

SISTEMA DE ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE DESGASTE EM ÓLEOS LUBRIFICANTES

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

UNESP/ Campus Guaratinguetá

Prof. Dr. Valdeci Donizete Gonçalves

IFF/ Campus Macaé

Prof. Luis Fernando de Almeida

UNITAU

- Objetivos
- Métodos de análise de óleo
- Sistemas de quantificação e avaliação de partículas de desgaste
- Tipos de partículas de desgaste
- Sistema desenvolvido
- Resultados
- Conclusões
- Publicações

- Monitoramento de óleos lubrificantes industriais que operam no interior de redutores. Este dispositivo possibilita aumentar a vida útil do equipamento com o controle da taxa de acréscimo das partículas encontradas nos lubrificantes.
- Desenvolvimento de um sistema para capturar e processar imagens de partículas de desgaste em amostras de óleos lubrificantes.
- Implementação de um software para contagem de partículas de desgaste, com base na norma ISO 4406:1999
- Desenvolvimento de metodologia computacional para análise morfológica de partículas de desgaste

MÉTODOS DE ANÁLISE DE ÓLEO

Laboratorial (off-line) ou método de campo (on-line)

Espectrometria de emissão atômica na análise do óleo

Análise Espectrométrica de Óleo (SOA) é uma técnica analítica para identificar a composição elementar de partículas de até, aproximadamente, 8 microns, contidas em amostras de óleo de máquinas ou equipamentos industriais lubrificados.

Cromatografia gasosa

Cromatografia é uma técnica laboratorial para separar misturas químicas em seus componentes individuais. O princípio básico da cromatografia é que componentes diferentes aderem a uma superfície sólida, ou se dissolvem em um filme de líquido, formando uma graduação.

Técnica da ferrografia na análise de partículas de desgaste

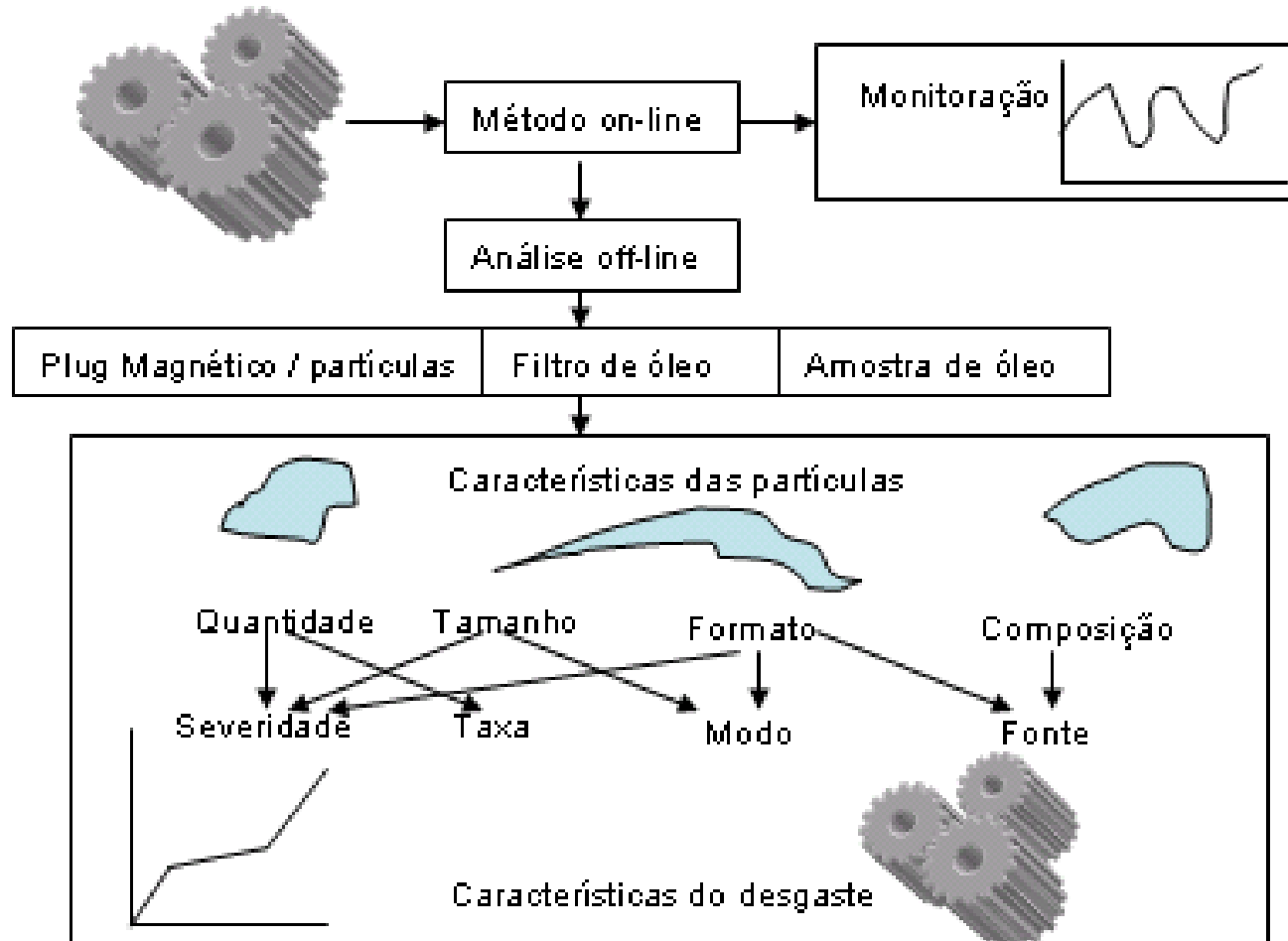
Segundo Raimond J. Dalley, 1991, a ferrografia é uma técnica laboratorial que, por meio de exame microscópico, é capaz de fazer a análise de partículas, separando-as de fluidos.

Análise de graxa

A graxa é utilizada para a lubrificação de sistemas onde não é possível o uso do óleo, tais como caixas de engrenagens e rolamentos.

A análise de graxa deve ser aplicada quando se tem necessidade do controle da lubrificação na maioria dos rolamentos

Caracterização das partículas de desgaste



SISTEMAS DE QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARTÍCULAS DE DESGASTE



CASPA : Computer-Aided Systematic Particle Analysis –
(Roylance; Albidevi; Luxmoore (1992)

CAVE : Computer Aided Vision Engineering – (Roylance, et al, 1993)

An integrated intelligence system for wear debris analysis (Zhongxiao Peng, 2002)

Recognition of texture types of wear particles - WPTA (M. S. Laghari, 2003)

SISTEMAS DE QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PARTÍCULAS DE DESGASTE



A comparison of texture feature extraction methods for machine condition monitoring and failure analysis (Gp. Stachowiak, 2005)

SYCLOPS - Systematic Classification of Oil-wetted Particles

Sistema de classificação quantitativa de partículas de desgaste, desenvolvido para o centro de detecção de falhas RAF

(T.P. Sperring e T.J. Nowell, 2005)

Serão abordados 4 tipos de partículas de desgaste específico:

- Desgaste de abrasão, “Cutting wear”
- Desgaste provocado pela fricção, “Rubbing wear”
- Desgaste por fadiga, “Fatigue”
- Deslizamento severo, “Severe sliding”

SISTEMA DESENVOLVIDO

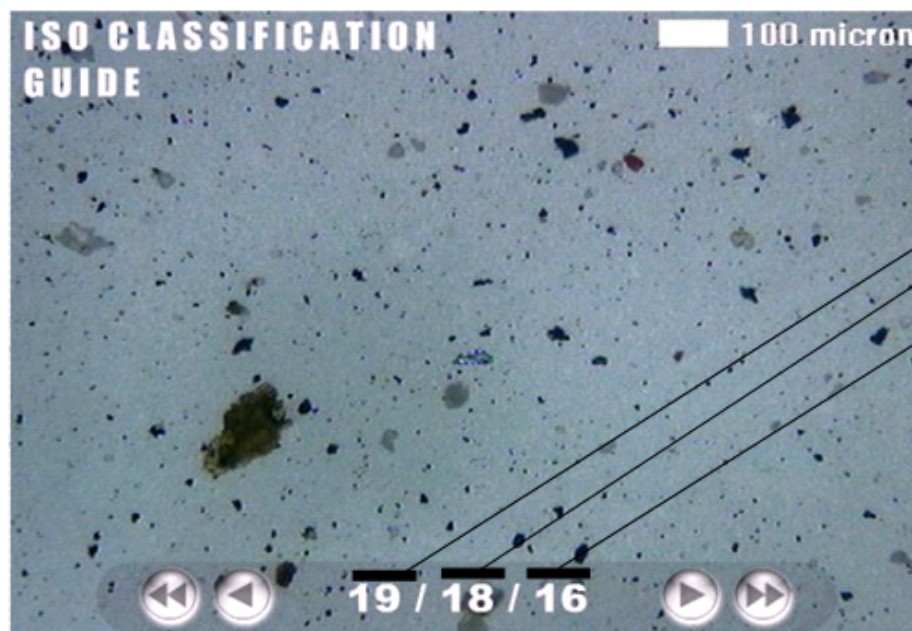
Módulo de filtragem

Aquisição de imagens por
microscopia

Processamento de
imagens



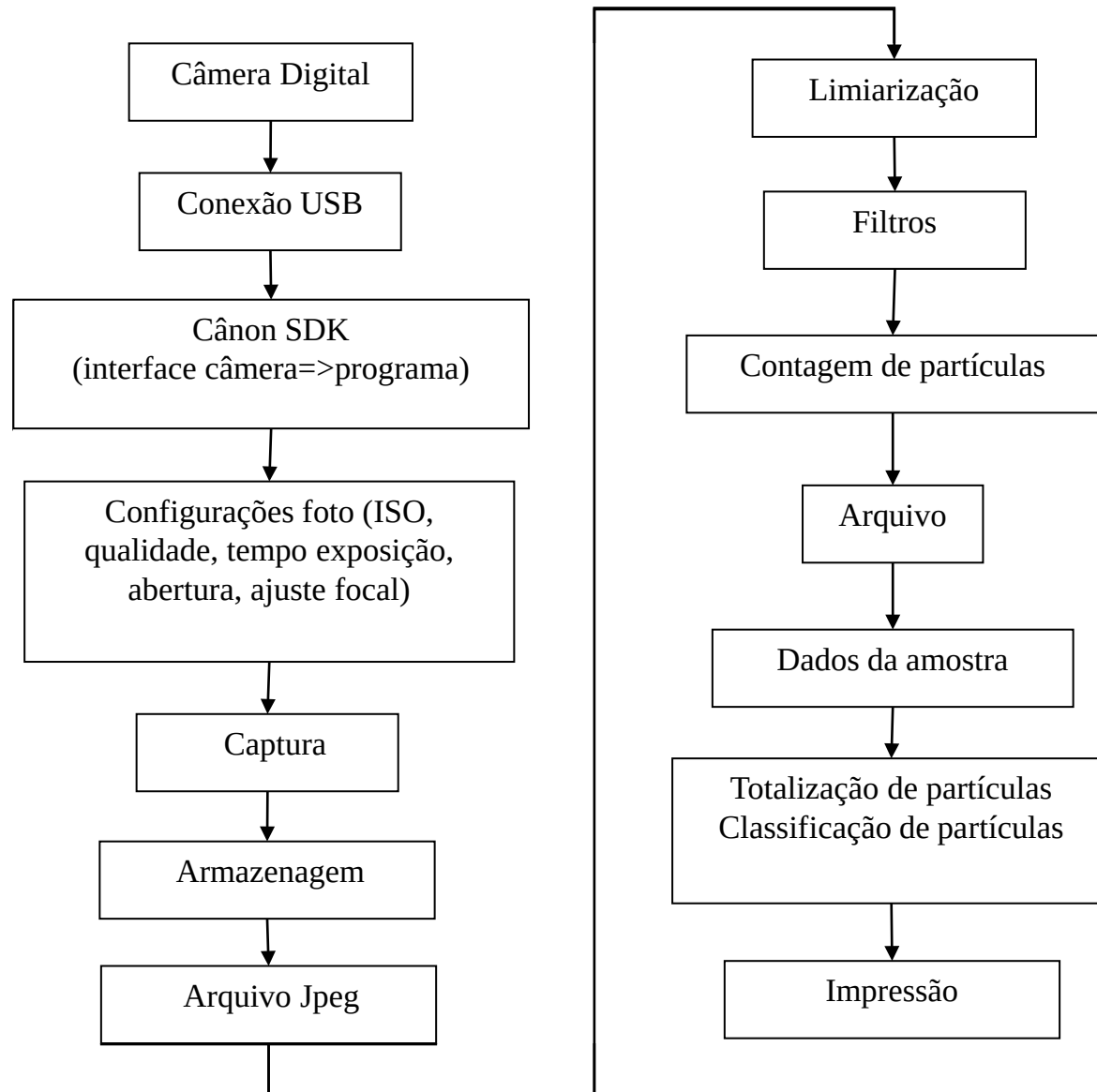
DIAGRAMA DE BLOCOS FUNCIONAL DO SISTEMA



Número de partículas em líquidos por 1 ml		
Nº código	Do nº partículas	Até nº partículas
26	320000	640000
25	160000	320000
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,6	1,3
6	0,3	0,6

Exemplo de classificação
ISO 19/18/16

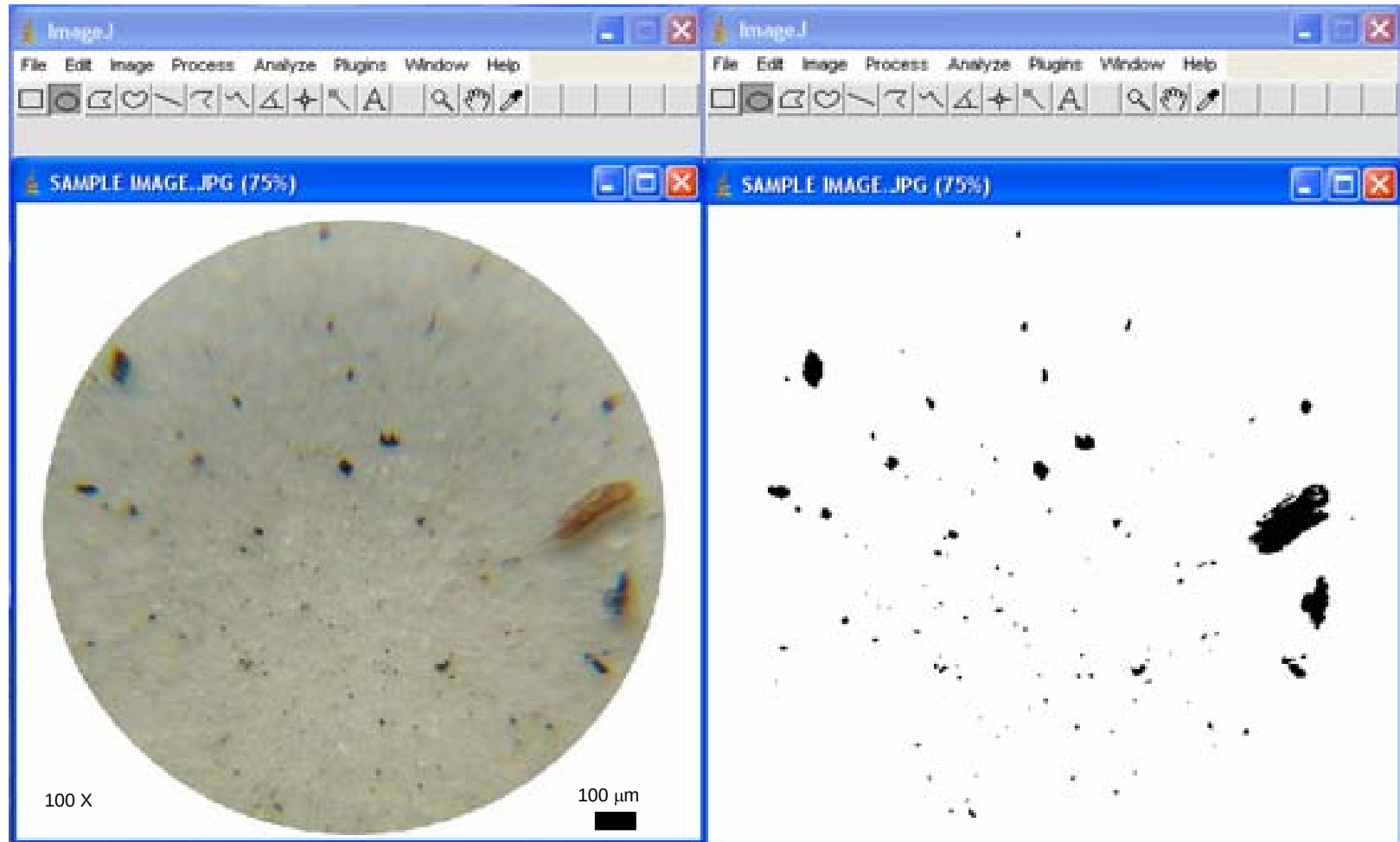
INTERFACE CÂMERA / COMPUTADOR



IASS - SOFTWARE PARA O SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM



PROCESSO DE LIMIARIZAÇÃO



RESULTADOS

ANÁLISE DE AMOSTRA DE ÓLEO PELO MÉTODO DE SIMILARIDADE

Nível Normal [E]		E =< R		
Acima do Alarme [F]		F > R		
Recomendado [R]		17	15	12
Até...	ISO			
10.000.000	30			
5.000.000	29			
2.500.000	28			
1.300.000	27			
640.000	26			
320.000	25			
160.000	24			
80.000	23			
40.000	22			
20.000	21			
10.000	20			
5.000	19			
2.500	18	F		
1.300	17	R	F	
640	16			
320	15		R	
160	14			F
80	13			
40	12			R
20	11			
10	10			
5	9			
2,5	8			
1,3	7			
0,6	6			
		>=4µm	>=6µm	>=14µm

Dados da Amostra		
Diâmetro padrão	35	mm
Diâmetro amostra	1	mm
Volum e filtrado	1	ml
Aumento ótico	25	ml
	100	vezes
Classificação 18 / 17 / 14		
Nível Conforme ISO 4406:1999		

Imagem da membrana ampliada: 100x

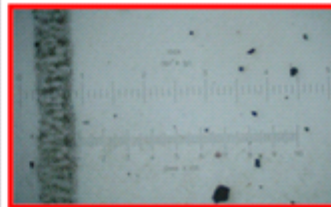
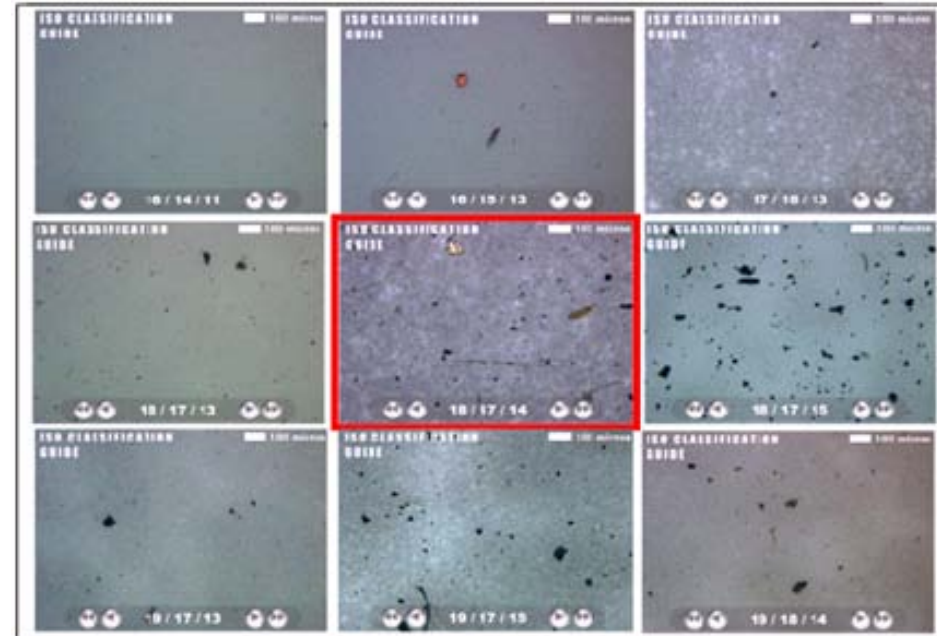


Imagem obtida de uma amostra de óleo retirada de uma unidade hidráulica de uma Trefila



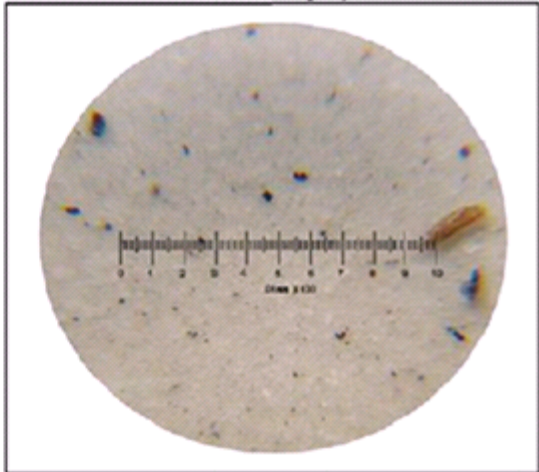
RELATÓRIO DO MÉTODO DE CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO COMPUTACIONAL

Nível Normal [E]		E ≤ R		
Nível de Alarme [F]		F > R		
Recomendado [R]		19	17	14
Até...	ISO			
10.000.000	30			
5.000.000	29			
2.500.000	28			
1.300.000	27			
640.000	26			
320.000	25			
160.000	24			
80.000	23			
40.000	22			
20.000	21			
10.000	20			
5.000	19	R		
2.500	18			
1.300	17	E	R = E	F
640	16			
320	15			
160	14			R
80	13			
40	12			
20	11			
10	10			
5	9			
2,5	8			
1,3	7			
0,6	6			
		≥ 4µm	≥ 6µm	≥ 14µm

Dados da Amostra		
Diâmetro Padrão	25000 µm	490873852,1 área (µm²)
Diâmetro Amostra	1300 µm	1327322,9 área (µm²)
Volume Padrão	1 ml	
Volume Filtrado	25 ml	
Aumento Óptico	100x	
14,8 Fator		

Classificação ISO 4406:1999			
Partículas da amostra	65	/	80
Partículas x Fator	962	/	1.183
Classificação	17	/	17

Fator de Ampliação 100x



EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA - ABRASÃO



CUTTING WEAR mod2



CUTTING WEAR mod3



CUTTING WEAR mod4



CUTTING WEAR mod5



CUTTING WEAR mod6



CUTTING WEAR mod7



CUTTING WEAR mod8



CUTTING WEAR mod9



CUTTING WEAR mod10



CUTTING WEAR mod1

Tabela 3 – Classificação de partículas conforme características de formato

Abrasão	Área	Perímetro	Largura	Altura	Diâm. Principal	Diâm. Menor	Feret	Alongamento	Razão Aspecto
1	1436,57	385,25	108,28	83,43	60,56	30,20	113,57	2,99	1,30
2	1408,21	469,78	120,12	98,82	55,24	32,46	123,70	3,85	1,22
3	1333,99	431,45	108,28	100,59	55,08	30,84	120,36	3,54	1,08
4	766,43	347,65	91,12	84,02	46,57	20,95	105,93	2,64	1,08
5	1533,91	491,82	120,71	108,28	56,21	34,74	128,62	4,24	1,11
6	1093,10	376,65	90,53	100,00	56,43	24,66	122,71	2,55	0,91
7	981,41	401,65	117,75	50,89	56,79	22,00	118,24	2,26	2,31
8	965,65	406,38	97,63	99,41	51,01	24,10	118,49	2,79	0,98
9	1325,58	554,81	129,59	95,27	60,74	27,79	150,86	2,69	1,36
10	1206,54	531,65	118,34	100,00	48,24	31,85	124,52	4,89	1,18

EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA - FADIGA



FADIGUEmod1



FADIGUEmod2



FADIGUEmod3



FADIGUEmod4



FADIGUEmod5



FADIGUEmod6



FADIGUEmod7



FADIGUEmod8



FADIGUEmod9



FADIGUEmod10

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
FADIGA	Area	X	Y	Perim _i	BX	BY	Width	Height	Major	Minor	Angle	Circ _i	Feret	alongamento	aspect ratio
1	13855,89	107,06	80,18	594,9	23,39	9,36	162,57	140,35	154,43	114,24	158,89	0,49	172,38	6,684996268	1,158318489
2	14397,23	108,23	81,06	1085,33	23,53	8,24	164,71	142,35	157,01	116,75	159,24	0,15	175,98	6,799801292	1,157077626
3	14055,26	104,01	79,05	544,52	14,04	9,36	171,93	129,24	160,56	111,46	166,68	0,6	179,13	5,5401222	1,330315692
4	14616,46	104,93	81,94	590,9	15,2	9,36	170,76	140,35	156,5	118,91	163,26	0,53	173,98	7,326682628	1,216672604
5	14797,72	105,55	83,25	586,42	23,39	9,36	162,57	139,77	152,82	123,29	160,97	0,54	172,38	9,350152387	1,163125134
6	12907,9	107,4	84,04	580,6	22,22	9,36	160,23	131,58	145,66	112,83	0,63	0,48	162,67	7,873591228	1,217738258
7	11928,46	113,17	82,36	590,94	25,73	9,36	160,23	140,35	135,48	112,1	165,39	0,43	166,76	10,58939264	1,141645885
8	12203,76	105,99	83,87	608,24	17,54	9,36	168,42	140,35	137,65	112,88	171,79	0,41	172,66	10,11425111	1,2
9	15225,2	105,25	82,54	632,71	23,39	9,36	162,57	142,11	153,13	126,6	154,67	0,48	172,38	10,54391255	1,143972979
10	12284,78	102,95	78,72	520,36	28,24	9,41	142,94	133,53	134,55	116,25	164,45	0,57	152,95	13,70491803	1,070471055

EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA - FRICÇÃO



RUBBING WEAR mod1



RUBBING WEAR mod2



RUBBING WEAR mod3



RUBBING WEAR mod4



RUBBING WEAR mod5



RUBBING WEAR mod6



RUBBING WEAR mod7



RUBBING WEAR mod8



RUBBING WEAR mod9



RUBBING WEAR mod10

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Area	X	Y	Perim.	BX	BY	Width	Height	Major	Minor	Angle	Circ.	Feret	alongamento	aspect ratio
1	1802,9	123,22	125,74	235,38	99,97	84	40,82	70,99	60,19	38,14	86,53	0,41	71,62	4,459410431	0,575010565
2	1769,33	122,66	125,09	234,28	99,5	83,61	40,63	70,65	59,62	37,79	86,54	0,41	71,28	4,462207971	0,575088464
3	1780,37	124,76	127,92	248,22	101,81	85,54	41,57	72,29	61,27	37	86,15	0,36	72,93	4,049031726	0,575044958
4	1726,67	125,17	128,18	256,74	101,81	85,54	41,57	72,29	61,12	35,97	85,13	0,33	72,93	3,860437376	0,575044958
5	1544,29	123,27	124,33	265,16	99,41	83,53	40,59	70,59	59,78	32,89	89,32	0,28	71,21	3,446262551	0,575010625
6	1763,67	120,71	123,98	263,26	91,76	83,53	48,24	70,59	56,46	39,77	92,06	0,32	71,21	5,765727981	0,683382915
7	2109,89	124,05	123,75	273,13	91,76	83,53	58,24	70,59	55,86	48,09	89,28	0,36	71,21	13,37837838	0,825046041
8	2243,6	124,1	122,4	266,78	91,76	83,53	58,24	70,59	59,3	48,17	88,82	0,4	71,21	9,655884996	0,825046041
9	2405,88	122,85	121,2	269,42	91,76	83,53	58,24	70,59	61,3	49,97	102,37	0,42	71,21	9,820829656	0,825046041
10	2573,36	123,16	119,28	258,83	91,76	78,24	58,24	75,88	65,91	49,71	94,02	0,48	76,39	7,137037037	0,767527675

EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA – DESLIZAMENTO SEVERO



Severe Sliding mod1



Severe Sliding mod2



Severe Sliding mod3



Severe Sliding mod4



Severe Sliding mod5



Severe Sliding mod6



Severe Sliding mod7



Severe Sliding mod8



Severe Sliding mod9

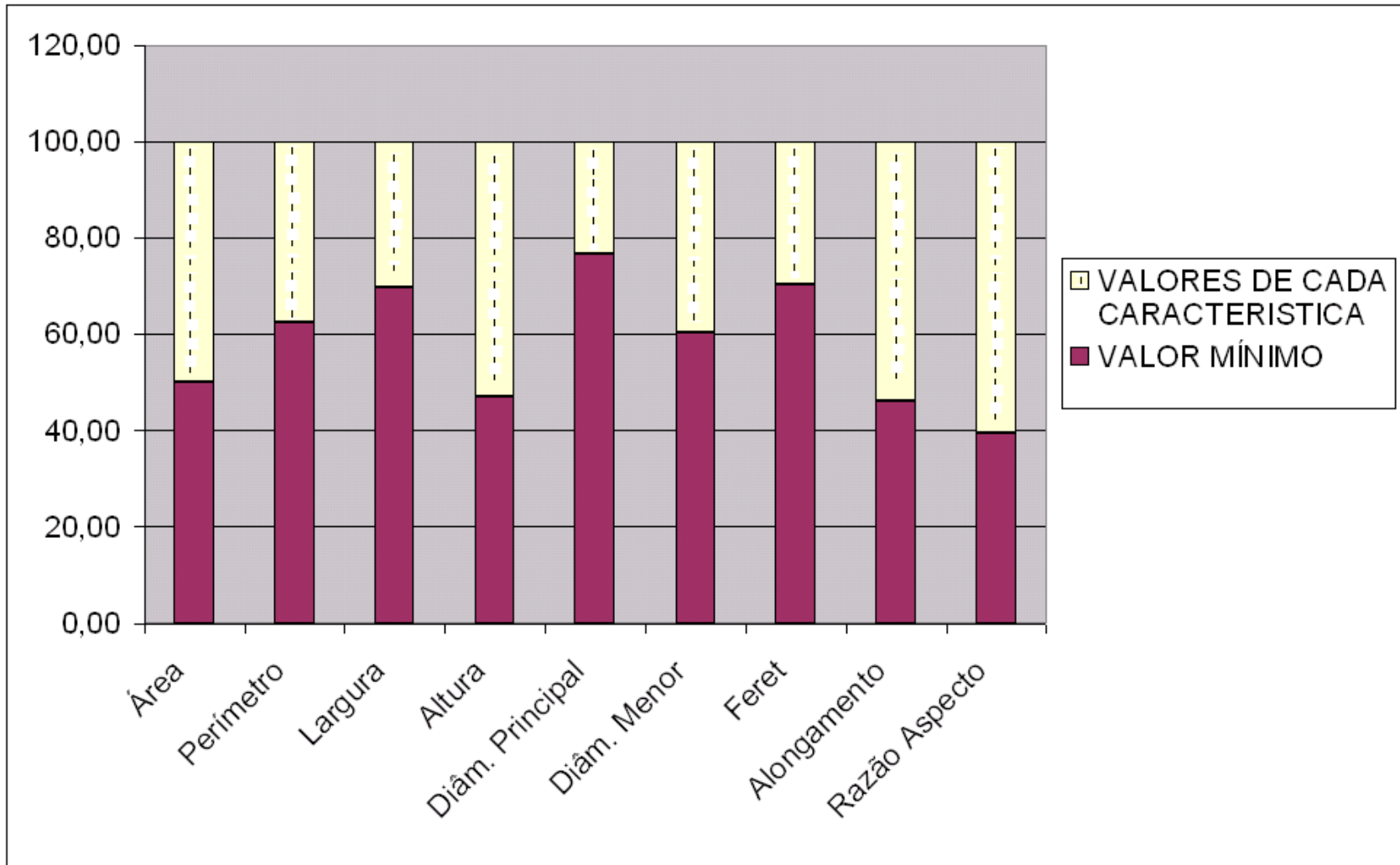


Severe Sliding mod10

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Area	X	Y	Perim.	BX	BY	Width	Height	Major	Minor	Angle	Circ.	Feret	alongamento	aspect ratio
1	16411,37	106,78	92,22	555,57	23,31	30,67	180,36	126,38	178,91	116,8	12,98	0,67	184,72	4,761069071	1,427124545
2	14430,56	107,82	86,07	586,63	23,31	30,67	180,36	122,7	181,86	101,03	8,82	0,53	184,72	3,499814425	1,46992665
3	17799,02	107,89	86,85	614,74	23,31	3,68	180,36	153,37	175,45	129,17	21,47	0,59	184,72	6,582108902	1,175979657
4	14413,62	115,27	92,4	553,75	36,81	30,67	166,87	126,38	161,36	113,74	20,8	0,59	174,24	5,77698446	1,320382972
5	17742,94	110,27	95,54	569,65	23,31	30,67	180,36	132,51	179,62	125,77	6,29	0,69	184,72	5,671123491	1,361104822
6	12210,39	100,86	82,13	505,66	23,31	30,67	165,64	116,56	173,44	89,64	15,4	0,6	173,41	3,139379475	1,421070693
7	8824,58	76,93	100,61	677,42	25,41	23,24	131,35	155,67	152,02	73,91	120,49	0,24	167,3	2,892459352	0,843772082
8	8325,54	77,86	104,76	617,95	25,41	31,89	131,35	147,02	145,57	72,82	125,03	0,27	166,94	3,001924399	0,893415862
9	14943,55	110,75	95,57	595,64	23,31	30,67	180,36	126,38	179,53	105,98	18,64	0,53	184,72	3,881849082	1,427124545
10	16546,86	119,24	91,53	653,62	23,31	30,67	194,47	126,38	204,64	102,95	21,32	0,49	212,1	3,024781198	1,538771958

CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS POR SEUS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

Partículas de abrasão



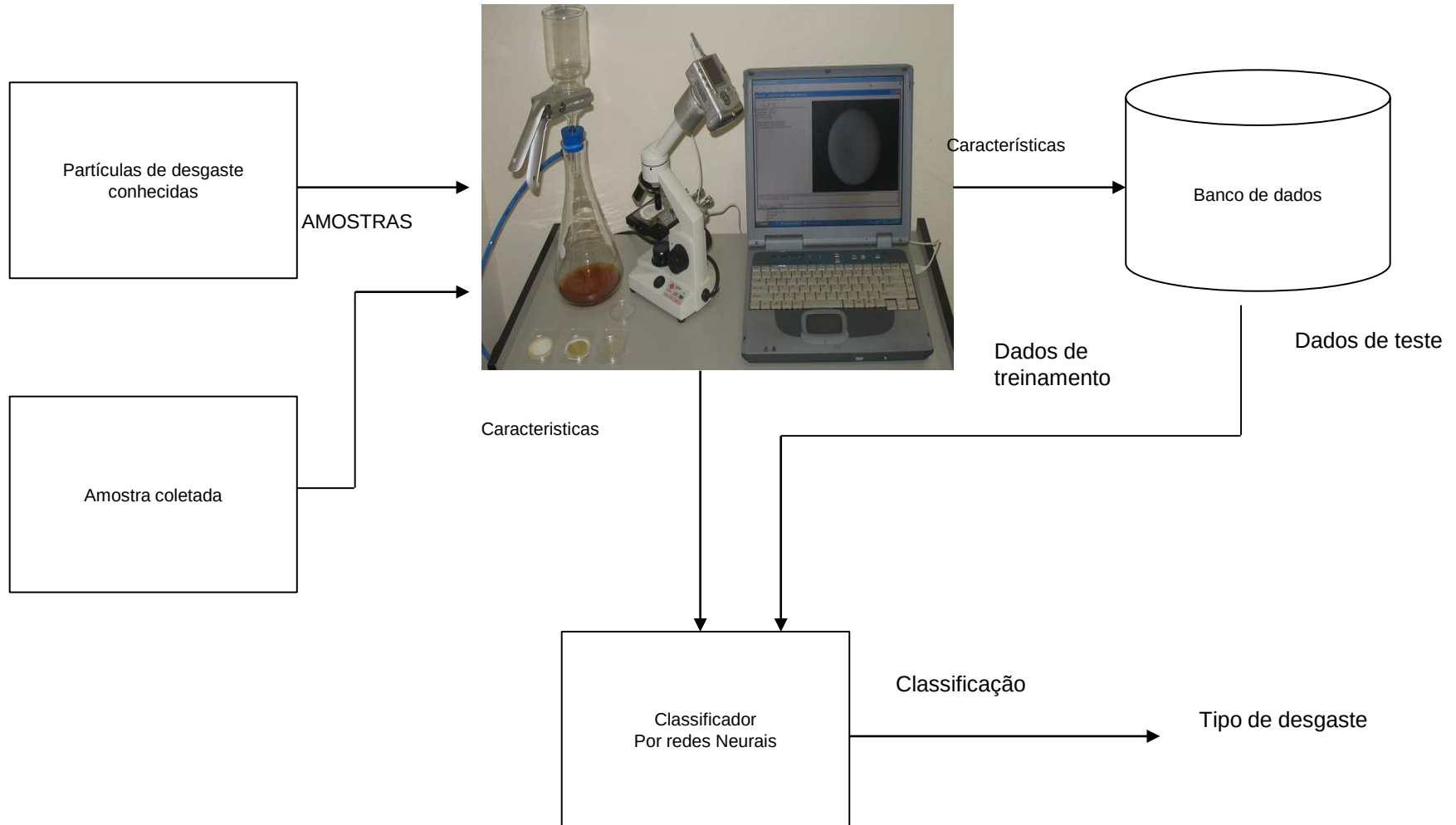
RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO POR ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS



– Amostra x número de partículas encontradas

Amostra de Partículas Avaliadas	Número de Partículas Encontradas	%
Abrasão	10	25%
Fadiga	10	25%
Deslizamento Severo	10	25%
Fricção	10	25%
Total de Partículas da Amostra	40	100%

CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS UTILIZANDO REDES NEURAIS

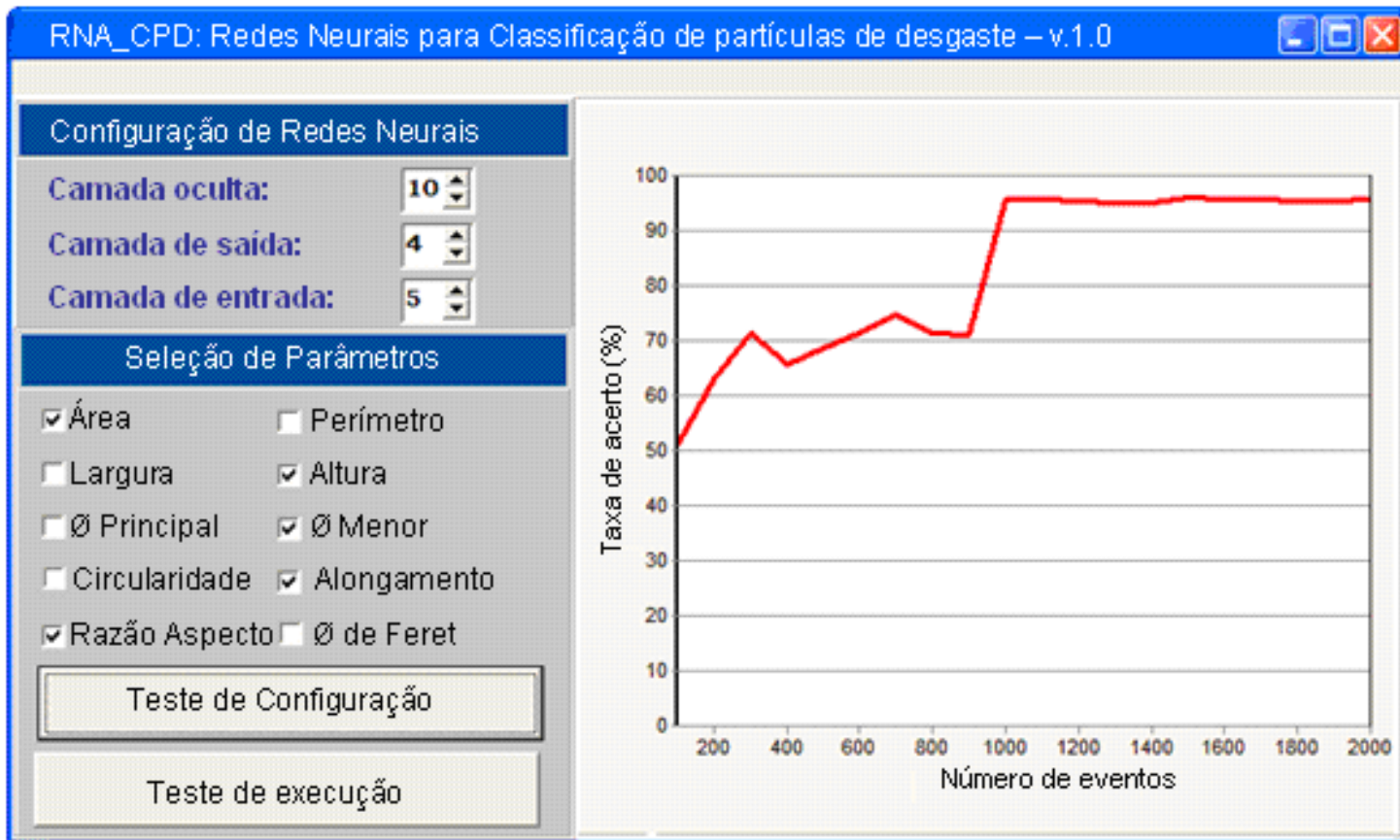


CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS UTILIZANDO REDES NEURAIS

– Melhor configuração para combinações entre características

Atributos (camada de entrada)					TA (%)
área	altura	ø menor	alongamento	razão de aspecto	96,0
área	altura	ø menor	circularidade	alongamento	95,2
área	ø menor	circularidade	alongamento	razão de aspecto	95,2
área	altura	circularidade	alongamento	razão de aspecto	95,2
área	altura	ø menor	circularidade	razão de aspecto	94,1

ESTABILIZAÇÃO DAS REDES NEURAIS PARA MELHOR TAXA DE ACERTO



Verificou-se que não foi necessário utilizar todos os atributos disponibilizados pelo RNA_CPD para que a melhor taxa de acerto, que se estabilizou a partir de 1.000 eventos, fosse alcançada.

- Nesta pesquisa, técnicas de processamento de imagem e análise computacional de dados foram aplicadas para obter informações relevantes das imagens de partículas de desgaste.
- Foi desenvolvido um sistema de aquisição de imagem para utilização na análise de partículas de desgaste de óleos lubrificantes industriais.
- Também foi introduzida a análise morfológica das partículas envolvidas na amostra, classificando-as de acordo com os critérios morfológicos adotados.

- Apresentou-se uma aplicação para a análise microscópica de partículas de desgaste encontradas em óleos lubrificantes industriais, realizando a classificação e análise de partículas de desgaste que incluem o uso de um sistema especialista e de redes neurais.
- As vantagens desta aplicação incluem:
 - (1) sua aplicação computacional;
 - (2) baixo custo;
 - (3) utilização de uma interface amigável com aplicação de técnicas de processamento de imagens.
- As duas tecnologias, IASS e RNA_CPD, realizam suas tarefas para os diagnósticos quantitativo conforme norma ISO 4406 e qualitativo com a análise morfológica das partículas.
- O sistema desenvolvido pode ser utilizado para identificação do modo de desgaste em equipamentos industriais.

- GONÇALVES, Valdeci Donizete ; MATHIAS, M. H. . A MECHATRONIC SYSTEM APPLIED TO WEAR PARTICLE ANALYSIS. In: ECOTRIB 2007: Joint European Conference on Tribology and Final Conference of COST 532 action: Triboscience and Tribotechnology, 2007, Ljubljana. Proceedings of the European Conference on Tribology and Final Conference on COST 532 action: Triboscience and Tribotechnology. Ljubljana : Slovenian Society for Tribology, 2007. v. 2. p. 1065-1072.
- GONÇALVES, Valdeci Donizete ; MATHIAS, M. H. . Sistema de Processamento de Imagens Aplicado ao Ensino de Técnicas de Manutenção Preditiva. In: ICECE 2007 International Conference on Engineering and Computer Education, 2007, Santos. International Conference on Engineering and Computer Education, ICECE 2007, 2007. v. 1. p. 1094-1097.
- MATHIAS, M. H. ; GONÇALVES, Valdeci Donizete ; Tomazini, José Elias . SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE DESGASTE. In: 9a. COTEQ, 2007, SALVADOR. Anais da Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos - 9a. COTEQ, 2007.
- MATHIAS, M. H. ; GONÇALVES, Valdeci Donizete ; Tomazini, José Elias . Sistema de Processamento de Imagens para Análise de partículas de Desgaste. Revista ABENDE, São Paulo, p. 32 - 34, 02 maio 2008.

- GONÇALVES, Valdeci Donizete ; MATHIAS, M. H. . A Mechatronic System Applied to Wear Particle Analysis. Tribologia : finnish journal of tribology, v. 27, p. 21-28, 2008.
- GONÇALVES, Valdeci Donizete ; ALMEIDA, L. F. ; MATHIAS, M. H. . Wear Particle Classifier Based on an Artificial Neural Network. In: 2nd European Conference on Tribology, ECOTRIB 2009, 2009, Pisa. 2nd European Conference on Tribology ECOTRIB 2009. Pisa : ETS, 2009. v. 01. p. 263-268.
- SOARES, A. M. S. ; GONÇALVES, V. D. . Controle de um Manipulador Robótico Auxiliado por um Sistema de Visão. In: I Workshop Universidade-Empresa em Automação, Energia e Materiais, 2004, Taubaté. I Workshop Universidade-Empresa em Automação, Energia e Materiais, 2004.
- SOARES, A. M. S. ; GONÇALVES, V. D. . Interface Gráfica para Manipulação de Mecanismo Robótico. In: Encontro de Iniciação Científica e III Mostra de Pós-graduação, 2002, Taubaté. do VII Encontro de Iniciação Científica e III Mostra de Pós-graduação. Taubaté : Universidade de Taubaté, 2002. v. 1. p. 232-232.
- SOARES, A. M. S. ; GONÇALVES, V. D. . Controle de Um Manipulador Robótico em Uma Tarefa. In: III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004, Belém, Pa. III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004.
- Valdeci Donizete Gonçalves. Controle de Um Manipulador Robótico Auxiliado Por Um Sistema de Visão. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, . Orientador: Alvaro Manoel de Souza Soares.