrupados os valores referentes a cada etapa.

Tabela APA.1 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no segundo ensaio para o diamante CVD Sintético - posição horizontal.

Número de passadas	Área desgasta (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	17,56
40	42,33
60	56,51
80	54,17
100	82,49
120	88,59
140	94,96
160	111,43
180	112,53
200	351,14
220	446,27
240	517,12
260	739,41
280	1033,52
295	1201,67

Os dados mostrados na tabela APA.1 estão mais bem representados na figura APA.2.

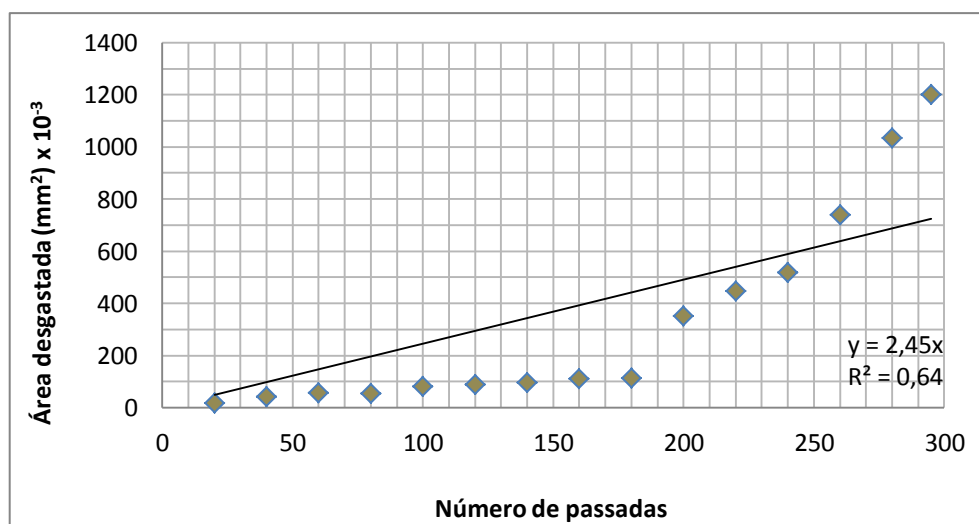


Figura APA.2 Área desgastada pelo número de passadas para o segundo ensaio do diamante sintético na posição horizontal.

Pela tabela APA.1 e figura APA.2 observa-se que houve um aumento da área desgastada do diamante à medida que o número de passadas aumentava. Verifica-se também que até a passada 180 o valor da área desgastada apresentou uma tendência mais linear e, da passada 180 em diante os valores obtidos para a área desgastada foram muito mais dispersos. Quanto a isso, basta observar a taxa de desgaste obtida pelo coeficiente angular da curva na figura APA.2, que foi de  $2,45 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , muito maior que o obtido pela figura 34, que foi de  $0,35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . O próprio ajuste linear, de 0,64 obtido na figura APA.2, mostra uma alta dispersão nos valores. Dessa forma, o diamante sintético comportou-se anormalmente após a passada 180.

Tendo como tempo de dressagem o valor de 7,333 segundos, conforme seção 3.2, foi obtido um tempo de dressagem total de 36 minutos e 3 segundos. Um tempo muito superior ao obtido no primeiro ensaio.

### Diamante CVD sintético – 3º ensaio - horizontal

A figura APA.3 mostra respectivamente a imagem inicial e as obtidas após 20, 160 e 184 passadas ao longo do terceiro ensaio com o diamante CVD sintético nacional na posição horizontal. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma evidêcia a área inicial sem desgaste e as etapas de dressagem com suas respectivas áreas de desgaste que o diamante está apresentando após a finalização de cada etapa.

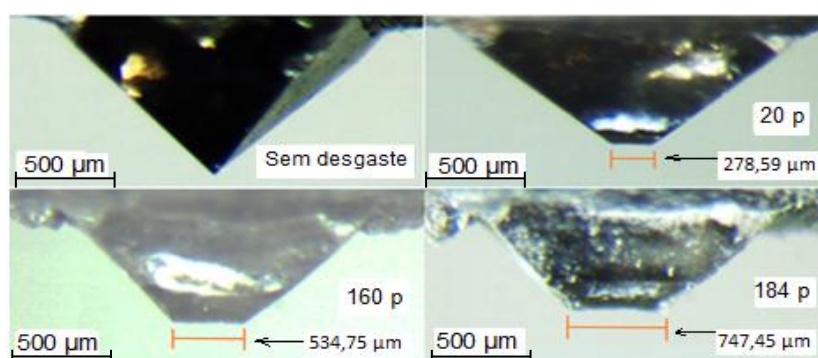


Figura APA.3 - Diamante CVD sintético do início ao fim, ensaio três - posição horizontal

A figura APA.3 mostra que as etapas de 160 a 184 apresentaram uma grande evolução no desgaste em relação às etapas anteriores. A extremidade do diamante começa a sofrer curvas, causadas pelo aumento das forças de dressagem que, conseqüentemente, aumentam o desgaste do dressador.

Na tabela APA.2 estão mostrados os dados obtidos com o terceiro ensaio do diamante CVD Sintético na posição horizontal

Tabela APA.3 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo CVD Sintético.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	17,38
40	30,238
60	33,15
80	46,56
100	47,34
120	55,37
140	59,24
160	61,82
180	73,03
184	138,09

Os dados contidos na tabela APA.2 foram reorganizados em forma gráfica, conforme mostrado na figura APA.4.

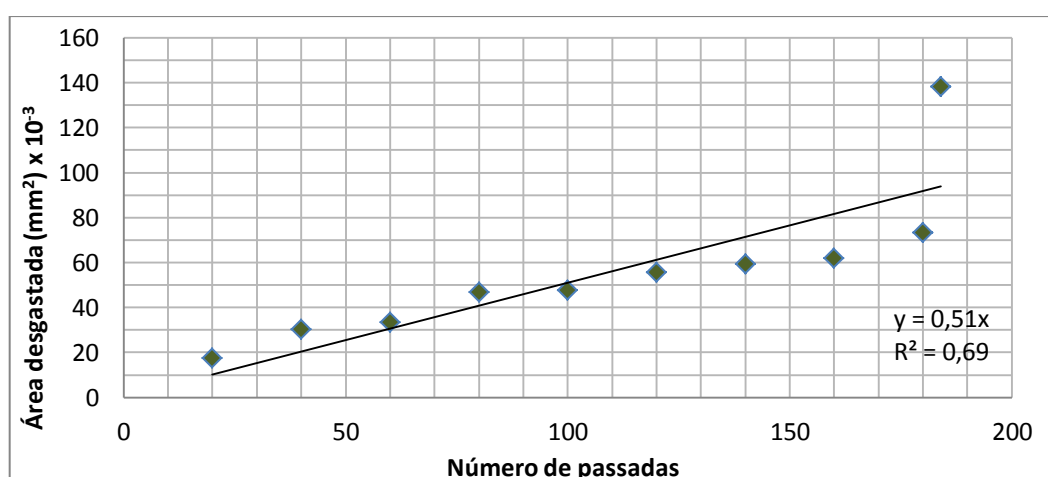


Figura APA.4 Área desgastada em relação ao número de passadas do diamante CVD sintético para o terceiro ensaio na posição horizontal.

Observando a tabela APA.2 e a figura APA.4 percebe-se que as áreas desgastadas aumentaram na proporção que aumentava o número de passadas. Observa-se que a última medida de área do ensaio, na passada 184 está extremamente dispersa em relação às demais medidas, não seguindo uma linearidade. Devido a esse valor irregular que o ajuste linear ficou baixo, valendo 0,69. Já a taxa de desgaste ficou em  $0,51 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , relativamente próximo ao obtido pela figura 35, com  $0,35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , porém bem diferente do obtido pela figura APA.2, cujo qual foi de  $2,45 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . Assim, percebe-se que até a passada 180 deste ensaio os dados obtiveram boa linearidade, da mesma forma como ocorreu no ensaio dois e mostrado pela figura APA.2. Assim conclui-se que o diamante CVD sintético nacional se comporta de forma muito segura até 180 passadas, mas de forma irregular a partir desta passada.

#### Diamante CVD sintético – 2º ensaio – vertical

A figura APA.5 demonstram as áreas em cada etapa do início e nas passadas de 20, 140, 200 e 295, com seu respectivo desgaste, obtidas no segundo ensaio com o diamante CVD sintético nacional na posição vertical.

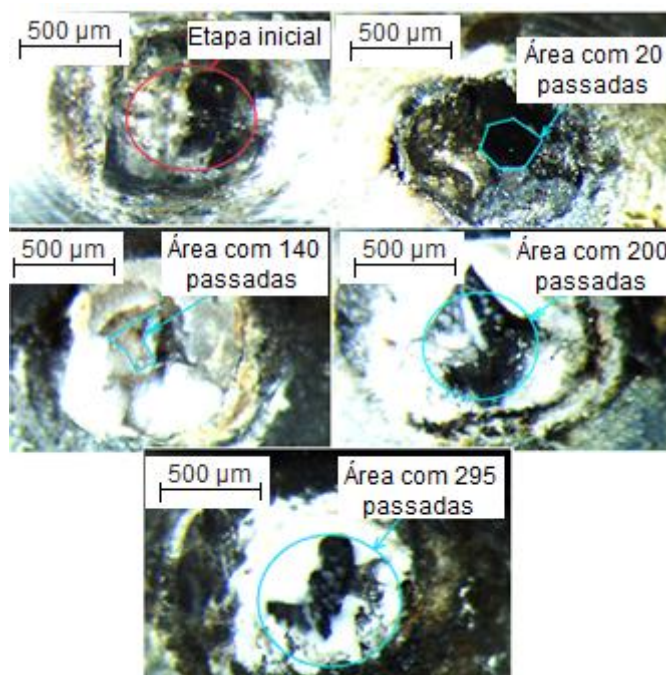


Figura APA.5 Diamante CVD sintético do início ao fim, ensaio dois - posição vertical.



A figura APA.5 mostra o diamante CVD sintético nacional utilizado no ensaio dois sem qualquer tipo de desgaste. Esse diamante apresenta uma estrutura bem distinta do que foi utilizado no ensaio um, com 20 passadas verifica-se uma região desgastada de formato próximo ao circular. Já com 140 passadas apresenta uma região desgastada de formato irregular. Na etapa de 200 passadas fica notória a irregularidade da região desgastada e uma forma bem irregular. Ao final do ensaio dois com 295 passadas, demonstra o diamante com uma região desgastada com a forma irregular bem superior a anterior.

Tabela APA.3 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no segundo ensaio para o diamante tipo CVD Sintético - posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	41,69
40	126,95
60	196,80
80	262,54
100	324,07
120	390,08
140	423,46
160	470,99
180	685,21
200	1420,34
220	1701,80
240	2043,10
260	2625,62
280	3031,27
295	3334,61

Os dados da tabela APA.3 foram agrupados conforme a APA.6.

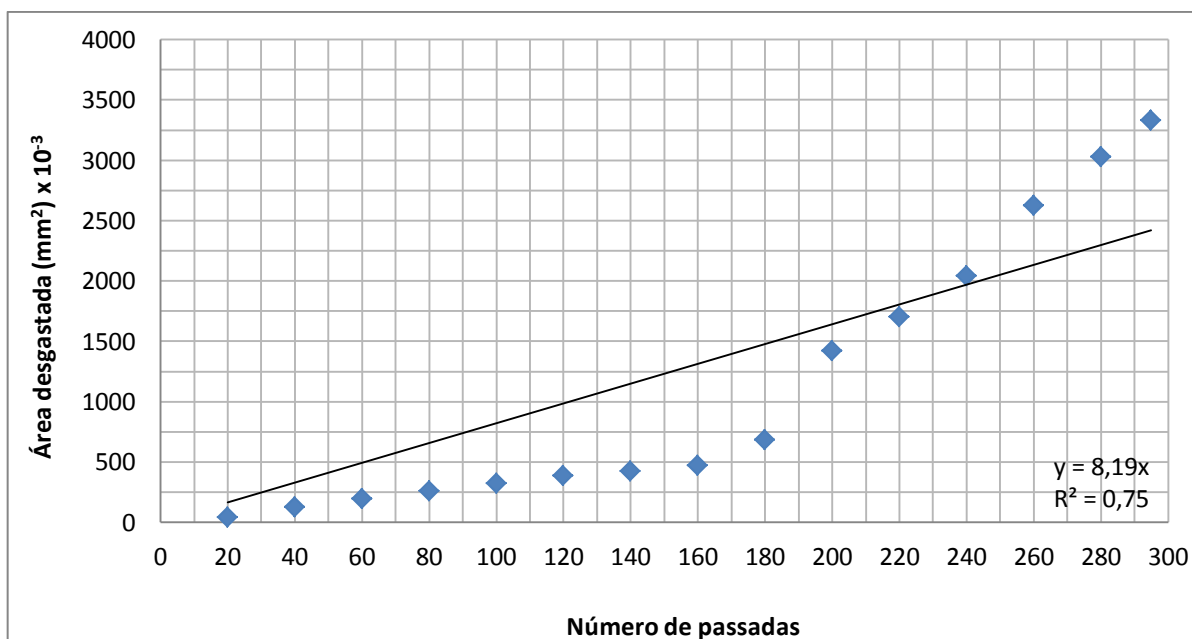


Figura APA.6. Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio dois do diamante CVD sintético na posição vertical

Observando os dados da tabela APA.3 e a figura APA.6 verifica-se que a área desgastada aumenta conforme aumenta o número de passadas, a partir da passada 180 os dados tornam-se bastante dispersos, tornando a correção de linearidade obtida conforme a figura APA.6 de 0,75, ou seja, muito distante de um. A taxa de desgaste obtida é de  $8,19 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , um número bem maior que o obtido pelo ensaio um, que foi de  $3,0115 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , conforme figura 44.

### Diamante CVD sintético – 3º ensaio - vertical

A figura APA.7 demonstram as áreas em cada etapa, do início e nas passadas de 20, 80, 160 e 184, com seu respectivo desgaste, com a evolução das áreas desgastadas, obtidas no terceiro ensaio com o diamante CVD sintético nacional na posição vertical.

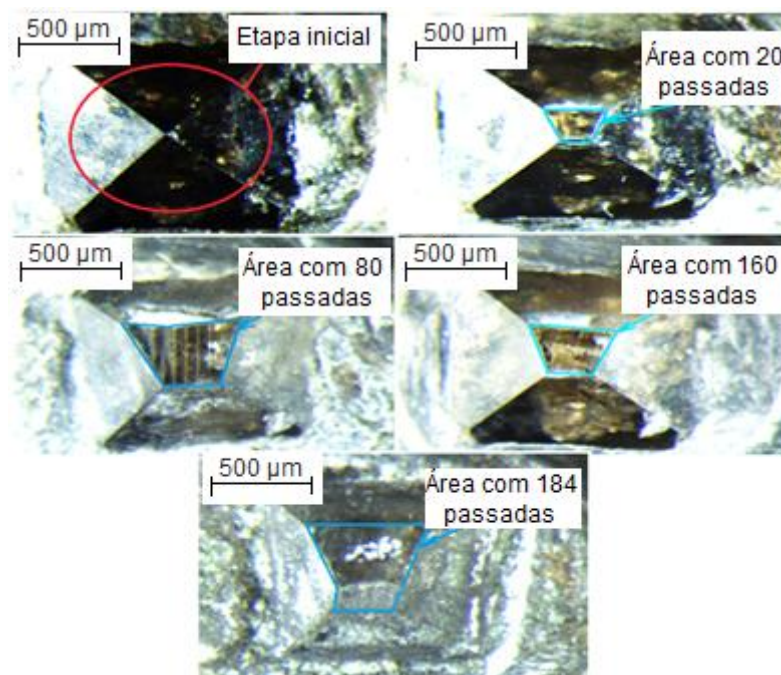


Figura APA.7. Diamante CVD sintético do início ao fim - ensaio três - posição vertical

A figura APA.7 apresenta as etapas dos ensaios do diamante CVD sintético nacional do início ao término do terceiro ensaio, com o desgaste resultante de um total de 184 passadas. Observa-se pelas figuras que as arestas das áreas desgastadas estão bem irregulares.

Tabela APA.4. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo CVD Sintético – posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	124,52
40	212,32
60	263,86
80	325,63
100	349,63
120	539,88
140	565,85
160	658,31
180	707,66
184	817,56

Os dados da tabela APA.4 estão agrupados conforme a figura APA.8.

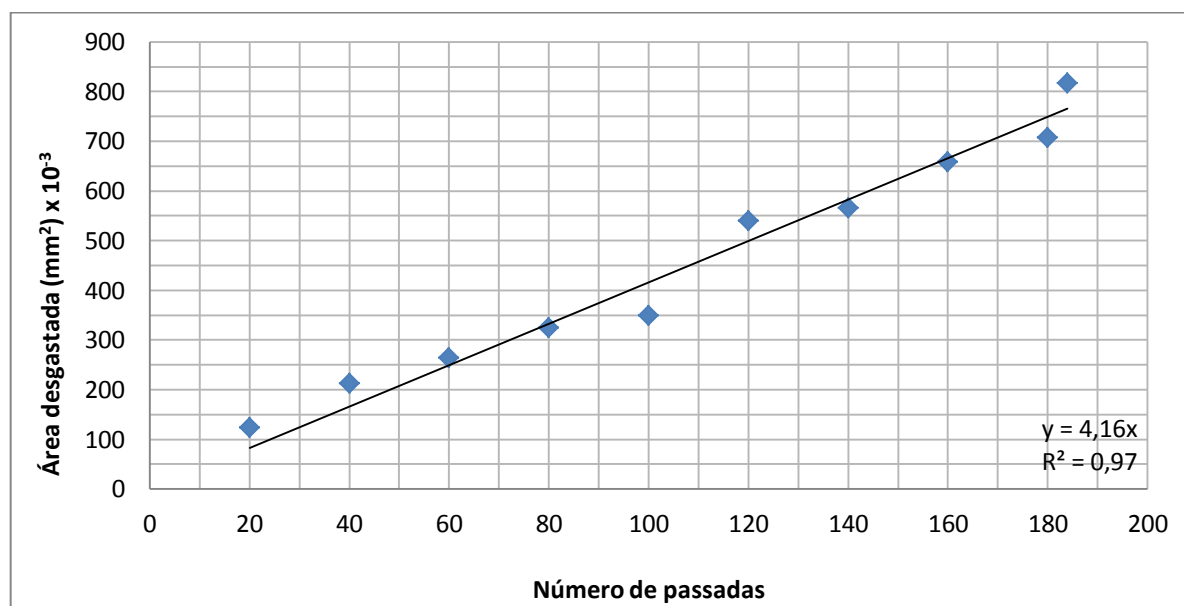


Figura APA.8 Área desgastada pelo número de passadas do ensaio três do diamante CVD sintético nacional na posição vertical.

A partir dos dados apresentados na tabela APA.4 e na figura APA.8 observa-se que os valores das áreas desgastadas aumentaram proporcionalmente em função do número de passadas, apresentando uma alta linearização dos dados, com um ajuste linear gerado pela curva obtida pela figura APA.8 de 0,9696, muito próximo de 1. A taxa de desgaste obtida pelo coeficiente angular da reta foi de  $4,16 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . Comparando com o ensaio um, com uma taxa de desgaste de  $3,01 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , conforme a figura 44, a taxa obtida no ensaio três foi maior. Quanto comparado com o segundo ensaio, com uma taxa de desgaste de  $8,19 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , conforme a figura APA.7, a taxa obtida no terceiro ensaio está bem menor.

## APÊNDICE B – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE BRASIL EXTRA NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

Este apêndice relaciona as réplicas dos ensaios realizados para os corpos de prova 2 e 3 do diamante Brasil Extra na posição horizontal e vertical.

### APB.1 Diamante CVD sintético – 2º ensaio – horizontal

A figura APB.1 mostram respectivamente a imagem inicial e as obtidas após 20, 60, 80 e 166 passadas ao longo do segundo ensaio com o diamante Brasil Extra.

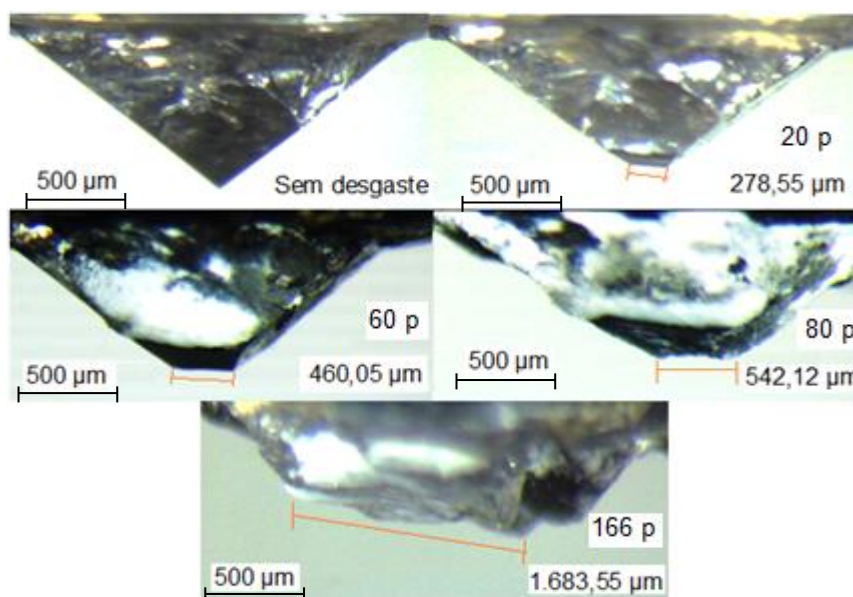


Figura APB.1 Diamante Brasil Extra do início ao fim, ensaio dois - posição horizontal

A figura APB.1 demonstra a evolução da área desgastada após 80 passadas, verifica-se que a aresta superior da face de contato do diamante com o rebolo apresenta bastante irregularidade. A parte clara é originada do estanho usado na solda do termopar que foi utilizado para outro ensaio. Mesmo com essa irregularidade, o comprimento da aresta foi de 542,12 µm. A área desgastada também apresentou um relevo em função do avanço do desgaste. Ao final do

ensaio dois com 166 passadas, a aresta superior da face está bastante irregular, com uma medida de comprimento de 1683,55  $\mu\text{m}$ . A face de contato está bastante gasta, já que nesse momento o metal do corpo do dressador já está entrando em contato com o rebolo e faiscando.

A tabela APB.1 apresenta os dados obtidos neste segundo ensaio do diamante tipo Brasil Extra na posição horizontal.

Tabela APB.1. Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no segundo ensaio para o diamante tipo Brasil Extra.

Número de passadas	Área desgastada ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^{-3}$
20	16,19
40	32,46
60	44,64
80	74,97
95	107,45
100	116,63
120	148,67
140	299,87
160	471,70
166	507,58

Os dados mostrados pela tabela APB.1 foram rearranjados em um eixo cartesiano, conforme mostrado pela figura APB.2.

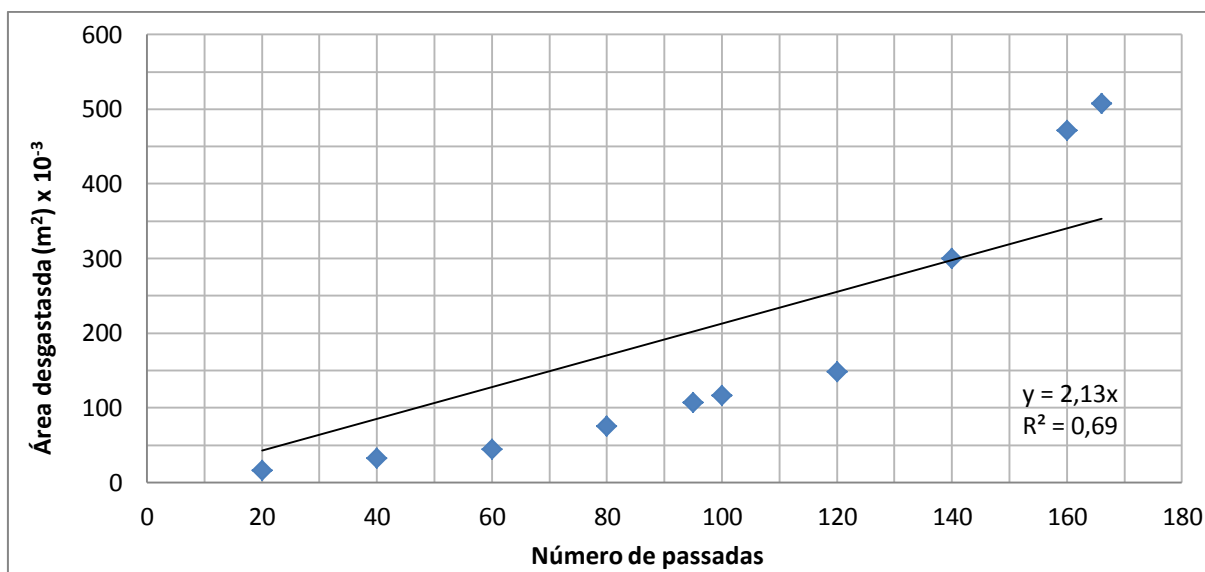


Figura APB.2 Área desgasta pelo número de passadas para o ensaio dois do diamante Brasil Extra na posição horizontal.

Pela tabela APB.1 e figura APB.2 observa-se claramente que os pontos com passadas 140, 160 e a final 166 estão muito dispersas com relação aos demais dados obtidos. Devido a esses três dados dispersos a curva apresentou ajuste linear mostrado pela figura APB.2 muito ruim, 0,69. A taxa de desgaste, dessa forma, ficou muito alta, com  $2,13 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , principalmente se comparada com a do ensaio um, com  $0,362 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , conforme figura 53.

### Diamante Brasil Extra – 3º ensaio – horizontal

A figura APB.3 apresenta as imagens da área de desgaste referente às passadas 20, 80, e 117, obtidas no terceiro ensaio com o diamante Brasil Extra. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma é evidente o desgaste do diamante versus a área no qual está apresentando em cada etapa.

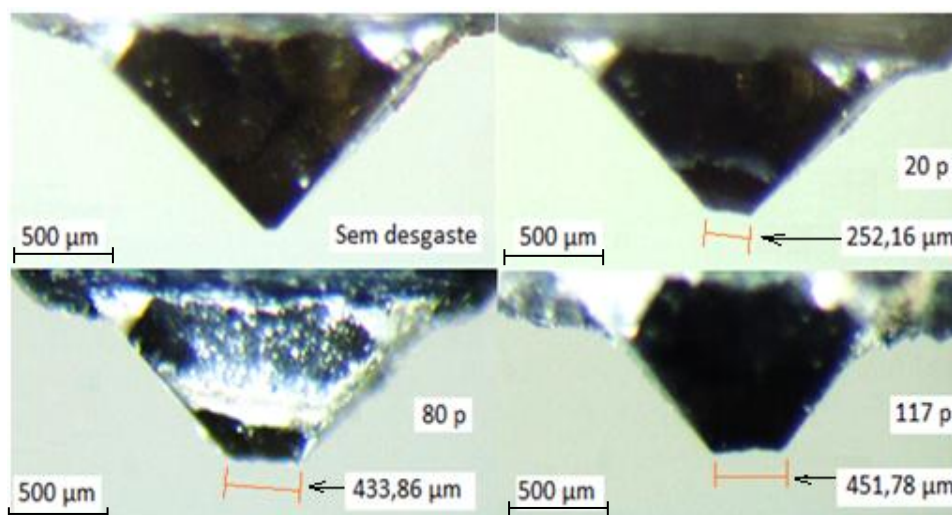


Figura APB.3 Diamante Brasil Extra do início ao fim, ensaio três - posição horizontal

A figura APB.3 representa as etapas onde com 20 passadas, onde é visível o comprimento da aresta da face desgastada, uma diferença apreciável comparando ao ensaio um, e um pouco menor que o obtido pelo ensaio dois. Verifica-se na etapa de 80 passadas um comprimento da aresta superior da face desgastada e ainda apresenta boa uniformidade. Já na passada de 117, observa-se alguma irregularidade na aresta superior da face, mas se comportando com boa estrutura.

Para facilitar a observação dos dados, os três ensaios estão dispostos na tabela APB.2.

Tabela APB.2 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	16,23
40	26,86
60	31,84
80	46,95
100	49,90
117	52,38



Os dados da tabela APB.2 estão dispostos na figura APB.4.

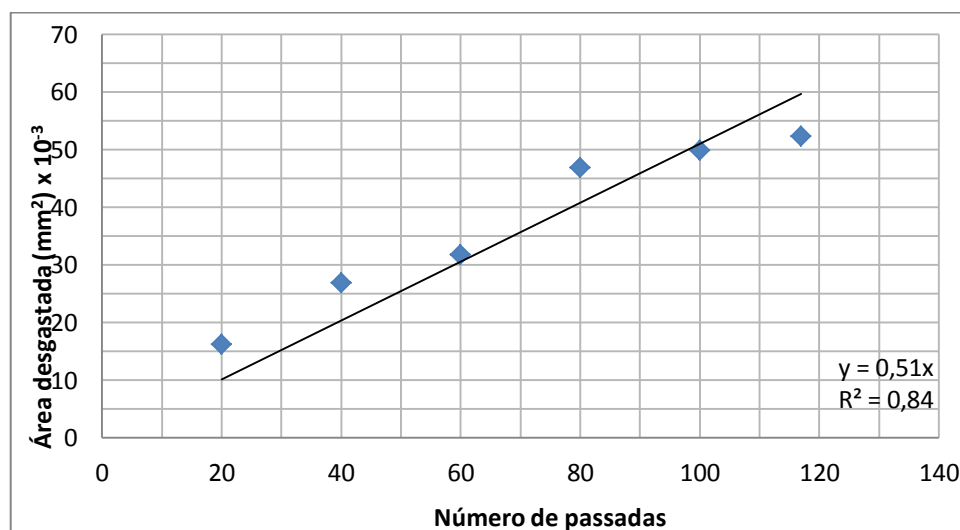


Figura APB.4 Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio três do diamante Brasil Extra na posição horizontal.

Pelos dados apresentados na tabela APB.2 e dispostos na figura APB.4, observa-se que a área cresceu em relação ao número de passadas, porém visualizou-se também uma leve dispersão entre os valores até a passada 60, a partir da passada 80 observa uma leve dispersão ocasionando um ajuste linear da curva de 0,84, conforme a figura APB.4, e uma taxa de desgaste de  $0,51 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passa, o que revelou ser maior que os ensaios um e dois.

### Diamante Brasil Extra – 2º ensaio – vertical

A figura APB.5 demonstram as áreas em cada etapa do início e sequenciais de 20, 60, 80, 120 e 166 passadas, com seu respectivo desgaste demonstrando a evolução das áreas desgastadas, obtidas no segundo ensaio.

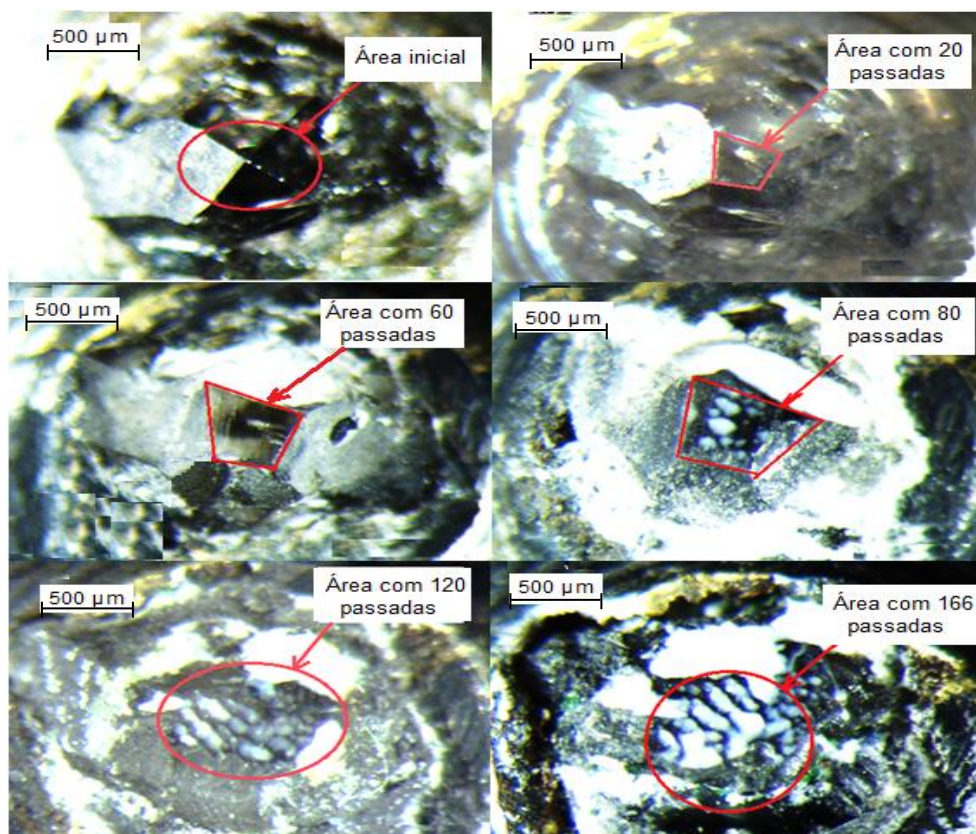


Figura APB.5 Diamante Brasil Extra do início ao fim - ensaio dois - posição vertical.

A figura APB.5 apresenta as etapas dos ensaios do diamante CVD sintético nacional do início ao término do terceiro ensaio, com o desgaste resultante de um total de 166 passadas. Observa-se pela figura APB.5 que as arestas das áreas desgastadas estão bem irregulares.

Tabela APB.3 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no segundo ensaio para o diamante tipo Brasil Extra.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	27,13
40	51,55
60	152,71
80	188,62
95	239,63
100	297,49
120	398,05

140	465,80
160	532,47
166	589,04

Os dados da tabela APB.3 estão agrupados na figura APB.6.

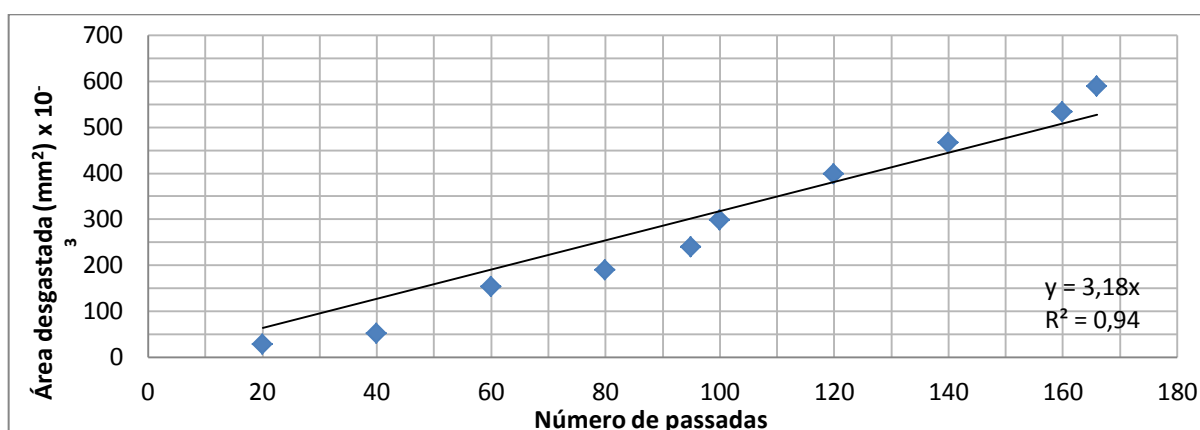


Figura APB.6. Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio dois do diamante Brasil Extra na posição vertical.

Observando os dados contidos na tabela APB.3 e na figura APB.6 verifica-se que o valor da área desgastada aumentou à medida que aumentou o número de passadas. A linearização dos dados foi muito boa, com um ajuste linear obtido para a curva de 0,94. A taxa de desgaste foi de  $3,18 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passada, uma taxa pouca coisa maior que a obtida pelo ensaio um, com  $2,87 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passada, conforme mostra a figura 62.

### Diamante Brasil Extra – 3º ensaio – vertical

A figura APB.7 demonstram as áreas em cada etapa do início e as obtidas nas passadas de 20, 80, e 117, com seu respectivo desgaste.

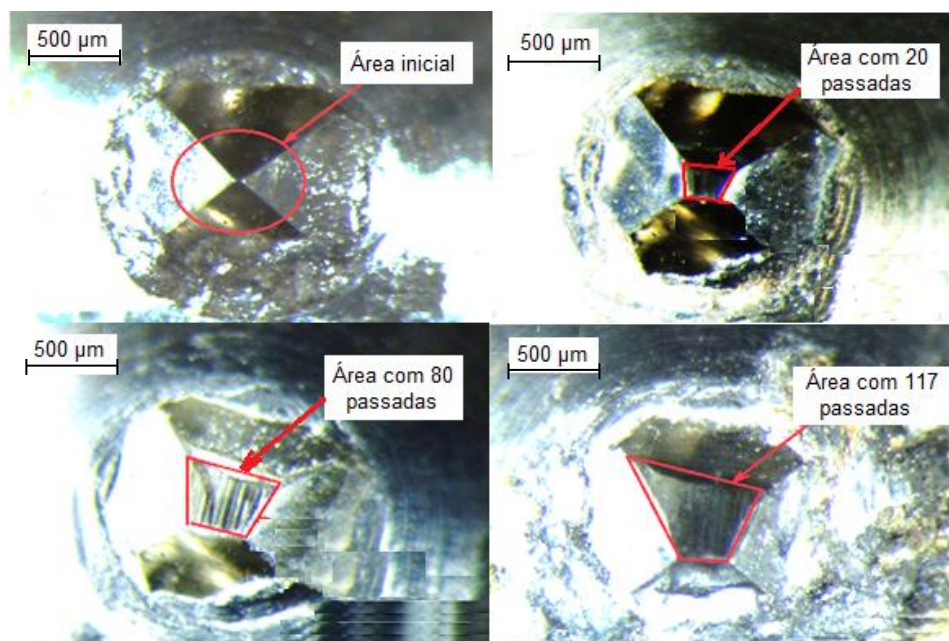


Figura APB.7 Diamante Brasil Extra do início ao fim - ensaio três - posição vertical.

A figura APB.7 apresenta as etapas dos ensaios do diamante Brasil Extra do início ao término do terceiro ensaio na posição vertical, com o desgaste resultante de um total de 117 passadas. Observa-se por essa passada que as arestas das áreas desgastadas estão bem irregulares.

Tabela APB.4 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo Brasil Extra.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	97,43
40	160,06
60	243,04
80	304,65
100	355,06
117	531,33

Os dados da tabela APB.4 estão expostos na figura APB.8.

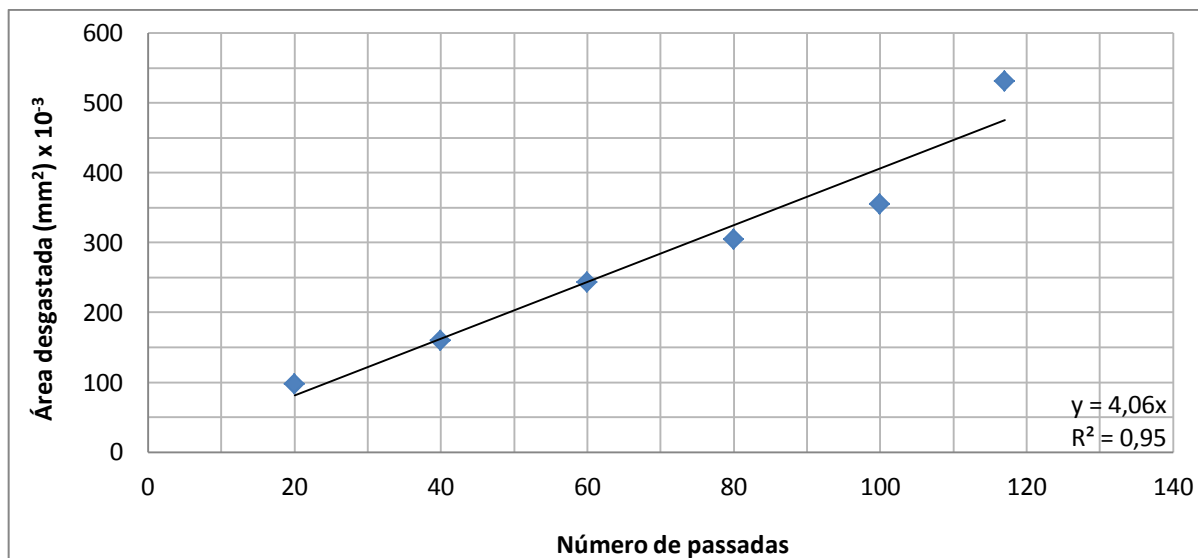


Figura APB.8 Área desgastada pelo número de passadas para o terceiro ensaio do diamante Brasil Extra na posição vertical.

Pelos dados contidos na tabela APB.4, bem como mostrados na figura APB.8, verifica-se que o valor medido da área desgastada aumentou a medida que cresceu o número de passadas. Os dados também mostraram-se bastante lineares, com um ajuste linear da curva obtida de 0,95. A taxa de desgaste obtida pelo coeficiente angular foi de  $4,06 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , uma taxa maior que o ensaio um com  $2,87 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$  e que o ensaio dois, com  $3,18 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ .

## APÊNDICE C – REPRODUÇÃO DO 2º E 3º ENSAIO DO DIAMANTE MATO GROSSO NA POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

Este apêndice relaciona as réplicas dos ensaios realizados para os corpos de prova 2 e 3 do diamante Mato Grosso na posição horizontal e vertical.

### APC.1 Diamante Mato Grosso – 2º ensaio – horizontal

A figura APC.1 mostram respectivamente as imagens das áreas sem e com o desgaste após 20, 100 e 191 passadas ao longo do segundo ensaio com o diamante Mato Grosso. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma é evidente na área inicial sem desgaste e a área desgastada após cada etapa.

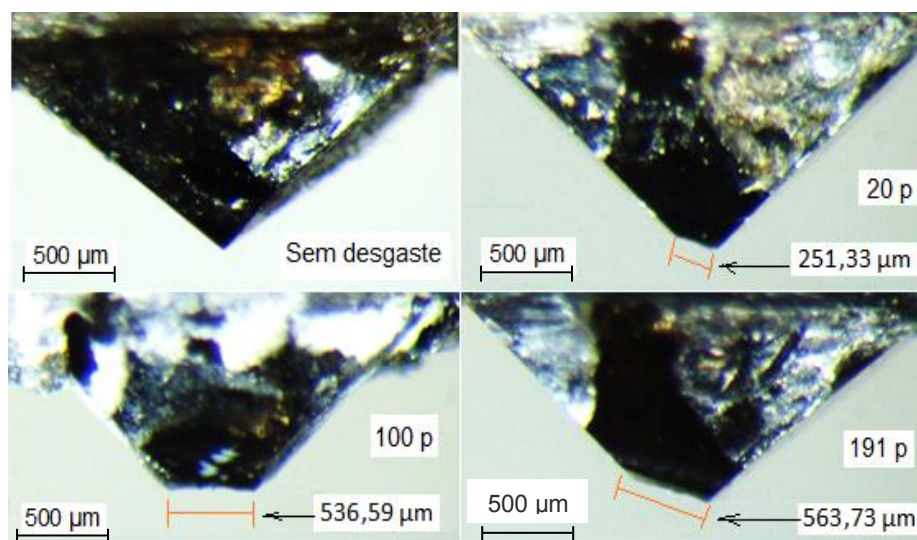


Figura APC.1 Diamante Mato Grosso com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio dois.

A figura APC.1 mostra o diamante ao final do ensaio dois. O número total de passadas foi de 191, com uma aresta de corte já bastante gasta muito irregular.

Na tabela APC.1 estão apresentados os dados obtidos no segundo ensaio do diamante tipo Mato Grosso na posição horizontal.



Tabela APC.1 Dados sobre a área desgastada pelo número de passadas obtido pelo segundo ensaio com o dressador do diamante Mato Grosso - posição horizontal.

Número de passadas	Área desgasta (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	15,63
40	32,15
60	38,99
80	52,78
100	62,48
120	83,57
140	87,20
160	90,85
180	121,17

Os dados da tabela APC.1 estão reagrupados na figura APC.2.

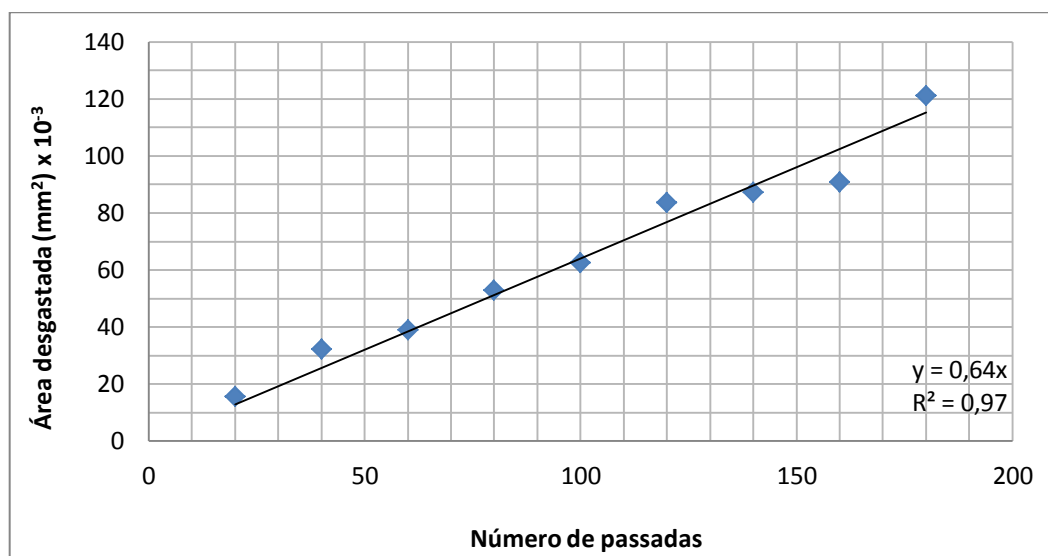


Figura APC.2 Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio dois do diamante Mato Grosso na posição horizontal.

Pelos dados observados na tabela APC.1 e pela figura APC.2 verifica-se que as áreas desgastadas aumentaram conforme aumentou o número de passadas. Além disso, os dados foram bastante lineares, com o ajuste da curva obtido na figura APC.2 de 0,97 e uma taxa de desgaste de  $0,64 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ . O valor obtido como taxa de desgaste neste segundo ensaio foi mais baixo que o obtido no primeiro ensaio que apresentou taxa de  $1,22 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ .

Neste ensaio observou-se que o último dado foi um pouco mais disperso que os demais, mas não o suficiente para prejudicar a linearidade dos dados.

### Diamante Mato Grosso – 3º ensaio – horizontal

A figura APC.3 mostra respectivamente as imagens das áreas com o desgaste após 20, 60 e 86 passadas ao longo do terceiro ensaio com o diamante Mato Grosso. As imagens apresentam uma área de localização do diamante onde o prisma é evidente a área inicial sem desgaste e as etapas de dressagem com suas respectivas áreas de desgaste do diamante versus as áreas no qual estão apresentando a cada etapa.

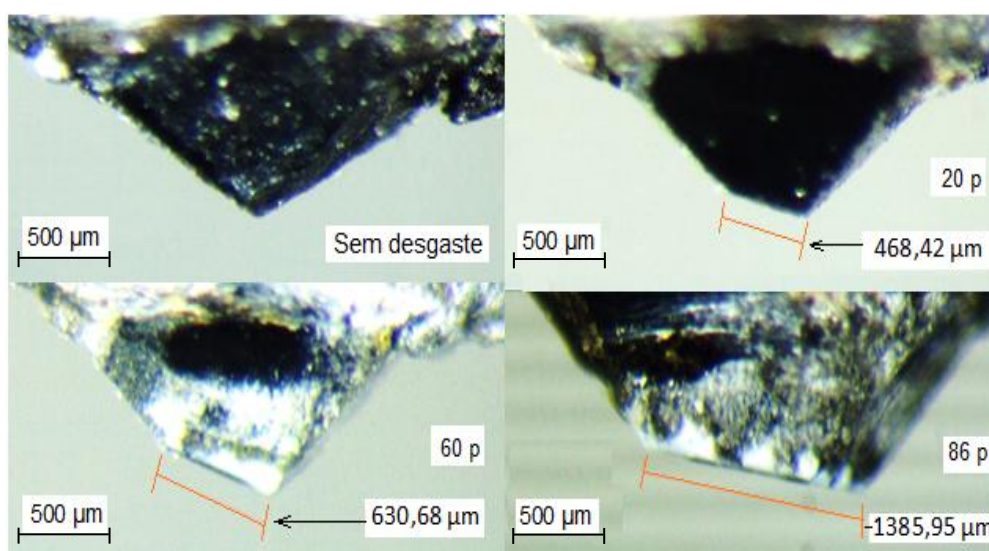


Figura APC.3 Diamante Mato Grosso com nenhuma passada, posição horizontal no ensaio três.

A figura APC.3 mostra o diamante Mato Grosso utilizado no ensaio três sem nenhum desgaste. A lapidação deste diamante também apresentou baixa qualidade comparada com os primeiros. O valor da aresta de corte ficou um tanto maior que o do ensaio um. Na etapa de 60 passadas, a área de desgaste está pouco visível devido ao reflexo do estanho utilizado na solda para o termopar e pela



ruim lapidação. Ao final do ensaio três, com um total de passadas de 86 e uma aresta de desgaste na dimensão elevada por ter realizado poucas passadas. Fica claro o desgaste sofrido pelo diamante que, apesar das poucas passadas, apresentou uma alta medida de desgaste. O rápido desgaste é devido às intensas forças de dressagem e da alta temperatura sofrida pelo diamante no processo de dressagem.

Os dados obtidos para a área desgastada para o terceiro ensaio com o diamante Mato Grosso são mostrados na tabela APC.2.

Tabela APC.2 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso - posição horizontal.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	38,03
40	48,14
60	78,37
80	156,31
100	286,73

Os dados da tabela APC.2 estão dispostos de forma mais visível na figura APC.4.

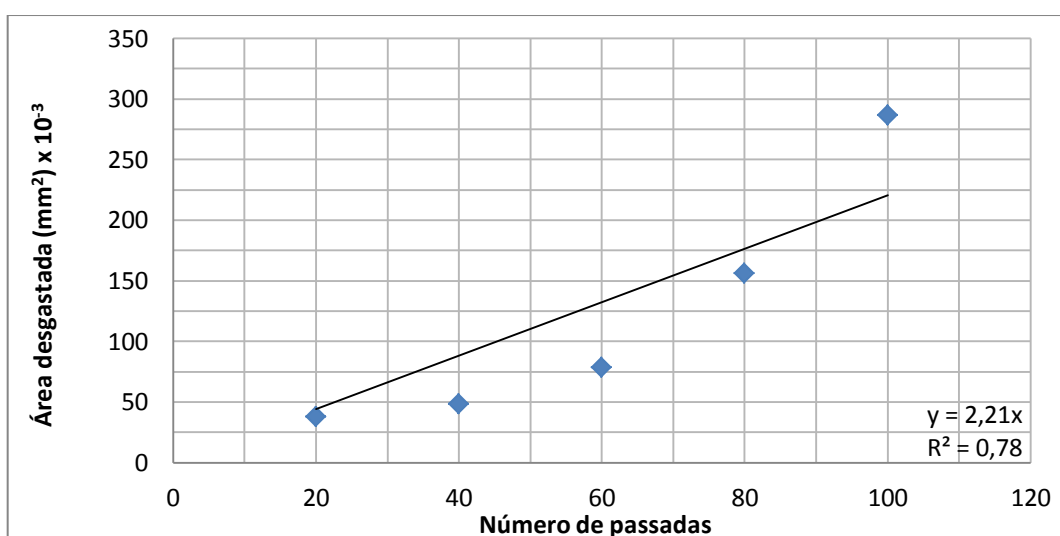


Figura APC.4 Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio três do diamante Mato Grosso na posição horizontal.

Pela tabela APC.2 e pela figura APC.4 observa-se que o valor da área desgastada aumentou à medida que o número de passadas aumentava. Observa-se também que o último ponto o da passada 100, está mais disperso que os demais pontos, o que garantiu o baixo ajuste linear obtido pela curva da figura APC.4, o qual foi de 0,78. Verificando o coeficiente angular da curva, cuja qual é a taxa de desgaste de  $2,21 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{passada}$ , que foi bem maior que as taxas obtidas pelo primeiro e segundo ensaio.

### Diamante Mato Grosso – 2º ensaio – vertical

A figura APC.5 demonstram respectivamente as áreas em cada etapa do início e nas passadas de 20, 80, 140 e 191 passadas com seu respectivo desgaste. Obtidas no segundo ensaio com o diamante Mato Grosso na posição vertical.

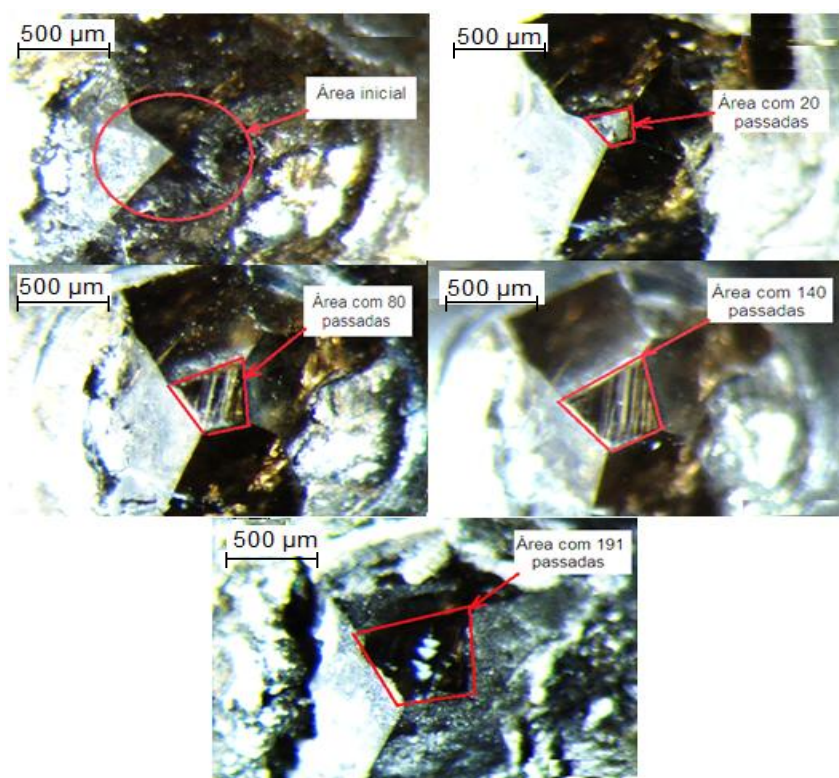


Figura APC.5 Diamante Mato Grosso do início ao fim - ensaio dois - posição vertical.

A figura APC.5 apresenta as etapas dos ensaios do diamante Mato Grosso do início ao término do segundo ensaio na posição vertical, com o desgaste resultante de um total de 191 passadas. Observa-se por essa passada que as arestas das áreas desgastadas estão bem irregulares.

Tabela APC.3 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no segundo ensaio para o diamante tipo Mato Grosso - posição vertical.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	65,56
40	128,36
60	190,99
80	245,49
100	287,02
120	340,92
140	374,70
160	428,14
180	516,53
191	555,17

Os dados da tabela APC.3 estão reagrupados na figura APC.6.

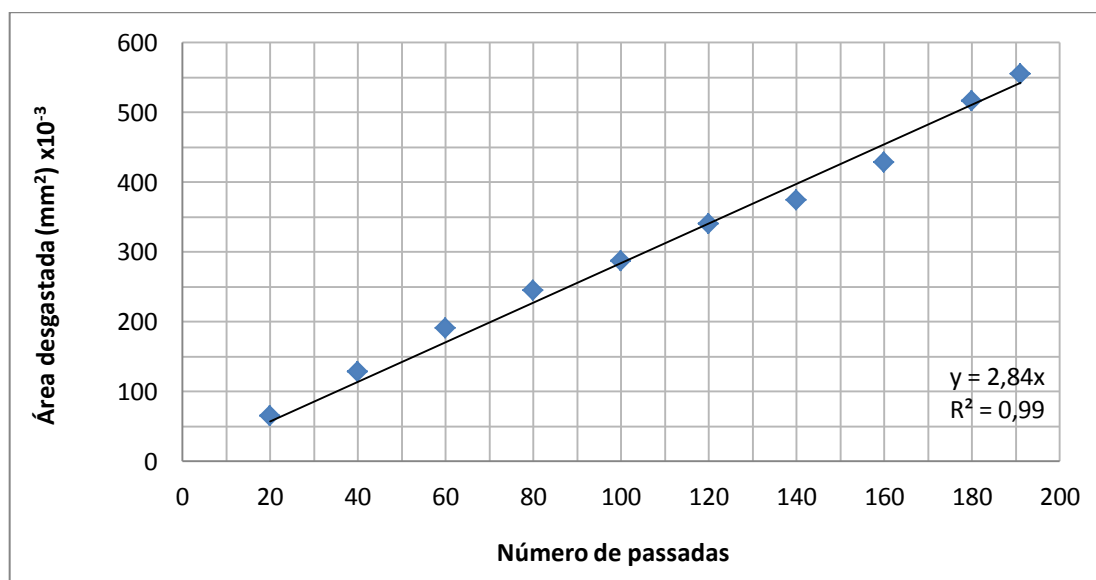


Figura APC.6 Área desgastada pelo número de passadas para o segundo ensaio do diamante tipo Mato Grosso na posição vertical.

Observando os dados da tabela APC.3 e da figura APC.6 verifica-se um aumento do valor da área desgastada em relação ao número de passadas. Os dados estão extremamente lineares, como mostra o ajuste linear obtido pela curva da figura APC.6 de 0,99. O valor da taxa de desgaste ficou em  $2,84 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passada, uma taxa bem menor que a obtida no primeiro ensaio, com  $6,77 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passada.

### Diamante Mato Grosso – 3º ensaio – vertical

A figura APC.7 demonstram respectivamente as áreas em cada etapa do início e nas passadas de 20, 80, 140 e 191 passadas com seu respectivo desgaste. Obtidas no terceiro ensaio com o diamante Mato Grosso na posição vertical.

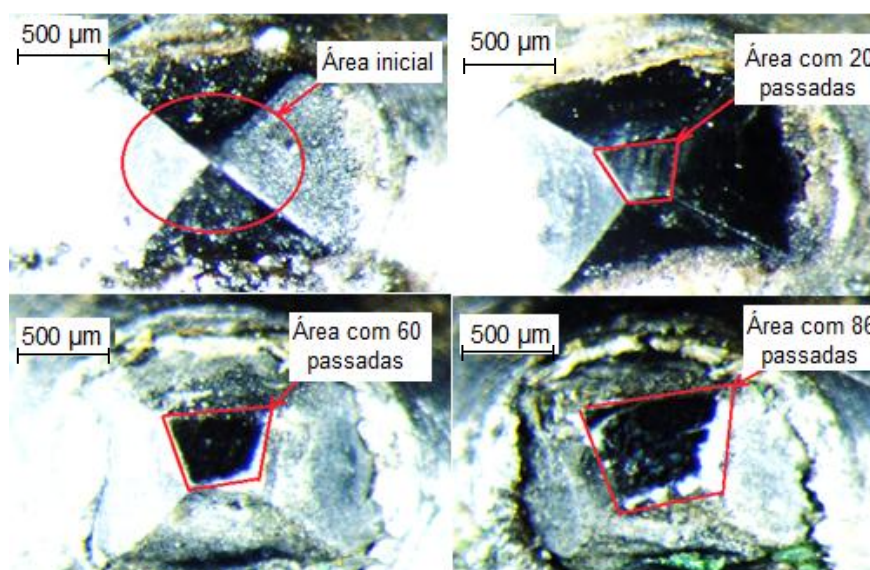


Figura APC.7 Diamante Mato Grosso do início ao fim - ensaio três - posição vertical.

A figura APC.7 apresenta as etapas dos ensaios do diamante Mato Grosso do início ao término do terceiro ensaio na posição vertical, com o desgaste resultante de um total de 86 passadas. Observa-se por essa passada que as arestas

das áreas desgastadas estão bem irregulares, neste ensaio ocorreu lascamento no diamante, reduzindo assim sua vida útil.

Tabela APC.4 Dados do número de passadas e da área desgastada obtidos no terceiro ensaio para o diamante tipo Mato Grosso.

Número de passadas	Área desgastada (mm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>
20	168,65
40	254,38
60	346,57
80	549,58
86	670,06

Os dados da tabela APC.4 estão reagrupados na figura APC.8.

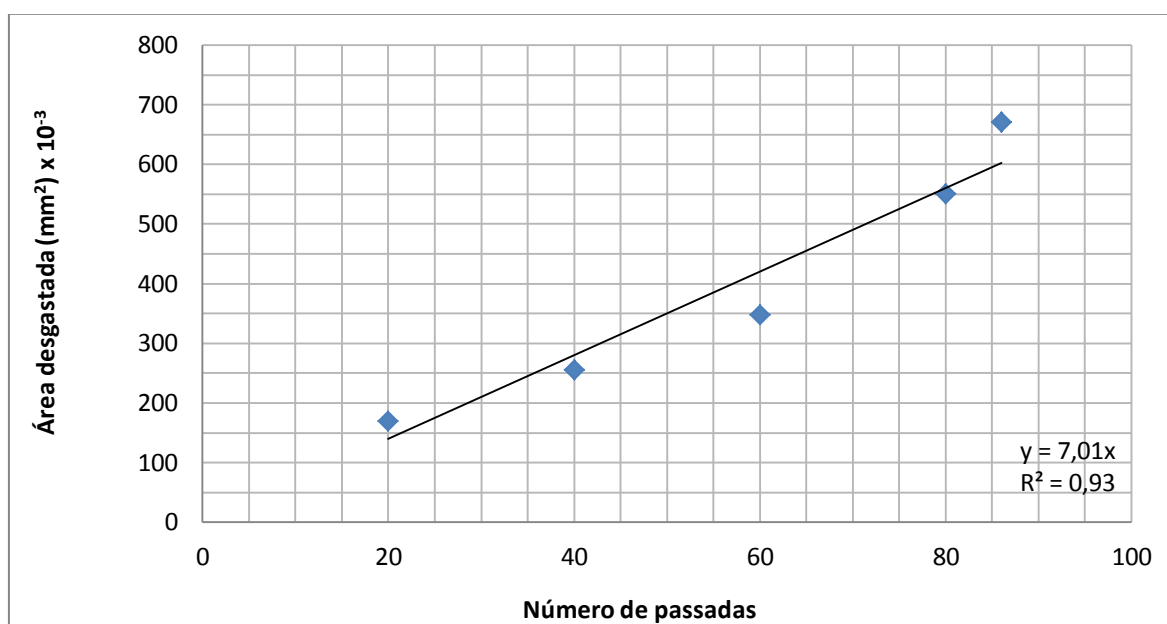


Figura APC.8 Área desgastada pelo número de passadas para o ensaio três do diamante Mato Grosso na posição vertical.

Pelos dados da tabela APC.4 e pela figura APC.8 observa-se que a área aumentou à medida que cresce o número de passadas. Os valores são bastante lineares, com um ajuste linear da curva de 0,93. A taxa de desgaste ficou em  $7,01 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/passada, uma taxa um pouco maior que a obtida no primeiro e segundo ensaios.