



Universidade de São Paulo Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

TRABALHO DE FORMATURA

“Estudo Comparativo entre Moedas Brasileiras e
Moedas Britânicas - Estudo de Moedas Brasileiras
Falsas”

Aluno: João Henrique Braga Junqueira

Orientador: Prof. Dr. Angelo Fernando Padilha

Índice

1	Introdução.....	10
1.1	História das moedas	10
1.2	Breve histórico das moedas britânicas e brasileiras	11
1.3	A Casa da Moeda do Brasil'	12
1.4	Ligas usadas atualmente.....	13
1.5	As atuais moedas em circulação no Reino Unido	15
1.6	As moedas em circulação no Brasil	17
1.6.1	Nova linhagem do Real	17
1.6.2	Moedas da antiga linhagem do Real	20
2	O Processo Produtivo das Moedas Brasileiras	24
2.1	O Disco.....	25
2.2	A criação da Matriz ou Punção	26
2.3	O Cunho	29
2.4	Eletrodeposição	30
2.5	A Cunhagem.....	31
3	Objetivos	33
4	Materiais e Métodos	34
4.1	Limpeza das moedas	34
4.2	Massa.....	34
4.3	Densidade	34
4.4	Microdureza Vickers	35
4.5	Análises químicas.....	36
4.6	Análise magnética	36
4.7	Metalografia	36
4.8	Análise de Relevô.....	36
4.9	Análise das moedas em corte	37
5	Resultados Obtidos.....	38
5.1	Análise de Massas	38
5.1.1	Moedas britânicas.....	38
5.1.2	Moedas brasileiras.....	38
5.1.2.1	Moedas brasileiras novas	38
5.1.2.2	Moedas brasileiras antigas	38
5.2	Análise de Densidades	39
5.2.1	Moedas britânicas.....	39
5.2.2	Moedas brasileiras.....	39
5.2.2.1	Moedas brasileiras novas	39
5.2.2.2	Moedas brasileiras antigas	39
5.3	Análise de Durezas Vickers	40
5.3.1	Moedas britânicas.....	40
5.3.2	Moedas brasileiras.....	40
5.3.2.1	Moedas brasileiras novas	40
5.3.2.2	Moedas brasileiras antigas	40
5.4	Análises Químicas.....	41
5.4.1	Moedas britânicas.....	41
5.4.2	Moedas brasileiras.....	41

5.4.2.1	Moedas brasileiras novas	41
5.4.2.2	Moedas brasileiras antigas	42
5.5	Análises de Atração Eletromagnética	42
5.5.1	Moedas britânicas.....	42
5.5.2	Moedas brasileiras.....	42
5.5.2.1	Moedas brasileiras novas	42
5.5.2.2	Moedas brasileiras antigas	42
5.6	Análises Metalográficas	43
5.6.1	Moeda de R\$ 1 (antiga).....	43
5.7	Análises de Relevô	44
5.7.1	Análises do Relevô do Pannel.....	44
5.7.1.1	Moeda de R\$ 1 (antiga).....	44
5.7.1.2	Moeda de R\$ 0,25 (antiga).....	47
5.7.2	Análises do Relevô da Borda das moedas.....	50
5.7.2.1	Moeda de R\$ 1 (antiga).....	50
5.7.2.2	Moeda de R\$ 0,25 (antiga).....	51
5.7.3	Análise da moeda de R\$ 1 em Corte.....	52
5.8	Análise das moedas brasileiras falsas.....	54
5.8.1	Massa das moedas brasileiras falsas.....	54
5.8.2	Densidade das moedas brasileiras falsas.....	54
5.8.3	Dureza Vickers das moedas brasileiras falsas.....	54
5.8.4	Análise química das moedas brasileiras falsas.....	55
5.8.5	Análise de atração eletromagnética das moedas brasileiras falsas.....	55
5.8.6	Análise Metalográfica das moedas falsas.....	55
5.8.7	Análise de Relevô das moedas falsas.....	57
5.8.7.1	Análise do Relevô do Pannel das moedas falsas.....	57
5.8.7.1.1	Moeda de R\$ 1 falsa.....	57
5.8.7.1.2	Moeda de R\$ 0,25 falsa.....	60
5.8.7.2	Análise do Relevô da Borda das moedas falsas	63
5.8.7.2.1	Moeda de R\$ 1 falsa (antiga)	63
5.8.7.2.2	Moeda de R\$ 0,25	64
5.8.7.3	Análise da moeda de R\$ 1 falsa em corte	65
6	Discussão dos Resultados.....	67
6.1	Massas	67
6.1.1	Relação Massa-Valor	67
6.1.2	Perda de Massa em função do tempo	68
6.2	Análise de Densidades	69
6.3	Análises de Dureza Vickers	69
6.4	Análises Químicas.....	70
6.5	Análise das moedas brasileiras falsas.....	72
6.5.1	Análises de Massa, Densidade e Dureza Vickers	72
6.5.1.1	Moeda de R\$1	72
6.5.1.2	Moeda de R\$ 0,25	72
6.5.2	Análises Químicas.....	73
6.5.3	Análise Metalográfica	73
6.5.4	Análise dos relevos.....	74
6.5.4.1	Análise do Relevô do Pannel	74
6.5.4.1.1	Moeda de R\$ 1	74
6.5.4.1.2	Moeda de R\$ 0,25	76

6.5.4.2	Análise do Relevo das Bordas.....	77
6.5.4.2.1	Moeda de R\$ 1	77
6.5.4.2.2	Moeda de R\$ 0,25	78
6.5.5	Análise das Moedas em Corte.....	78
7	Conclusões	80
7.1	Massas	80
7.1.1	Relação Massa - Valor	80
7.1.2	Perda de Massa das Moedas de £ 1 em função do Tempo.....	80
7.2	Densidades	81
7.3	Dureza Vickers.....	81
7.4	Composição Química.....	81
7.5	Análise das Moedas falsas.....	82
7.5.1	Massas	82
7.5.2	Densidades	82
7.5.3	Dureza Vickers.....	82
7.5.4	Análise Química.....	82
7.5.5	Análise Metalográfica	83
7.5.6	Análise de Relevo Superficial	83
7.5.7	Análise do Relevo das Bordas.....	83
7.5.8	Análise das Moedas em Corte.....	83
8	Bibliografia.....	84

Índice de Figuras

Figura 1 – Moeda de £ 0,01.....	15
Figura 2 – Moeda de £ 0,02.....	15
Figura 3 – Moeda de £ 0,05.....	15
Figura 4 – Moeda de £ 0,10.....	16
Figura 5 – Moeda de £ 0,20.....	16
Figura 6 – Moeda de £ 0,50.....	16
Figura 7 – Moeda de £ 1.....	16
Figura 8 – Moeda de £ 2.....	17
Figura 9 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,01.....	17
Figura 10 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,01.....	17
Figura 11 - Anverso da nova Moeda de R\$ 0,05.....	18
Figura 12 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,05.....	18
Figura 13 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,10.....	18
Figura 14 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,10.....	18
Figura 15 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,25.....	19
Figura 16 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,25.....	19
Figura 17 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,50.....	19
Figura 18 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,50.....	19
Figura 19 – Anverso da nova Moeda de R\$ 1.....	20
Figura 20 – Reverso da nova Moeda de R\$ 1.....	20
Figura 21 - Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,01.....	21
Figura 22 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,01.....	21
Figura 23 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,05.....	21
Figura 24 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,05.....	21
Figura 25 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,10.....	22
Figura 26 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,10.....	22
Figura 27 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,25.....	22
Figura 28 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,25.....	22
Figura 29 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,50.....	23
Figura 30 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,50.....	23
Figura 31 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 1.....	23
Figura 32 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 1.....	23
Figura 33 - Anverso de uma moeda.....	24
Figura 34 - Reverso de uma moeda.....	25
Figura 35 - Disco da parte interna da moeda de R\$ 1 (nova).....	26
Figura 36 - Criação de molde em gesso.....	27
Figura 37 - Pantógrafo.....	28
Figura 38 - Criação do Cunho.....	29
Figura 39 - Cunhagem das Moedas.....	31
Figura 40 - Esquema do cunho da moeda (não está em escala).....	32
Figura 41 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 100x.....	43
Figura 42 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 200x.....	43
Figura 43 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 500x.....	44
Figura 44 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 12x.....	44
Figura 45 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 20x.....	45
Figura 46 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 40x.....	45
Figura 47 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 60x.....	46
Figura 48 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 80x.....	46

Figura 49 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 100x.....	47
Figura 50 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 30x.....	47
Figura 51 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 45x.....	48
Figura 52 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 60x.....	48
Figura 53 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 75x.....	49
Figura 54 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 90x.....	49
Figura 55 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 150x.....	50
Figura 56 - Moeda de R\$ 1 antiga (borda) - Aumento de 50x	50
Figura 57 - Moeda de R\$ 1 antiga (borda)- Aumento de 100x	51
Figura 58 - Moeda de R\$ 0,25 antiga (borda)- Aumento de 50x	51
Figura 59 - Moeda de R\$ 0,25 antiga (borda)- Aumento de 100x	52
Figura 60 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x	52
Figura 61 - Moeda de R\$ 1 borda inferior- aumento de 50x.....	53
Figura 62 - Moeda de R\$ 1 - aumento de 100x.....	53
Figura 63 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 100x.....	55
Figura 64 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 200x.....	56
Figura 65 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 500x.....	56
Figura 66 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 12x.....	57
Figura 67 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 20x.....	57
Figura 68 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 40x.....	58
Figura 69 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 60x.....	58
Figura 70 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 80x.....	59
Figura 71 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 100x.....	59
Figura 72 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 30x.....	60
Figura 73 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 45x.....	60
Figura 74 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 60x.....	61
Figura 75 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 60x.....	61
Figura 76 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 90x.....	62
Figura 77 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 150x.....	62
Figura 78 - Moeda de R\$ 1 falsa (borda) - Aumento de 50x	63
Figura 79 - Moeda de R\$ 1 falsa (borda) - Aumento de 100x	63
Figura 80 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (borda)- Aumento de 50x	64
Figura 81 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (borda)- Aumento de 100x	64
Figura 82 - Moeda de R\$ 1 falsa - borda superior- aumento de 50x.....	65
Figura 83 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x	65
Figura 84 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x	66
Figura 85 – Gráfico Massa x valor das moedas	67
Figura 86 – Gráfico Massa da moeda de £1 x ano de emissão	68
Figura 87 - Moeda verdadeira	Figura 88 - Moeda Falsa..... 74
Figura 89 - Moeda verdadeira	Figura 90- Moeda Falsa..... 75
Figura 91 - Moeda verdadeira	Figura 92 - Moeda Falsa..... 75
Figura 93 - Moeda verdadeira	Figura 94 - Moeda Falsa..... 76
Figura 95 - Moeda verdadeira	Figura 96- Moeda Falsa..... 76
Figura 97 - Moeda verdadeira	Figura 98 - Moeda Falsa..... 77
Figura 99 - Moeda verdadeira	Figura 100 - Moeda Falsa..... 77
Figura 101 - Moeda verdadeira	Figura 102 - Moeda Falsa..... 78
Figura 103 - Moeda verdadeira	Figura 104 - Moeda Falsa..... 79

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Massa das moedas britânicas.....	38
Tabela 2 – Massa das moedas brasileiras novas	38
Tabela 3 – Massa das moedas brasileiras antigas	38
Tabela 4 – Densidade das moedas britânicas	39
Tabela 5 – Densidade das moedas brasileiras novas.....	39
Tabela 6 – Densidade das moedas brasileiras antigas.....	39
Tabela 7 – Dureza das moedas britânicas	40
Tabela 8 – Dureza das moedas brasileiras novas	40
Tabela 9 – Dureza das moedas brasileiras antigas	40
Tabela 10 – Composição das moedas britânicas.....	41
Tabela 11 – Composição das moedas brasileiras novas.....	41
Tabela 12 – Composição química do disco interior da moeda de R\$ 0,01 (nova).....	42
Tabela 13 – Composição das moedas brasileiras antigas.....	42
Tabela 14 – Massa das moedas falsas	54
Tabela 15 – Densidade das moedas falsas	54
Tabela 16 – Dureza das moedas falsas.....	54
Tabela 17 – Composição química das moedas brasileiras falsas	55
Tabela 18 - Densidade das moedas da liga Cu/Ni 75/25.....	69
Tabela 19 - Composição química obtida x Composição química British Royal Mint.....	71
Tabela 20 - Comparação de massa, densidade e dureza. Moeda de R\$ 1	72
Tabela 21 - Comparação de massa, densidade e dureza. Moeda de R\$ 0,25	73
Tabela 22 - Comparação de composição química.....	73

Resumo

Este trabalho analisa as propriedades básicas das moedas brasileiras que estão atualmente em circulação e as propriedades das moedas que circulam no Reino Unido. Propriedades como dureza superficial, densidade, massa, composição química, entre outras são analisadas para efeito de comparação.

São analisadas também moedas brasileiras falsas encontradas em circulação ou cedidas pelo Instituto de Criminalística de São Paulo. As mesmas análises realizadas para as moedas verdadeiras foram realizadas para as moedas falsas, com uma maior ênfase dada às características que permitem diferenciar uma moeda verdadeira de uma moeda falsa.

Apresenta-se também, de forma simplificada, o processo produtivo de moedas no Brasil, processo este levantado com base em visita feita a Casa da Moeda do Brasil.

Agradecimentos

Fiz questão de que este tópico fosse incluído em meu trabalho porque desta maneira quero agradecer formalmente todas as pessoas que fizeram parte de minha vida nestes cinco anos de Politécnica.

O primeiro agradecimento, e as pessoas a quem quero dedicar esta conquista, são meus avôs Paulo e Procópio, pelo exemplo de vida, e as minhas avós, Netinha e Rachel, porque espero, na idade de meus avôs, contar com companheira tão especial ao meu lado.

Agradeço a meu pai, Túlio, e a minha mãe, Lu, pela educação, compreensão, amor e carinho durante toda a vida. Aos meus irmãos André e Thiago que são, além de irmãos muito amados, amigos, cúmplices e companheiros.

Ainda em família, agradeço ao Tio Charles, Tia Leléia e Gatinha, pelo acolhimento e carinho em SP. Responsáveis diretos pelo meu ingresso na facu e amigos para qualquer hora.

Agradecimento especial ao Professor Padilha, pela idéia, suporte e paciência; como ele mesmo disse “João, você está sendo meu orientado mais longo!!!”.

Ao Penazzi e equipe do IC, que me deram uma senhora ajuda para que este trabalho saísse. Ao pessoal da Casa da Moeda (+ o Artur) e ao pessoal do MEV (Francisco e Dudu) meu muito obrigado.

Ao Moraes Rego, de onde vêm amigos para sempre: Alemão, Peruca, Júnão, Binda, Buzeta e Paloma, eternos formadores da Equipe Abóbora. Pessoal da sala, em especial a Solange e ao Alemão pelas milhares de consagrações. Batata, Ju, Gibinha, Samuka, Fred, Lock, Gugu e Formigão eternos parceiros de sexta feira. A Cí, em especial (preciso explicar?).

Amigos do CSL e de meu começo de vida em SP. Bob, Caio, Dudas, Lu, Sylvia, Ale, Cassião que, apesar da distância, sei que basta um telefonema.

Pouso Alegre, reduto dos fins de semana! Zer, Gurila, Dé (e família), Juninho, Tales, Alf, Mauricinho, Brunella pelo companheirismo desde a infância. A Carol e família.

Bom, provavelmente esqueci de diversas pessoas que também merecem meu carinho e agradecimento. O meu obrigado a todos que estiveram comigo nesta batalha e que me ajudaram a vence-la. (Pelo menos até saírem minhas últimas notas....).

João “Jordi” Junqueira

1 Introdução

1.1 História das moedas

“Moeda é uma peça de metal servindo o comércio como instrumento de troca e medida de valor, emitida pelo poder público e marcada com um cunho pertencente a um Estado soberano que lhe imprime um caráter legal”¹. A definição de moeda pode assim ser expressa. A moeda data do século VII a.C., mas antes que atingisse a fase definitiva, ou melhor, clássica, tal como é conhecida hoje, a moeda teve uma longa fase pré-monetária. Por essa razão, ao contrário do que se pensava, a moeda não é tal como existe, o produto de uma invenção genial, mas o resultado de uma longa evolução que durou séculos.¹

A designação moeda vem da palavra latina *moneta*, cuja origem é curiosa. Junto ao templo de Juno, na antiga Roma, foi instalada a primeira oficina do estado para a cunhagem oficial de moedas de prata (269 a. C.). A esta deusa, que tinha a propriedade de advertir o povo romano em tempos difíceis, foi dado o sobrenome de *moneta* (latim *monere* = advertir). Depois da instalação da primeira fábrica para a produção de moedas no templo de Juno e a mando do Senado Romano, o apelido *moneta*, desligado do nome da deusa, passou a designar as peças cunhadas no recinto do templo, nome este que se tornou corrente no fim da República Romana. Com a romanização da maior parte da Europa, a palavra *moneta* ficou adotada para significar dinheiro em todo o mundo romano de então¹.

As qualidades excepcionais dos metais preciosos fizeram deles a substância monetária. Quase inalteráveis, extremamente divisíveis, homogêneos, reunindo em pequeno volume grandes valores, fáceis portanto de transportar, servem melhor do que qualquer outra mercadoria para os usos monetários¹.

O ouro ocupa importante papel na evolução da moeda. Exemplares numismáticos (“numismática é a ciência que estuda a moeda de todos os povos e de todos os tempos, classificando-a, interpretando-a e descrevendo-a sobre vários aspectos”²) dizem que a moeda, no sentido como é conhecida atualmente, surgiu em centros comerciais banhados pelo mar Egeu, no século VII a.C. Nesta época passou-se a usar a moeda metálica, no entanto sem nenhuma marca oficial. As primeiras moedas foram de ouro e prata. O ouro foi causa de disputas e guerras, além de ter sido força motriz de descobertas e colonizações. Desempenhou papel importante na história monetária e ainda hoje é referência monetária apesar de não ser mais utilizado como antes. Podemos perceber a

enorme importância que o ouro teve e tem para a civilização citando Eurípides, poeta grego de tempos remotos e o presidente Hoover dos Estados Unidos em 1933:

“Sobre o homem o ouro têm mais poder que dez mil razões” (Eurípides)

“O ouro é o mais aceitável, prático e honesto veículo para o comércio internacional” (Hoover)

Além do ouro moedas foram cunhadas de diversos metais e ligas dentre os quais podemos citar: prata, cobre, níquel, platina, ferro, chumbo, zinco, estanho, alumínio além das ligas electrum (ouro e prata), bronze, bilhão (cobre, estanho, chumbo e prata), etc.

1.2 Breve histórico das moedas britânicas e brasileiras

O desenvolvimento das moedas britânicas começou com a retirada das legiões romanas no século V. Até então a moeda utilizada era a romana, e moedas locais praticamente não existiam. Nos dois séculos seguintes a saída dos romanos, a condição econômica do Reino Unido é pouco conhecida. Frequentes invasões e a falta de um poder centralizado fez com que nenhuma unidade monetária se desenvolvesse neste período. Algumas moedas datadas do final do século VI são a primeira evidência do desenvolvimento de um sistema monetário anglo-saxão.

O primeiro impulso em direção a criação de uma moeda anglo-saxã veio através do fortalecimento do comércio entre a dinastia Merovíngia, na França, e o sudeste do Reino Unido. As primeiras moedas que podem ser consideradas anglo-saxãs são de ouro e copiadas de moedas merovíngias. As primeiras moedas chegavam a pesar 70 gramas, mas logo foram substituídas por prata e posteriormente por cobre.

A história das moedas britânicas se mistura com a história de sua monarquia. Ao assumir o poder, os novos monarcas emitiam suas próprias moedas, contendo seu rosto ou alguma inscrição referente a sua dinastia estampada. Isto explica a enorme variedade de moedas que podem ser encontradas, principalmente nos últimos cinco séculos. No entanto alguns padrões surgiram há muito tempo, como é o caso do *penny* que é citado pela primeira vez em meados do século VIII.

No Brasil as primeiras moedas nacionais foram cunhadas para a coroação de Dom Pedro I. Até então eram usadas moedas portuguesas, com a efígie de Dom João VI. Com a

independência do Brasil, acelerou-se o processo de produção de moedas, sendo criada uma moeda nacional, muito parecida com a portuguesa.

As moedas cunhadas para a coroação foram rejeitadas pelo imperador e novos cunhos foram criados. As moedas eram feitas em ouro, prata e cobre sendo que este último teve muitos problemas com a falsificação. As moedas de réis (unidade monetária no período) eram cunhadas principalmente na Bahia e no Rio de Janeiro.

Vários sistemas monetários se seguiram. No reinado de Dom Pedro II, mais precisamente em 1860, as antigas moedas de cobre foram substituídas pelo bronze. A liga era composta por 95% de cobre, 4% de estanho e 1% de zinco. Em 1870, surgiram as primeiras moedas que continham níquel em sua composição, com a tradicional composição de 75% cobre e 25% níquel, usada até os dias de hoje.

A proclamação da república não alterou o sistema monetário, tendo sido mantidas as ligas e moedas em uso, alterações foram feitas apenas nos aspectos externos das moedas. Em 1922, com a série de moedas comemorativas do primeiro centenário da independência, foi adotada uma nova liga de cobre e alumínio em substituição a prata. Em 1935 houve grandes mudanças no meio circulante metálico no país. Pesos, composições e novas moedas foram criadas. O ouro deixou de ser usado e as ligas Cobre-Níquel e bronzes de alumínio aumentaram sua participação.

Em 31 de outubro de 1942, deixou de existir a unidade monetária brasileira que tinha por base o mil-réis, para dar lugar ao cruzeiro. Com o aparecimento do cruzeiro no sistema monetário do Brasil moderno, desapareceu o mil réis que acompanhou a vida do Brasil independente na sua infância e na sua adolescência ². As ligas que passaram a ser usadas na composição das moedas foram à liga Cu-8%Al-2%Zn e Cu-12%Ni.

Em 1956 as moedas passaram a ter a composição de alumínio praticamente puro (99,5%).

1.3 A Casa da Moeda do Brasil⁷

A Casa da Moeda do Brasil é uma empresa totalmente estatal. Seus três séculos de existência têm início em 1694, quando foi estabelecida no Brasil Colônia pelos governantes portugueses para fabricar moedas com o ouro proveniente das minerações.

Um ano após a fundação, a cunhagem das primeiras moedas genuinamente brasileiras foi iniciada na cidade de Salvador permitindo assim que fossem progressivamente substituídas as diversas moedas estrangeiras que aqui circulavam.

Após alguns anos de atividade no nordeste do Brasil, foi a CMB transferida para o Rio de Janeiro, então capital da República, operando inicialmente em instalações provisórias e, mais tarde, em amplo e adequado prédio construído na Praça da República, inaugurado em 1868 (hoje pertencente ao Arquivo Nacional). Essa planta foi modernizada no período de 1964 a 1969, com o específico propósito de assegurar a nosso país a auto suficiência na produção de seu meio circulante. Em 1969, para surpresa dos especialistas internacionais, essa meta foi alcançada: cinco diferentes denominações de cédulas brasileiras foram simultaneamente lançadas, estritamente de acordo com o planejamento governamental elaborado em 1967³.

O crescimento da economia brasileira durante anos subseqüentes veio a requerer a expansão da capacidade de produção da empresa. Um novo complexo industrial, que hoje representa um dos maiores do gênero no mundo, foi especificamente projetado, construído e inaugurado em 1983 em Santa Cruz, Zona Oeste do Rio de Janeiro. Essas modernas instalações ocupam cerca de 110.000 metros quadrados de área construída, em uma área de terreno de cerca de 500.000 metros quadrados, dedicando-se à produção de moedas, cédulas e documentos de segurança como selos postais, selos fiscais, passaportes, títulos do governo, bilhetes magnetizados para transportes públicos, cartões telefônicos, documentos de identidade, licenças para conduzir veículos e muitos outros³.

1.4 Ligas usadas atualmente

As ligas cobre-níquel têm grande variedade de usos devido a suas combinações de propriedades físicas e mecânicas e sua resistência a corrosão por água salgada. Seu uso mais antigo foi para a fabricação de moedas, e seu maior uso hoje é para aplicações marinhas, particularmente equipamentos de troca de calor. Alguns outros usos dependem das características não magnéticas das ligas e sua resistência elétrica em comparação com outros metais e ligas. Em geral suas propriedades mecânicas decrescem com a diminuição do teor de níquel. A resistividade elétrica segue o mesmo tipo de variação.

Entre 1850 e 1955 foram usadas mundialmente 65646 toneladas de níquel na fabricação de moedas. A liga que representou a maior parte do níquel consumido foi a

tradicional 75% de cobre e 25% de níquel. Em 1954, esta liga incluía a moeda de cinco centavos americana, 100 francos francesa além da moeda de 50 pences inglesa, sendo que esta última ainda mantém a mesma composição nos dias de hoje. Níquel puro era utilizado em algumas moedas na Índia e na Holanda. Ligas com teores ainda menores de níquel, como, por exemplo, ligas prata-cobre-zinco-5% níquel eram usadas na Suécia e na Austrália. Ligas cobre-alumínio-2% níquel eram usadas na Finlândia e na Dinamarca e ligas cobre-zinco-1% níquel eram usadas no Paquistão, Paraguai e no Reino Unido. Devido ao alto preço e escassez da prata os “dimes” e “quarters” americanos são agora feitos em ligas 75/25 Cobre-Níquel.

Praticamente todas as cupro-níqueis possuem propriedades mecânicas e físicas atraentes e são utilizadas na indústria. Além disso, ainda possuem resistência à corrosão em água salgada. Logo, praticamente todas as composições variando em níquel de 1% a 50% já foram catalogadas e estudadas. No entanto as mais usadas são as ligas cobre-níquel 70/30, 80/20, e 90/10.

Uma outra característica importante destas ligas é que suas propriedades mecânicas são melhores a baixas temperaturas, assim como no caso dos monéis (ligas com maior teor de níquel). Pequenos teores de ferro melhoram tanto as propriedades mecânicas quanto às de resistência à corrosão destas ligas.

As ligas conhecidas como cupro-níqueis são conhecidas como “Kunifers” na Inglaterra, com os números indicando o teor de níquel, como por exemplo “Kunifer 10”, “Kunifer 30”, etc.

O uso das ligas cobre-níquel-zinco data da China antiga. Durante o século XIX, duas ligas, “Neusilber” e “Argentan”, que se pareciam com a prata eram usadas em talheres e utensílios de cozinha. Estas ligas foram desenvolvidas na Alemanha sob o nome de prata alemã (German silver), e foram assim comercializadas até a primeira guerra mundial, quando passaram a ser chamadas de pratas de níquel (nickel silver). Como as ligas não contêm nenhum teor de prata, as antigas denominações destas ligas, como prata alemã e prata de níquel levavam a confusões, mas o nome prata de níquel é fortemente usado na indústria.

A adição de níquel ao latão faz com que a cor amarelada do latão vá diminuindo e a liga tornando-se branca até que com cerca de 12% de níquel a liga já não tem mais a aparência amarelada de latão.

As principais funções do níquel são tornar a peça branca, melhorar as propriedades mecânicas para um dado teor de zinco, e melhorar a resistência à corrosão.

1.5: As atuais moedas em circulação no Reino Unido

As moedas atualmente em circulação no Reino Unido estão apresentadas abaixo:

Moeda de £ 0,01



Figura 1 – Moeda de £ 0,01

Portão de um castelo com correntes, com uma coroa real. Trata-se de uma adaptação do emblema do Rei Henry III⁴

Moeda de £ 0,02



Figura 2 – Moeda de £ 0,02

O emblema do Príncipe de Gales, compreendendo três penas de avestruz dentro de uma grinalda de cruzes e flores de lis com o dizer ICH DIEN (Eu Sirvo)⁴.

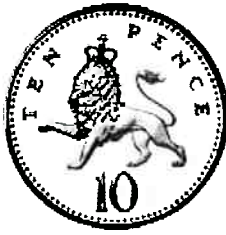
Moeda de £ 0,05



Figura 3 – Moeda de £ 0,05

O emblema da Escócia, um espinho com uma coroa real⁴.

Moeda de £ 0,10



Parte do símbolo(emblema) da Inglaterra, um leão passante com a coroa real⁴.

Figura 4 – Moeda de £ 0,10

Moeda de £ 0,20



O emblema da Inglaterra, a rosa Tudor em forma estilizada e com a coroa real⁴.

Figura 5 – Moeda de £ 0,20

Moeda de £ 0,50



A figura de Brittania sentada⁴

Figura 6 – Moeda de £ 0,50

Moeda de £ 1



O colar Broomfield superposto com uma cruz de pedra
Inscrição no Bordo: DECUS ET TUTAMEN (um ornamento e um salvaguarda)⁴

Figura 7 – Moeda de £ 1

Moeda de £ 2



Figura 8 – Moeda de £ 2

Uma representação simbólica do desenvolvimento da indústria Britânica da idade do ferro a idade dos computadores⁴

Inscrição no Bordo: STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS (mantendo-se nos ombros dos gigantes)⁴

1.6 As moedas em circulação no Brasil

1.6.1 Nova linhagem do Real

Neste trabalho convencionou-se a nomenclatura de “novas moedas do Real” as moedas apresentadas abaixo, que entrarão em circulação em 1998.

Moeda de R\$ 0,01



Figura 9 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,01

Efígie de Pedro Álvares Cabral - navegador português que, em 22 de abril de 1500, descobriu o Brasil -, ladeada por nau, simbolizando as navegações portuguesas⁴



Figura 10 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,01

À esquerda, linhas diagonais de fundo dão destaque ao dístico correspondente ao valor facial, seguido dos dísticos "centavo" e o correspondente ao ano de cunhagem⁴

Moeda de R\$ 0,05



Figura 11 - Anverso da nova Moeda de R\$ 0,05

Effígie de Joaquim José da Silva Xavier (1746-1792), que, condenado à força em decorrência de sua participação no movimento pela independência, denominado Inconfidência Mineira, é hoje reverenciado como herói e patrono cívico da nação brasileira. Sua imagem está ladeada pelo dístico "Brasil" e por motivos alusivos à Inconfidência Mineira - o triângulo da bandeira dos inconfidentes, sobreposto por pássaro que representa a liberdade e a paz⁴



Figura 12 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,05

À esquerda, linhas diagonais de fundo dão destaque ao dístico correspondente ao valor facial, seguido dos dísticos "centavos" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 0,10



Figura 13 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,10

Effígie de D. Pedro I - proclamador da Independência, primeiro imperador do Brasil -, ladeada pelo dístico "Brasil" e por cena alusiva à proclamação da independência política do País, ocorrida em 7 de setembro de 1822, em São Paulo, às margens do ribeirão Ipiranga.⁴



Figura 14 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,10

À esquerda, linhas diagonais de fundo dão destaque ao dístico correspondente ao valor facial, seguido dos dísticos "centavos" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 0,25



Figura 15 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,25

Effígie de Manuel Deodoro da Fonseca (1827-1892), - proclamador da República e primeiro presidente constitucional do Brasil republicano -, ladeada pelas Armas Nacionais e pelo dístico "Brasil".⁴



Figura 16 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,25

À esquerda, linhas diagonais de fundo dão destaque ao dístico correspondente ao valor facial, seguido dos dísticos "centavos" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 0,50



Figura 17 – Anverso da nova Moeda de R\$ 0,50

Effígie de José Maria da Silva Paranhos Júnior (1845-1912), Barão do Rio Branco - estadista, diplomata e historiador brasileiro, considerado o símbolo da diplomacia do Brasil -, está ladeada pelo dístico "Brasil" e por cena alusiva à dinamização da política externa brasileira no início da República e à consolidação dos limites territoriais com vários países.⁴



Figura 18 – Reverso da nova Moeda de R\$ 0,50

À esquerda, linhas diagonais de fundo dão destaque ao dístico correspondente ao valor facial, seguido dos dísticos "centavos" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 1



Figura 19 – Anverso da nova Moeda de R\$ 1

Efígie da República à direita do núcleo prateado (disco interno) e transpassando para o anel dourado (disco externo), assim posicionada constitui um dos elementos de segurança da moeda de maior denominação. No anel dourado, referência às raízes étnicas brasileiras, representada pelo grafismo encontrado em cerâmicas indígenas de origem marajoara, e a legenda "Brasil".⁴



Figura 20 – Reverso da nova Moeda de R\$ 1

No anel dourado, a repetição do grafismo indígena marajoara. No núcleo prateado, esfera sobreposta por uma faixa de júbilo, que, com a constelação do Cruzeiro do Sul, faz alusão ao Pavilhão Nacional, e os dísticos correspondentes ao valor facial e ao ano de cunhagem.⁴

1.6.2 Moedas da antiga linhagem do Real

As moedas do Real foram lançadas em 1994 e eram produzidas todas em um mesmo material. Possuem relevo pouco artístico e para sua produção foram usadas as mesmas matrizes que eram utilizadas para o Cruzeiro. Neste trabalho convencionou-se chamar tais moedas como “antigas moedas do Real”.

A série de moedas do Real que foi cunhada até 1997 está apresentada abaixo:

Moeda de R\$ 0,01



Figura 21 - Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,01

À direita, a efígie representativa da República, ladeada por representação estilizada de ramo de louros. Na parte inferior, a inscrição "BRASIL".⁴



Figura 22 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,01

Inscrição indicativa de valor, ladeada por ramos de louros. Abaixo, os dísticos "centavo" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 0,05



Figura 23 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,05

À direita, a efígie representativa da República, ladeada por representação estilizada de ramo de louros. Na parte inferior, a inscrição "BRASIL".⁴



Figura 24 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,05

Inscrição indicativa de valor, ladeada por ramos de louros. Abaixo, os dísticos "centavo" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 0,10



Figura 25 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,10



Figura 26 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,10

Moeda de R\$ 0,25



Figura 27 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,25



Figura 28 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,25

Moeda de R\$ 0,50



Figura 29 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 0,50

À direita, a efígie representativa da República, ladeada por representação estilizada de ramo de louros. Na parte inferior, a inscrição "BRASIL".⁴



Figura 30 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 0,50

Inscrição indicativa de valor, ladeada por ramos de louros. Abaixo, os dísticos "centavo" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

Moeda de R\$ 1



Figura 31 – Anverso da antiga Moeda de R\$ 1

À direita, a efígie representativa da República, ladeada por representação estilizada de ramo de louros. Na parte inferior, a inscrição "BRASIL".⁴



Figura 32 – Reverso da antiga Moeda de R\$ 1

Inscrição indicativa de valor, ladeada por ramos de louros. Abaixo, os dísticos "Real" e o correspondente ao ano de cunhagem.⁴

2 O Processo Produtivo das Moedas Brasileiras

Conforme citado na introdução deste trabalho, a Casa da Moeda do Brasil é responsável pelo fornecimento de moedas para o Banco Central do Brasil que se encarrega de colocá-las em circulação. Em visita realizada à Casa da Moeda do Brasil, foram levantados os aspectos principais do processo produtivo para que o leitor pudesse entender melhor o processo de fabricação e identifique seus principais pontos e particularidades.

A Casa da Moeda estabelece uma nomenclatura para as diferentes partes de uma moeda, sendo estas a Orla, o Bordo e o Painel. A Figura 33 e a Figura 34 abaixo apresentadas mostram esta divisão:

anverso



Figura 33 - Anverso de uma moeda

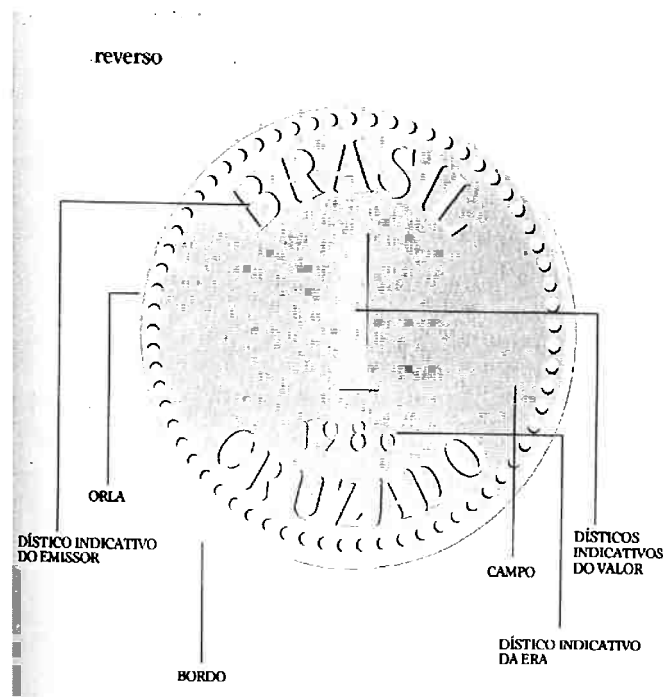


Figura 34 - Reverso de uma moeda

No painel fica o relevo da moeda, que é obtido após a cunhagem. A orla tem como objetivo proteger o cunho e o bordo pode ser usado como elemento de segurança, como no caso das moedas serrilhadas e com inscrições. No caso das moedas brasileiras antigas não era possível que inscrições ou serrilhas fossem feitos no bordo devido a menor processabilidade do aço inoxidável.

As moedas novas de R\$ 0,10 e R\$0,25 possuem serrilha, enquanto que a moeda de R\$1 possui serrilha setorial. Já a moeda de R\$ 0,50 possui uma inscrição no bordo. Estes elementos de segurança, além de dificultarem a falsificação facilitam a identificação da moeda pelo idoso ou pelo deficiente físico.

Os detalhes presentes no painel da moeda também visam evitar a falsificação. São alternados picos e vales para que se dificulte a precisão na falsificação das moedas.

2.1 O Disco

O disco de metal não é produzido na Casa da Moeda do Brasil, sendo que esta terceiriza este processo e o disco já chega acabado a casa da moeda.

A produção do disco envolve, simplificada, os seguintes passos:

1. Placas de metal são cortadas em formas de disco no diâmetro solicitado
2. Tambores rotativos rebarbam os discos

3. Os discos são pressionados contra uma ferramenta curva que dá o formato e altura da orla incluindo, nos casos em que existe, a inscrição presente na mesma
4. Os discos de aço são oleados para evitar a oxidação
5. Os discos são transportados para a Casa da Moeda do Brasil

Vale notar que nesta primeira etapa já é feita a orlagem da moeda, sendo que as inscrições são feitas nesta etapa do processo. O disco da moeda de R\$ 1 possui uma orla com uma peculiaridade conforme apresentado na Figura 35 abaixo:



Figura 35 - Disco da parte interna da moeda de R\$ 1 (nova)

Neste caso o disco possui uma "entrada" para que durante a cunhagem o material possa fluir para esta entrada garantindo que o anel externo e o disco interno mantenham-se juntos.

2.2 A criação da Matriz ou Punção

A matriz ou Punção é a ferramenta utilizada para a criação dos cunhos, ou seja, de uma mesma matriz podem ser criadas diversas ferramentas para cunhagem. Esta matriz é mantida guardada em um cofre de matrizes para que no caso da necessidade da criação de novos cunhos estes sejam feitos sempre a partir da mesma matriz, garantindo uniformidade a diferentes séries de uma mesma moeda. Na matriz não existe o dístico indicativo da era, sendo este peculiar de cada um dos cunhos.

A criação da matriz envolve diversas etapas e trata-se de uma das principais etapas em todo o processo de criação de uma moeda. Simplificadamente o processo está descrito abaixo:

1. Criação do molde em gesso

O artista vencedor de um concurso organizado pelo Banco Central do Brasil cria em gesso uma moeda de aproximadamente 30 cm de diâmetro, sendo que inicialmente cria o modelo "cavado" no gesso e posteriormente um macho da futura moeda ainda em gesso.

Sobre este molde é colocada uma resina acrílica, que após a secagem é deslocada do gesso, retornando o trabalho às características em negativo e em material de maior dureza.



Figura 36 - Criação de molde em gesso

2. Pantografia

A técnica de redução pantográfica é utilizada para reduzir de forma tridimensional as características de um modelo. Essa redução é proporcional e rigorosamente igual ao modelo submetido, modelo este que deverá ser de dimensões de quatro a seis vezes maior do que o trabalho resultante da cópia pantográfica.

O pantógrafo possui duas pontas: a ponta de leitura que percorre toda a área do modelo, "lendo-o" em toda sua extensão, e a ponta de corte, isto é, a ferramenta que corta o tarugo de aço de forma proporcional ao modelo e em situação tridimensional.

Surge assim a matriz que será utilizada para a produção do punção.

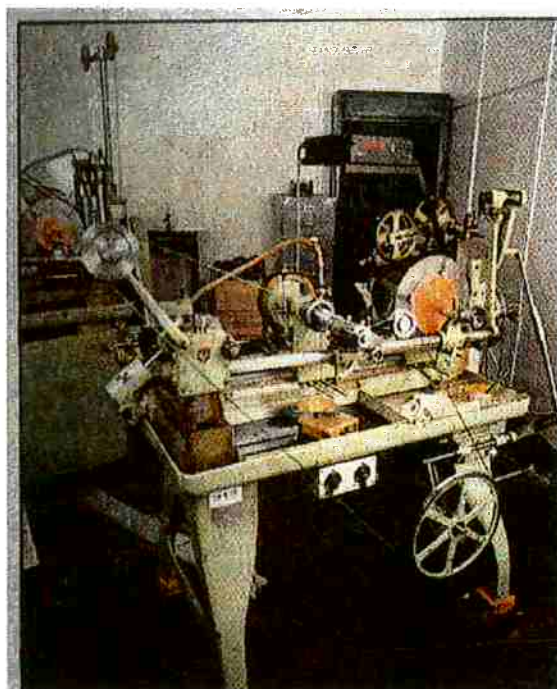


Figura 37 - Pantógrafo

3. Torneamento

A matriz é então levada ao torno para que sejam conferidas as medidas externas da matriz e a profundidade da orla e são efetuados eventuais retoques com uso de microscópio.

4. Tratamento térmico do aço ferramenta da matriz

A matriz é então temperada para que sua dureza seja elevada e possa ser usada na fabricação do cunho.

5. Criação do Punção

Através da ação de uma prensa hidráulica a gravura em cavado é transformada em relevo. Esta prensa trabalha com uma pressão de 800 toneladas.

6. Tratamento Térmico do Punção

Assim como a matriz, o punção passa por tratamento térmico para que tenha sua dureza elevada.

2.3 O Cunho

Uma vez criado o punção a partir de uma matriz, dá-se a criação do cunho. Diversos cunhos podem ser criados a partir de um mesmo punção.

1. Criação do Cunho

Uma prensa de 800 toneladas pressiona aço ferramenta recozido em forma de cone contra o punção, sendo que este aço recozido fica com a fêmea da moeda.

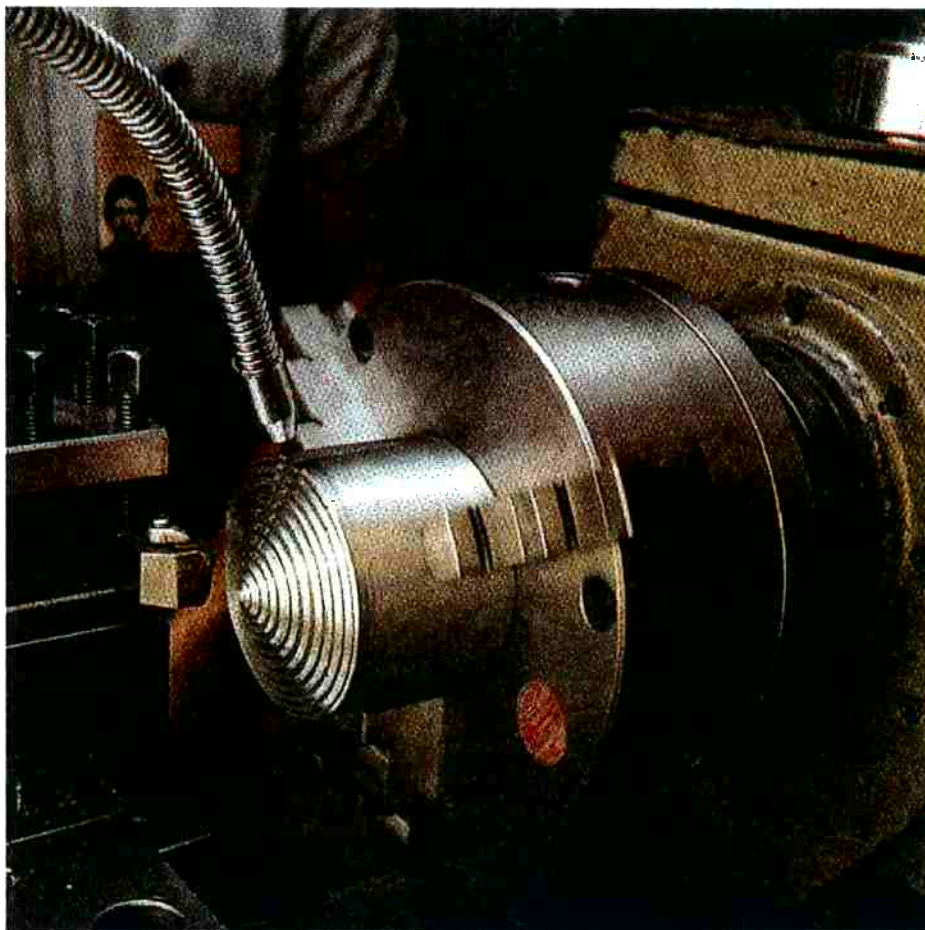


Figura 38 - Criação do Cunho

2. Usinagem

Caso necessário, o cunho é usinado visando obter as melhores características possíveis para a cunhagem das moedas.

Todo o procedimento descrito acima deve ser realizado para o verso e o reverso da moeda.

2.4 Eletrodeposição

O processo de produção de moedas eletrorevestidas surgiu em 1977, no entanto moedas semelhantes já eram produzidas utilizando-se o Clad, como nas moedas Alemãs. As novas moedas do Real são produzidas com diferentes materiais sendo que com exceção da moeda de R\$1 e a moeda de R\$ 0,50, todas as demais são eletrorevestidas. O processo de eletrorevestimento cria uma camada de cerca de 30 micrômetros na moeda, o que significa para, por exemplo, o caso da moeda de R\$ 0,05, apenas 4-5% de seu peso.

A renovação das moedas em circulação no Brasil teve como fator influenciante a pressão por parte dos fabricantes de máquinas de venda automática que exigiam que novas matrizes para as moedas fossem criadas, uma vez que, quando da emissão das primeiras moedas do Real em 1994, as matrizes utilizadas para moedas de Cruzeiros foram reaproveitadas, o que facilitava a fraude em máquinas de venda automática. O uso do ferramental antigo e a facilidade de falsificação das moedas brasileiras antigas foram fatores determinantes na decisão de se substituir às moedas em aço inoxidável pelas moedas eletrorevestidas da nova série do Real. O processo de eletrorevestimento foi comprado via licitação e uma empresa canadense foi a vencedora tendo seu processo incorporado pela Casa da Moeda do Brasil, desde 1997.

O processo de eletrodeposição se divide em várias etapas e não está aberto para visitas, cláusula de contrato quando da aquisição do processo. As informações sob as etapas do processo são mantidas em segredo e uma explicação simplificada de suas etapas está apresentada abaixo:

1. Lavagem em banho para retirada do óleo dos discos realizada com sabão alcalino
2. Segunda lavagem, realizada agora com polaridade invertida
3. Banho em água
4. Decapagem com solução decapante
5. Lavagem tripla
6. Banhos galvanizados

Nos casos das moedas de Cobre, utiliza-se eletrodos de Cobre e aço em um banho cianídrico, no caso das moedas de bronze, o estanho vem da solução

7. Secagem
8. Tratamento térmico

Este tratamento garante a difusão do material eletrodepositado para o aço no interior da moeda, garantido a "soldagem" entre o disco e o material eletrodepositado

2.5 A Cunhagem

O processo é feito por máquinas automáticas que são alimentadas com os discos comprados pela Casa da Moeda. As máquinas existentes na Casa da Moeda do Brasil possuem as capacidades de 400 e 800 golpes por minuto e trabalham com uma pressão de 200 toneladas.



Figura 39 - Cunhagem das Moedas

A Virola é responsável para que a altura da orla e o diâmetro da moeda sejam mantidos e nos casos em que as moedas são serrilhadas, a serrilha é criada por esta.

Nos casos das moedas de R\$ 1, a alimentação do anel externo e do disco interno é feita separadamente na máquina de cunhagem. O formato do disco permite que durante a prensagem, o material do anel flua para a cavidade existente no disco, garantindo que o disco fica preso ao anel para pressões de até 300kg.

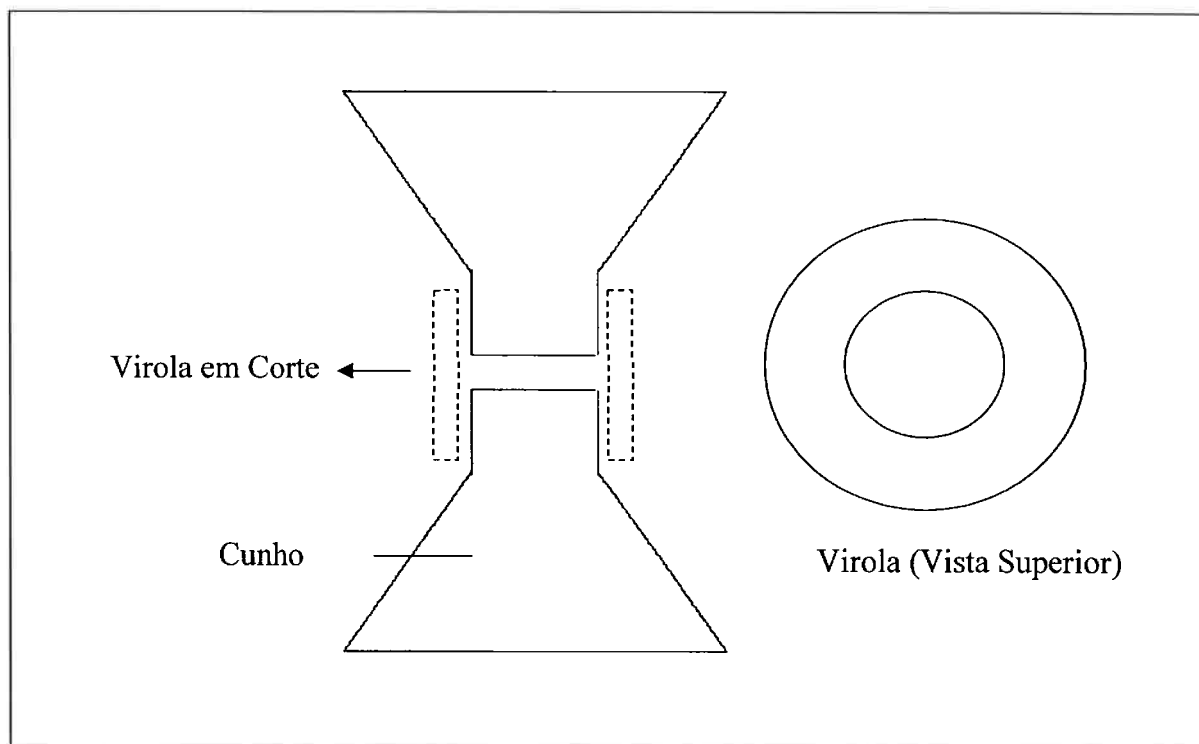


Figura 40 - Esquema do cunho da moeda (não está em escala)

Após a cunhagem as moedas passam por um polimento para então serem estocadas e enviadas ao Banco Central do Brasil.

3 Objetivos

Este trabalho tem o objetivo de estudar as moedas que estão atualmente em circulação no comércio brasileiro e compará-las com as moedas britânicas, além de procurar identificar eventuais características de moedas brasileiras falsas.

O estudo de propriedades físicas, químicas e mecânicas encontra-se dentro do escopo definido para este trabalho, visando comparar as moedas brasileiras com as moedas britânicas e com as moedas falsas encontradas em circulação.

Dentro do estudo das moedas britânicas, foi também objetivo deste trabalho procurar identificar uma correlação entre ano de emissão e perda de massa para as moedas britânicas de £1.

Em resumo:

Análise de Propriedades

- Analisar propriedades físicas, químicas e mecânicas das moedas brasileiras
- Analisar propriedades físicas, químicas e mecânicas das moedas britânicas
- Identificar eventuais diferenças nas propriedades destas moedas

Correlação Perda de Massa – Ano de Emissão

- Estabelecer uma relação entre perda de massa e ano de emissão para as moedas britânicas de £ 1

Análise de Moedas Falsas

- Analisar propriedades físicas, químicas e mecânicas das moedas brasileiras falsas
- Identificar variações de propriedades entre as moedas verdadeiras e as moedas falsas
- Identificar eventuais características que permitam identificar uma moeda brasileira falsa

4 Materiais e Métodos

Foram utilizadas neste trabalho moedas britânicas de todos os valores em circulação no Reino Unido, assim como todas as moedas brasileiras emitidas após o início do plano Real.

Além das moedas verdadeiras foram usadas moedas brasileiras falsas de R\$ 1 (duas moedas) e de R\$ 0,25 (uma moeda), todas da antiga série de moedas do Real e obtidas junto a pessoas que souberam da iniciativa deste trabalho.

4.1 Limpeza das moedas

Todas as moedas foram submetidas a uma limpeza em um equipamento de ultra-som por 30 minutos. Junto à água foi adicionado um pouco de detergente para que a limpeza fosse de melhor qualidade.

Tal procedimento visou preparar as moedas para a observação em microscópio eletrônico e para atenuar eventuais desvios nas medidas de massa e densidade.

4.2 Massa

As moedas tiveram então sua massa medida em uma balança analítica digital. Todas as moedas foram pesadas duas vezes para assegurar maior confiabilidade aos resultados.

4.3 Densidade

Dois métodos foram utilizados para a obtenção da densidade das moedas:

- Método de determinação de massa e volume
- Método hidrostático

Tentou-se obter a densidade calculando-se o volume das moedas com o auxílio de um paquímetro. Obtiveram-se valores para os diâmetros e espessuras de forma que se calculou o volume pela Equação 1:

$$V = (\pi d^2 / 4) \times h \quad \text{Equação 1}$$

Onde d é o diâmetro médio e h a espessura média.

Os valores de densidade foram posteriormente obtidos dividindo-se a massa pelo volume obtido. No entanto estes valores não são sequer apresentados neste trabalho por serem muito imprecisos conforme discutido.

Usou-se também o método hidrostático para a determinação de densidade. As moedas eram colocadas uma a uma na “cesta”, a qual fica submersa em água, assim obtinha-se a massa da moeda imersa em água. Usando-se princípios da hidrostática e considerando-se a densidade da água constante e igual a 1(ou seja, desconsiderando-se eventuais variações devido à temperatura ou qualquer outra causa) obtinha-se o valor da densidade através das equações 2, 3 e 4:

$$\text{Massa real} - \text{Massa água} = \text{Empuxo} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Empuxo} / \text{Massa real} = \rho_{\text{moeda}} V g / \rho_{\text{água}} V g \quad \text{Equação 3}$$

Logo:

$$\text{Empuxo} / \text{Massa real} = \rho_{\text{moeda}} \quad \text{Equação 4}$$

Os valores de densidade calculados por este segundo método são os apresentados no capítulo de resultados.

4.4 Microdureza Vickers

A dureza das moedas também é considerada uma característica importante para identificar diferenças de propriedades, uma vez que a resistência à abrasão está relacionada a este conceito. Após o estudo de todas as possíveis escalas de dureza que poderiam ser utilizadas concluiu-se que a microdureza Vickers seria a mais adequada para a medida de dureza de moedas, uma vez que o interesse é na dureza superficial das moedas.

As moedas foram fixadas uma a uma no equipamento e uma carga de 100 gramas foi utilizada nos ensaios. Depois de perfurada, a diagonal do losango era medida com o auxílio de um microscópio ótico. Com o valor da medida da diagonal consultava-se uma tabela fornecida pela firma fabricante do aparelho e o valor da microdureza Vickers era anotado. Cada moeda teve sua dureza medida 5 vezes para assegurar maior precisão aos resultados.

4.5 Análises químicas

Posteriormente foi feita a análise química das moedas para que sua composição fosse obtida. Utilizo-se para isto o equipamento EDX do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Uma moeda de cada valor foi analisada (britânicas e brasileiras), e as que apresentavam anéis externos tiveram seus anéis analisados também.

O disco interno das moedas da nova série do Real também teve sua composição analisada, tendo sido cortada uma moeda de R\$ 0,01 para tal análise.

No caso das moedas brasileiras antigas, apenas a moeda de R\$ 1 foi analisada uma vez que todas as demais são feitas do mesmo material.

4.6 Análise magnética

Foi verificada também se as moedas eram magnéticas. Usando-se um ímã verificou-se se as moedas eram atraídas por este.

4.7 Metalografia

Para as moedas de R\$ 1,00 da primeira série do Real, foi realizado um ensaio metalográfico para que tanto a moeda falsa quanto a verdadeira fossem analisadas.

O corpo de prova foi cedido pelo Instituto de Criminalística de São Paulo e tanto a moeda falsa quanto a verdadeira já se encontravam embutidas em resina polimérica. Foi feito um novo polimento e as moedas foram atacadas com Vilella, uma vez que sabia-se tratar de um aço inoxidável.

Uma vez atacadas as moedas foram observadas em microscópio óptico e fotografadas, sendo que os resultados desta análise estão apresentados no capítulo de discussão de resultados.

4.8 Análise de Relevo

As moedas da primeira linhagem do Real falsas e verdadeiras foram observadas em microscópio eletrônico de varredura para que eventuais diferenças de relevo pudessem vir a ser identificadas.

Foram analisadas regiões específicas das moedas para que comparações pudessem ser feitas. Escolheu-se a região da letra "E" que encontra-se no reverso das moedas brasileiras no dístico que indica a moeda (Real).

As moedas foram fotografadas sob diversos aumentos para que as diferenças de desgaste e qualidade de relevo fossem identificadas.

Analisou-se também o relevo das bordas destas moedas, uma vez que era nítida a diferença a olho nu entre a moeda considerada falsa e a verdadeira.

4.9 Análise das moedas em corte

Obteve-se junto ao Instituto de Criminalística um corpo de prova contendo uma moeda brasileira da primeira série do Real verdadeira e uma falsa, cortadas ao meio e embutidas em baquelite.

Os corpos de prova foram então observados em microscópio óptico, sob pequeno aumento para que diferenças fossem observadas.

5 Resultados Obtidos

5.1 Análise de Massas

5.1.1 Moedas britânicas

Tabela 1 – Massa das moedas britânicas

Moeda	£ 0.01	£ 0.02	£ 0.05	£ 0.10	£ 0.20	£ 0.50	£ 1	£ 2
Massa média (g)	3.55	7.11	3.26	6.44	4.98	8.00	9.46	11.95
Desvio Padrão	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04

A Tabela 1 apresenta a massa das moedas britânicas usadas atualmente.

5.1.2 Moedas brasileiras

5.1.2.1 Moedas brasileiras novas

Tabela 2 – Massa das moedas brasileiras novas

Moeda	R\$ 0.01	R\$ 0.05	R\$ 0.10	R\$ 0.25	R\$ 0,50	R\$ 1
Massa média (g)	2.43	4.09	4.78	7.55	9.22	7.84
Desvio Padrão	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.06

A Tabela 2 apresenta a massa das moedas brasileiras novas que estão em circulação desde 1997.

5.1.2.2 Moedas brasileiras antigas

Tabela 3 – Massa das moedas brasileiras antigas

Moeda	R\$ 0.01	R\$ 0.05	R\$ 0.10	R\$ 0.25	R\$ 0,50	R\$ 1
Massa média (g)	2.98	3.27	3.60	4.74	3.93	4.26
Desvio Padrão	0.04	0.09	0.03	0.11	0.09	0.10

A Tabela 3 apresenta a massa das moedas brasileiras antigas que estão em circulação desde 1994.

5.2 Análise de Densidades

5.2.1 Moedas britânicas

Tabela 4 – Densidade das moedas britânicas

Moeda	£ 1	£ 0,50	£ 0,20	£ 0,10	£ 0,05	£ 0,02	£ 0,01
Densidade (g/cm ³)	7.32	9.01	9.02	8.95	8.79	8.38	8.32
Desvio Padrão	0.24	0.01	0.04	0.04	0.14	0.56	0.53

A Tabela 4 apresenta a densidade das moedas britânicas usadas atualmente em gramas por centímetro cúbico.

5.2.2 Moedas brasileiras

5.2.2.1 Moedas brasileiras novas

Tabela 5 – Densidade das moedas brasileiras novas

Moeda	R\$ 0,50	R\$0,25	R\$0,10	R\$0,05	R\$0,01
Densidade (g/cm ³)	8.96	8.09	8.07	7.80	7.94
Desvio Padrão	0.09	0.48	0.67	0.09	0.45

A Tabela 5 apresenta a densidade das moedas brasileiras novas em gramas por centímetro cúbico.

5.2.2.2 Moedas brasileiras antigas

Tabela 6 – Densidade das moedas brasileiras antigas

Densidade (g/cm ³)	7,71
Desvio padrão	0,59

A Tabela 6 apresenta a densidade das moedas brasileiras antigas em gramas por centímetro cúbico.

5.3 Análise de Durezas Vickers

5.3.1 Moedas britânicas

Tabela 7 – Dureza das moedas britânicas

Moeda	£ 2 (I)	£ 2 (E)	£ 1	£ 0,50	£ 0,20	£ 0,10	£ 0,05	£ 0,02	£ 0,01
Dureza média (HV)	176.20	184.25	205.08	181.40	163.46	160.00	164.30	116.40	133.87
Desvio Padrão	15.00	16,19	22,09	10.50	12.07	13.97	21.65	9.55	17.77

A Tabela 7 apresenta a dureza das moedas britânicas usadas atualmente, sendo que no caso da moeda de £ 2 é apresentada a dureza da parte interna (£ 2 (I)) e da parte externa (£ 2 (E)).

5.3.2 Moedas brasileiras

5.3.2.1 Moedas brasileiras novas

Tabela 8 – Dureza das moedas brasileiras novas

Moeda	R\$ 1 (Interna)	R\$ 1 (Externa)	R\$ 0,50	R\$0,25	R\$0,10	R\$0,05	R\$0,01
Dureza média (HV)	152,9	124,84	160,20	205,6	194,10	102,71	110,96
Desvio Padrão	14,81	22,13	9,94	18,27	21,62	9,07	6,93

A Tabela 8 apresenta a dureza das moedas brasileiras novas sendo que para a moeda de R\$1 são apresentadas as durezas da parte interna e do disco externo da moeda.

5.3.2.2 Moedas brasileiras antigas

Tabela 9 – Dureza das moedas brasileiras antigas

Dureza média (HV)	182,50
Desvio padrão	17,16

A Tabela 9 apresenta a dureza das moedas brasileiras antigas.

5.4 Análises Químicas

5.4.1 Moedas britânicas

Tabela 10 – Composição das moedas britânicas

Moedas	Composição		
	% Cu	%Ni	%Zn
£ 0,01	99,1	0,9	-
£ 0,02	99,5	0,5	-
£ 0,05	72,6	27,4	-
£ 0,10	73,1	26,9	-
£ 0,20	79,7	20,3	-
£ 0,50	78,7	21,3	-
£ 1	80,0	8,9	11,1
£ 2 (Interna)	78,7	21,3	-
£ 2 (Externa)	84,0	3,9	12,1

A Tabela 10 apresenta a composição química das moedas britânicas.

5.4.2 Moedas brasileiras

5.4.2.1 Moedas brasileiras novas

Tabela 11 – Composição das moedas brasileiras novas

Moedas	Composição			
	% Cu	%Ni	%Zn	%Sn
R\$ 0,01	99,7	-	-	-
R\$ 0,05	99,9	-	-	-
R\$ 0,10	91,1	-	-	8,8
R\$ 0,25	92,3	-	-	7,6
R\$ 0,50	69,4	30,5	-	-
R\$ 1 (Interna)	77,6	22,3	-	-
R\$ 1 (Externa)	70,6	4,5	24,6	-

A Tabela 11 apresenta a composição química das moedas brasileiras novas obtidas através de análise química em microscópio eletrônico de varredura.

Tabela 12 – Composição química do disco interior da moeda de R\$ 0,01 (nova)

	Composição			
	%Fe	% Mn	%Si	%Ni
R\$ 0,01	99,2	0,4	0,3	0,1

A Tabela 12 acima apresenta a composição química do disco interior das moedas brasileiras da nova linhagem do Real.

5.4.2.2 Moedas brasileiras antigas

Tabela 13 – Composição das moedas brasileiras antigas

Moeda	Composição			
	%Fe	%Cr	%Si	%Mn
R\$ 1	81,9	15,6	1,5	0,7

A Tabela 13 apresenta a composição química da moeda brasileira antiga da moeda de R\$ 1 . Neste caso esta composição representa toda a família tendo em vista que todas as moedas brasileiras antigas eram cunhadas com a mesma liga.

5.5 Análises de Atração Eletromagnética

5.5.1 Moedas britânicas

Apenas a moeda de £ 0,02 foi atraída magneticamente pelo imã.

5.5.2 Moedas brasileiras

5.5.2.1 Moedas brasileiras novas

Com exceção das moedas de R\$ 1 e R\$ 0,50, todas as demais foram atraídas pelo imã.

5.5.2.2 Moedas brasileiras antigas

Todas as moedas foram atraídas pelo imã.

5.6 Análises Metalográficas

5.6.1 Moeda de R\$ 1 (antiga)

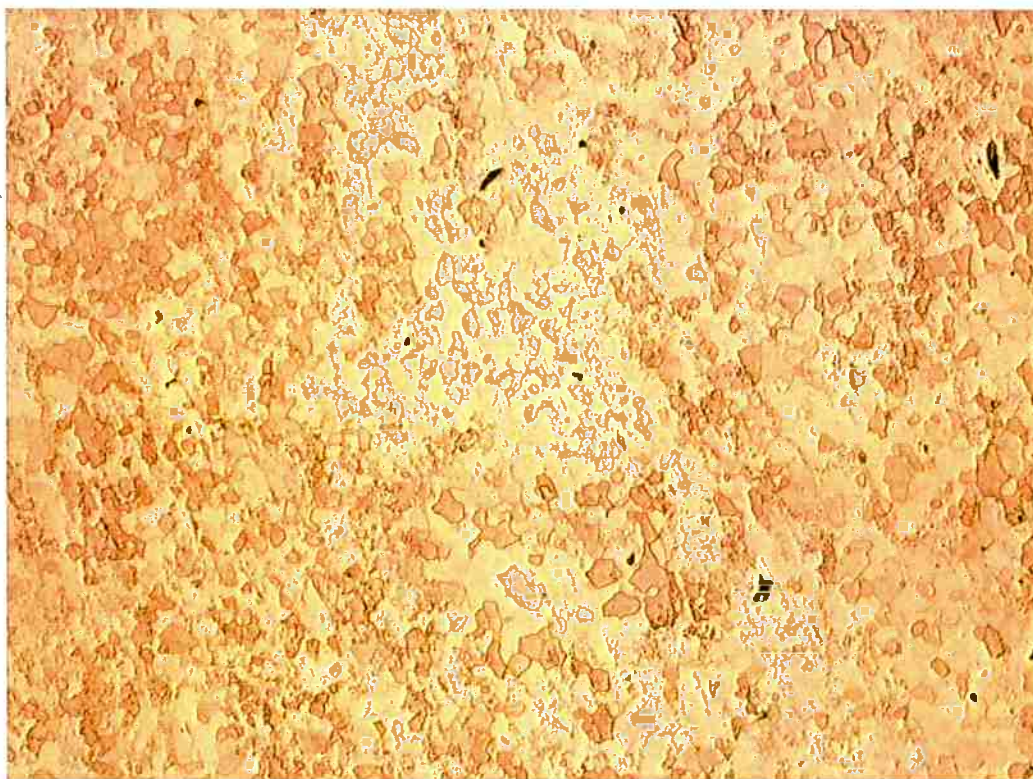


Figura 41 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 100x

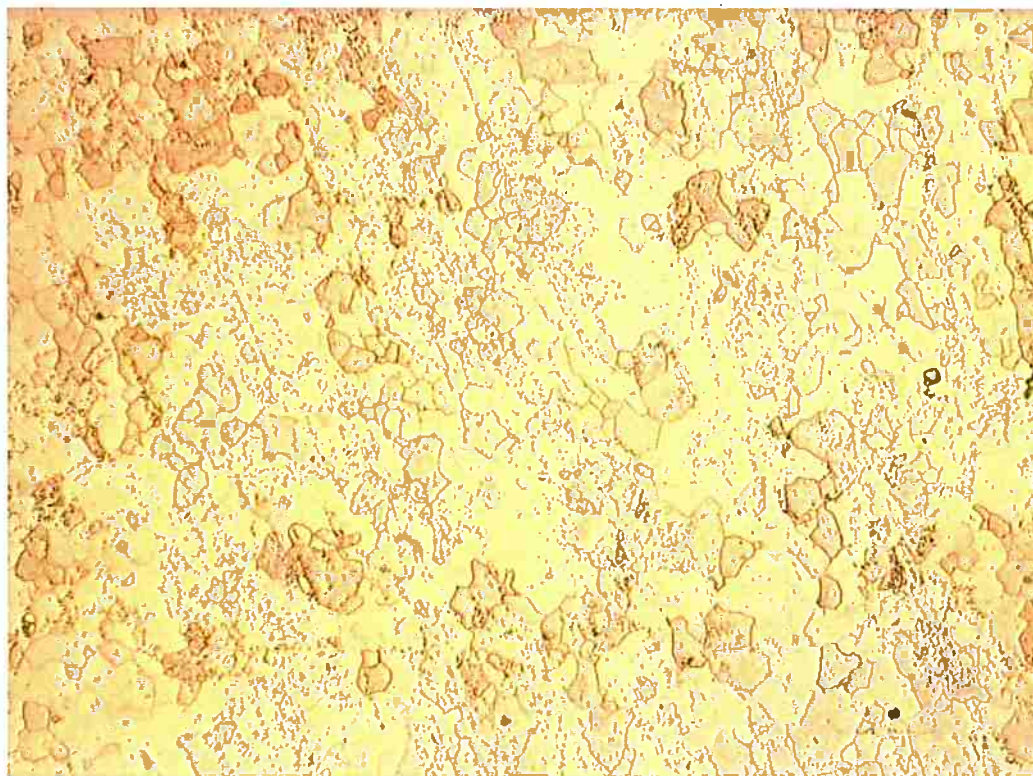


Figura 42 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 200x



Figura 43 - Moeda brasileira antiga de R\$ 1 - Aumento de 500x

5.7 Análises de Relevô

5.7.1 Análises do Relevô do Painel

5.7.1.1 Moeda de R\$ 1 (antiga)



Figura 44 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 12x

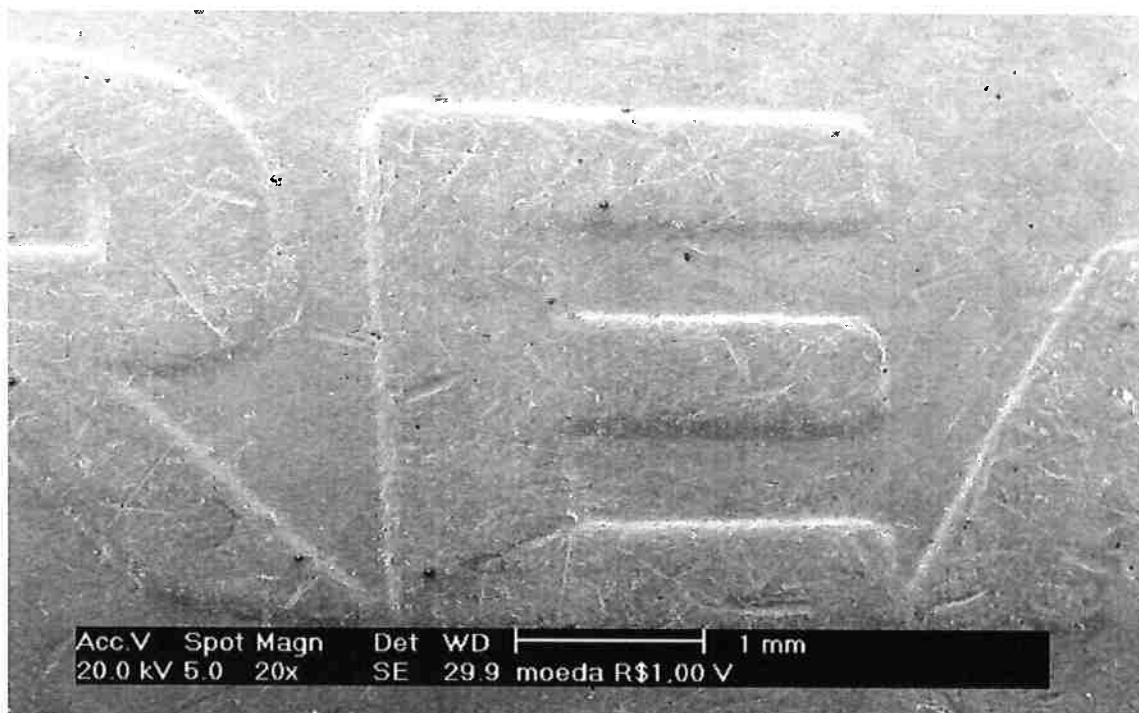


Figura 45 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 20x

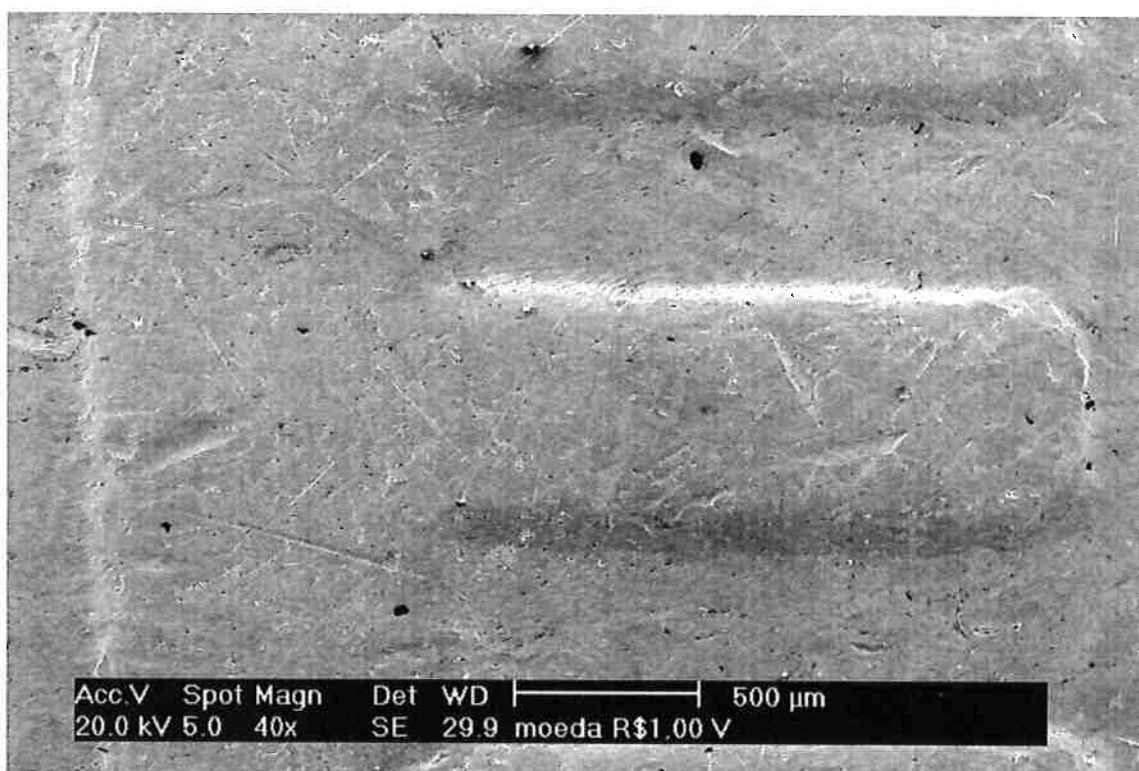


Figura 46 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 40x

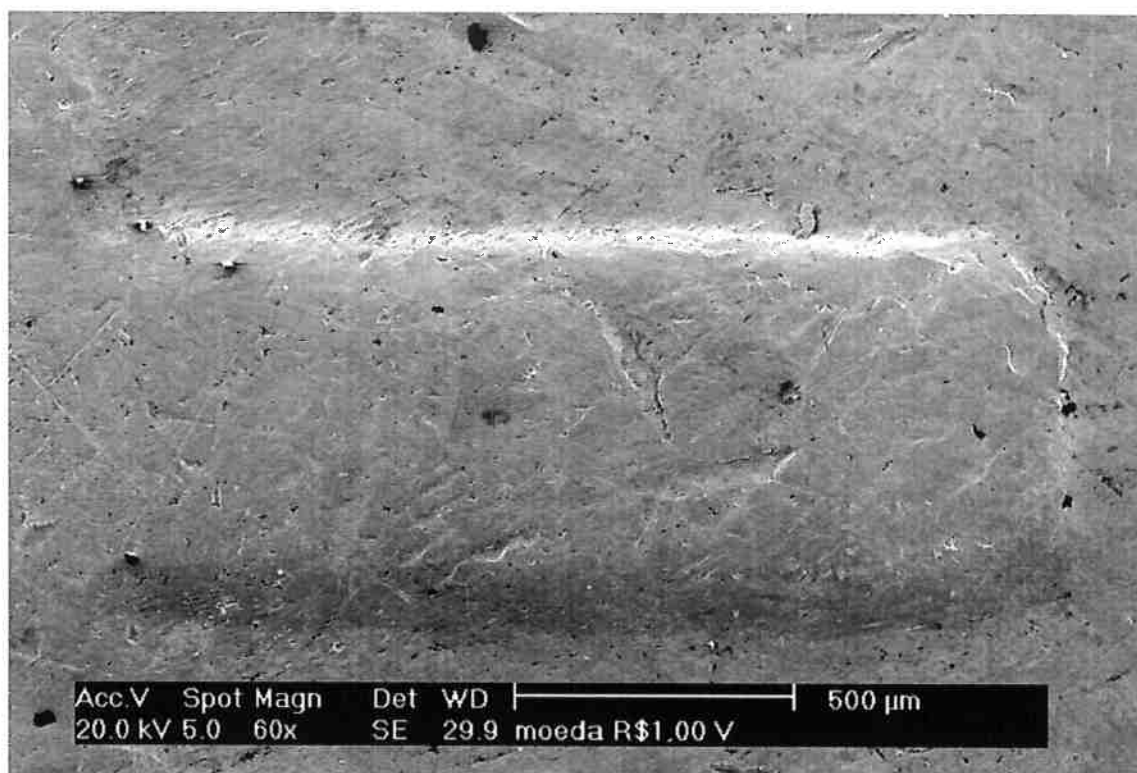


Figura 47 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 60x

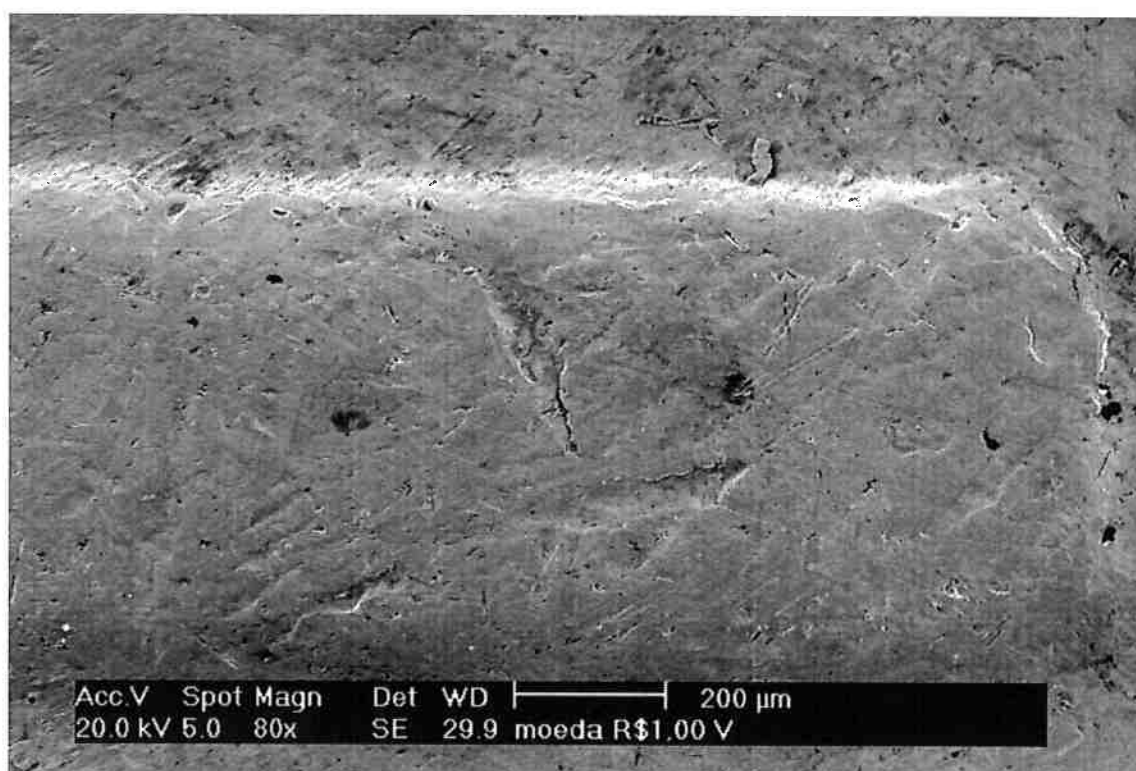


Figura 48 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 80x

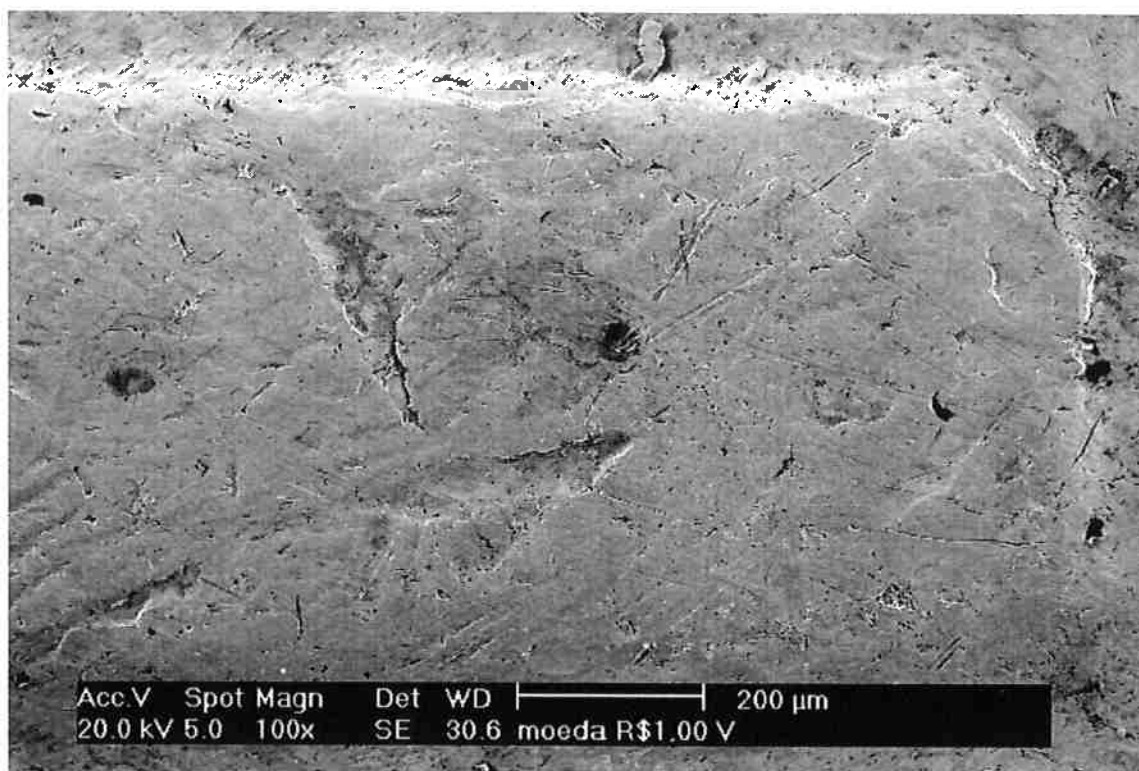


Figura 49 - Moeda de R\$ 1 antiga - Aumento de 100x

5.7.1.2 Moeda de R\$ 0,25 (antiga)

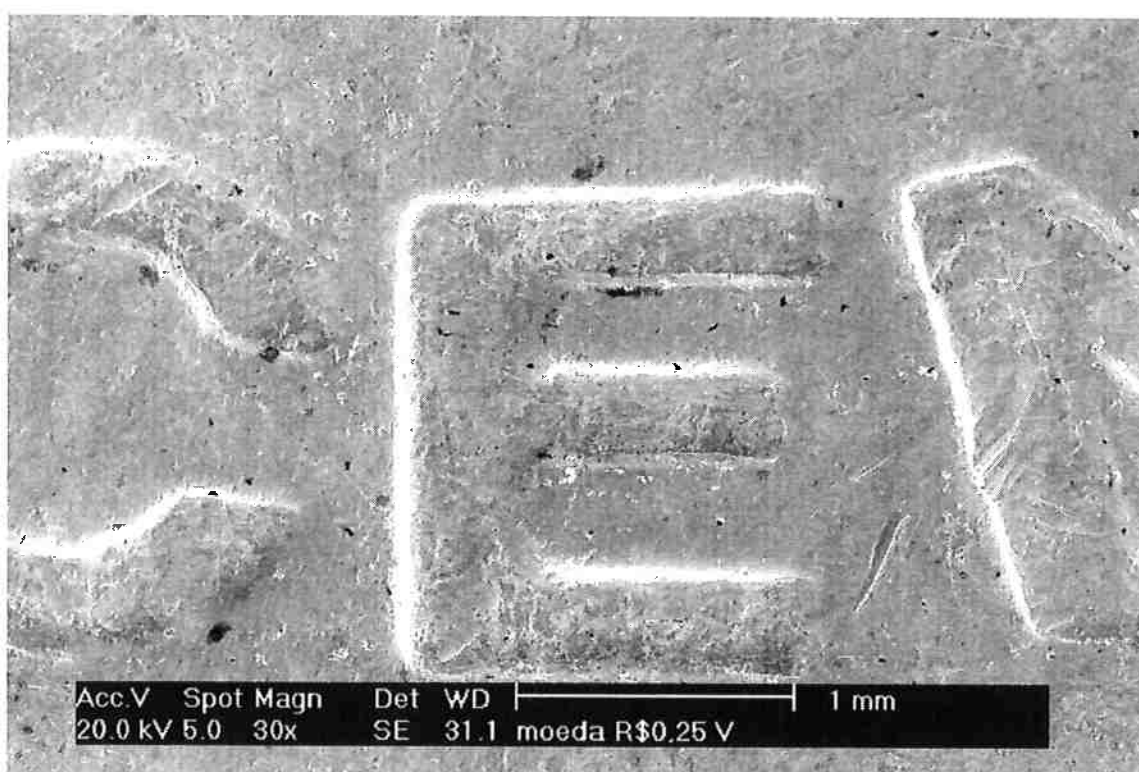


Figura 50 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 30x

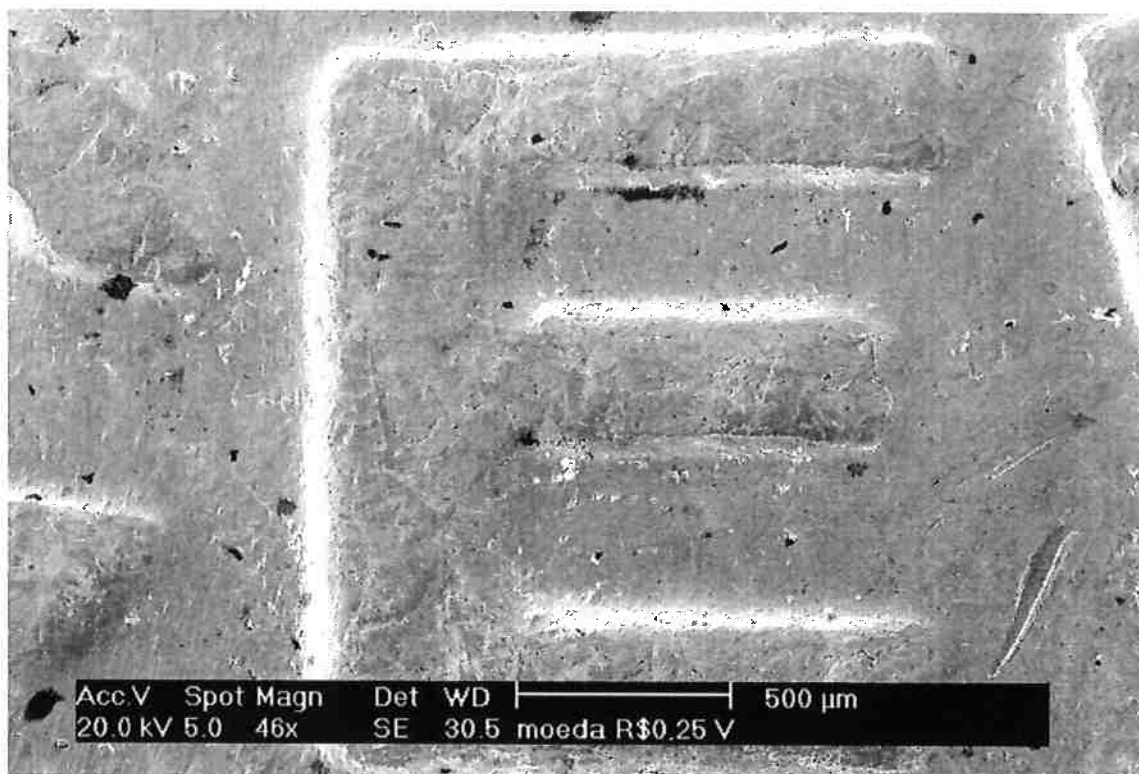


Figura 51 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 45x

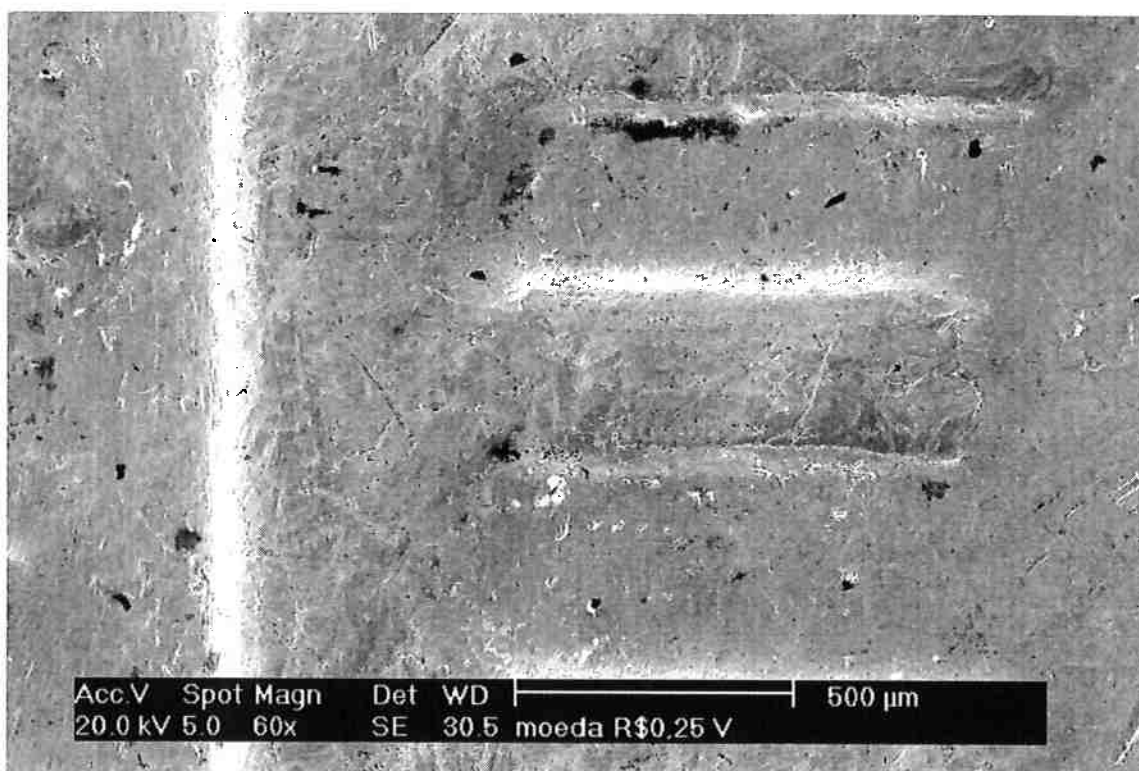


Figura 52 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 60x

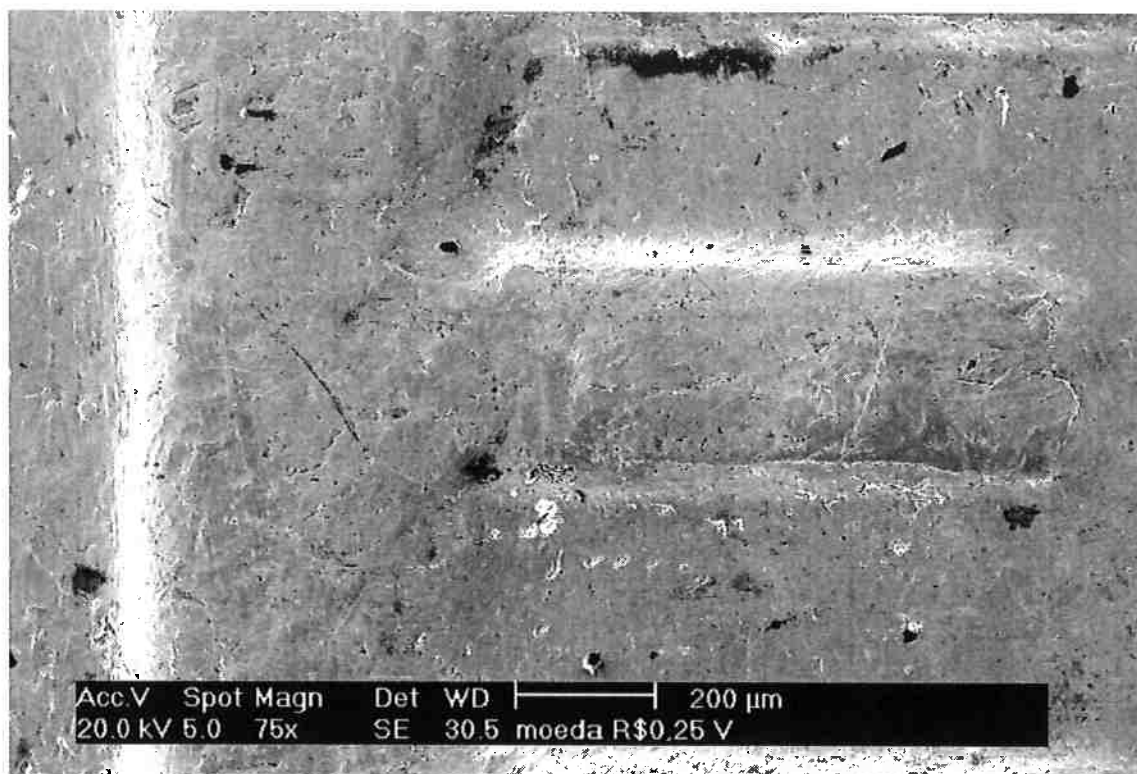


Figura 53 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 75x

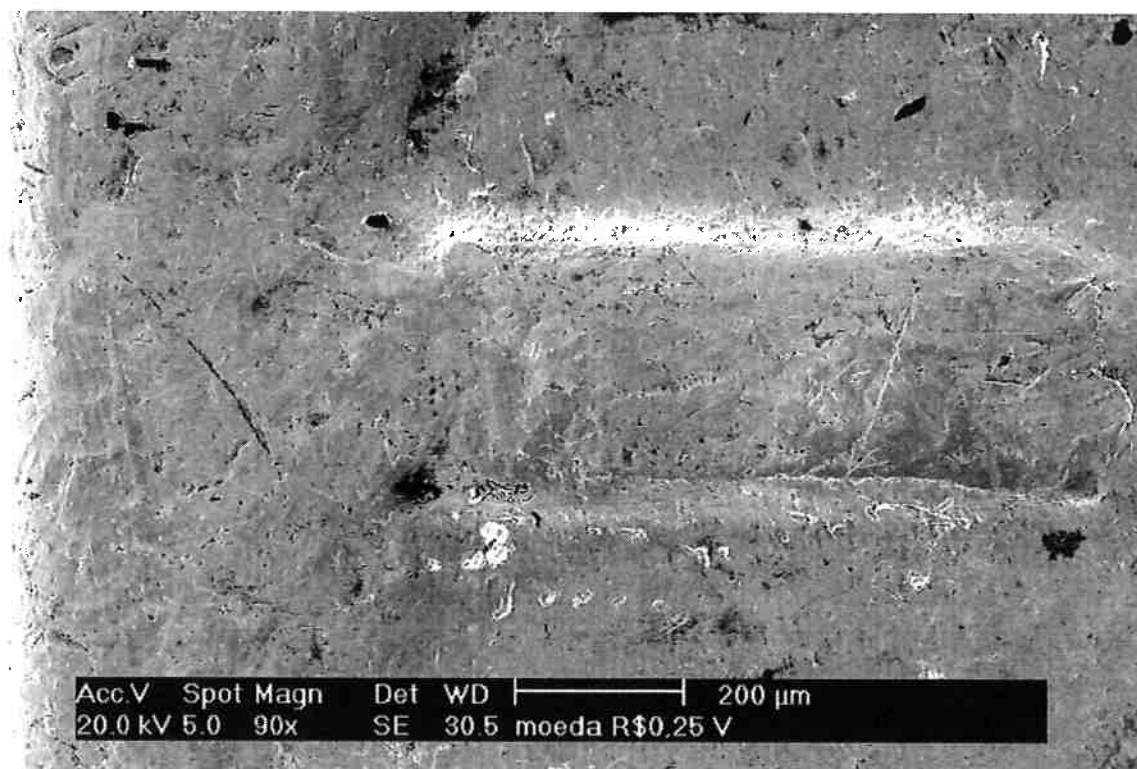


Figura 54 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 90x

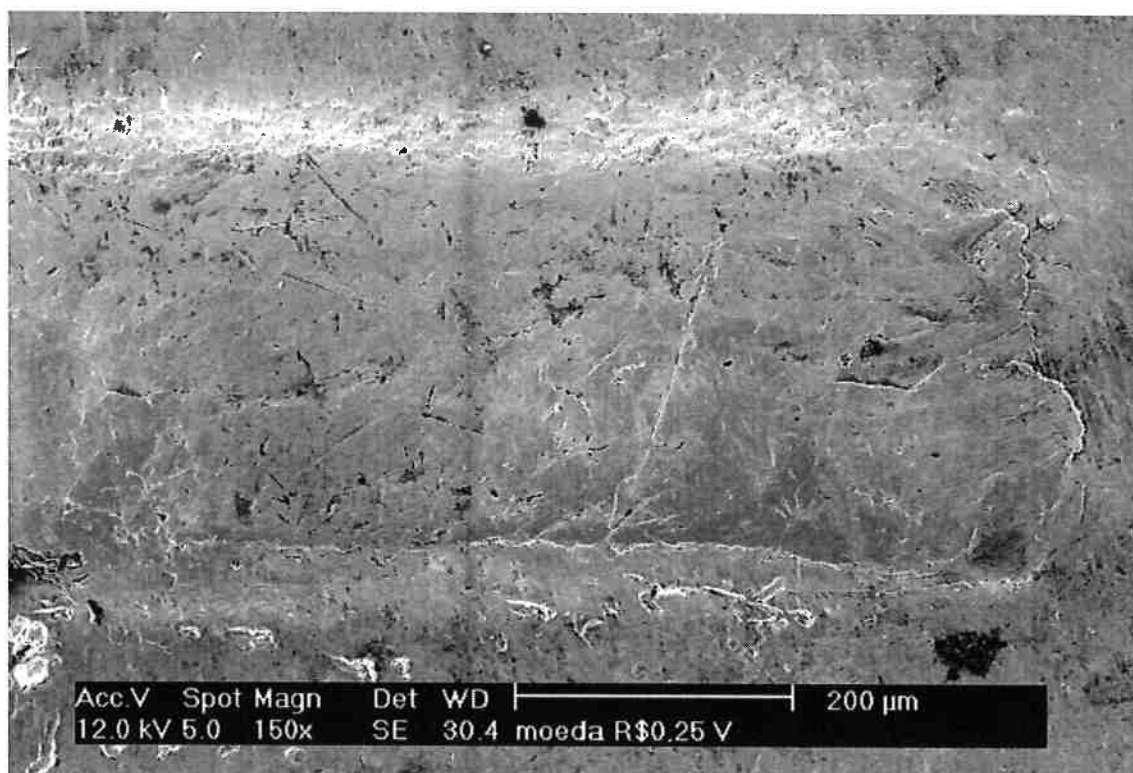


Figura 55 - Moeda de R\$ 0,25 antiga - Aumento de 150x

5.7.2 Análises do Relevo da Borda das moedas

5.7.2.1 Moeda de R\$ 1 (antiga)

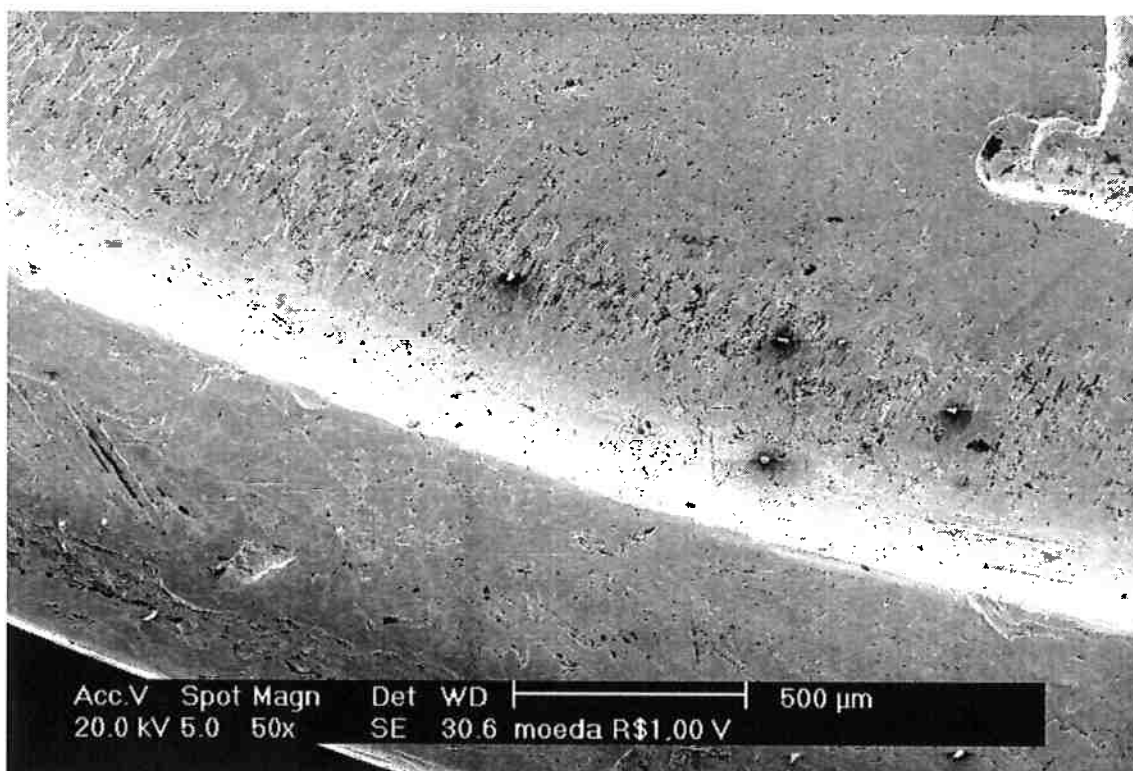


Figura 56 - Moeda de R\$ 1 antiga (borda) - Aumento de 50x

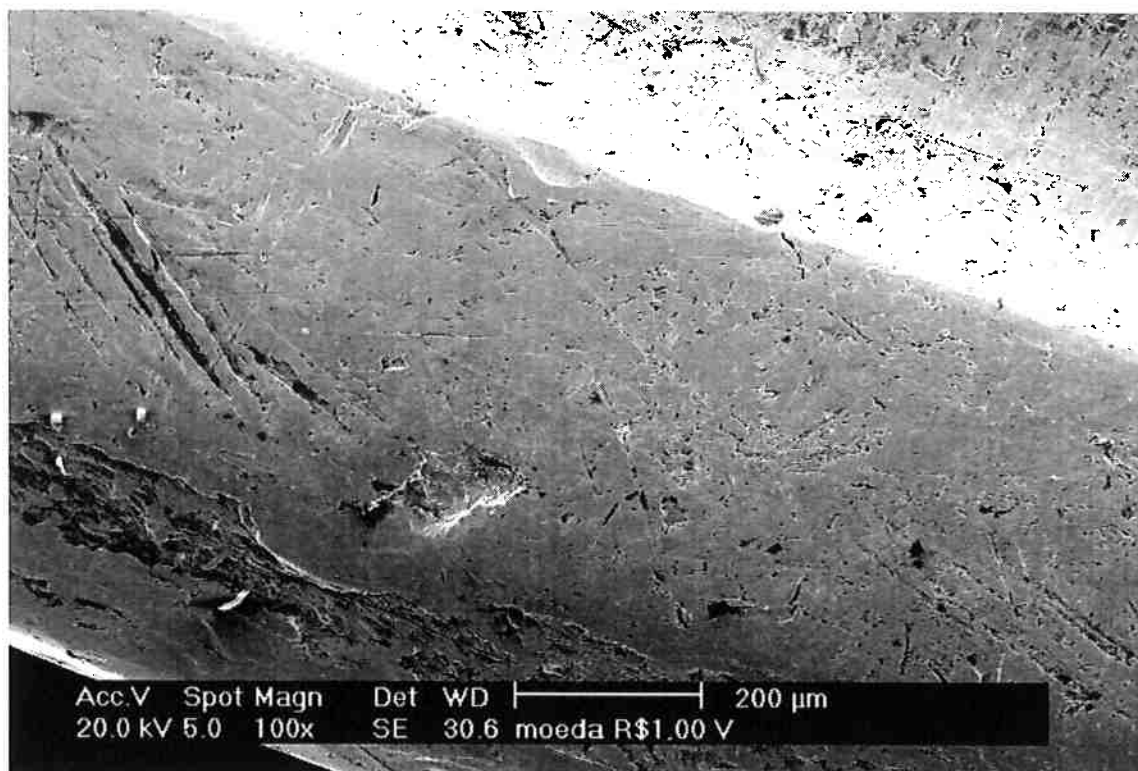


Figura 57 - Moeda de R\$ 1 antiga (borda)- Aumento de 100x

5.7.2.2 Moeda de R\$ 0,25 (antiga)

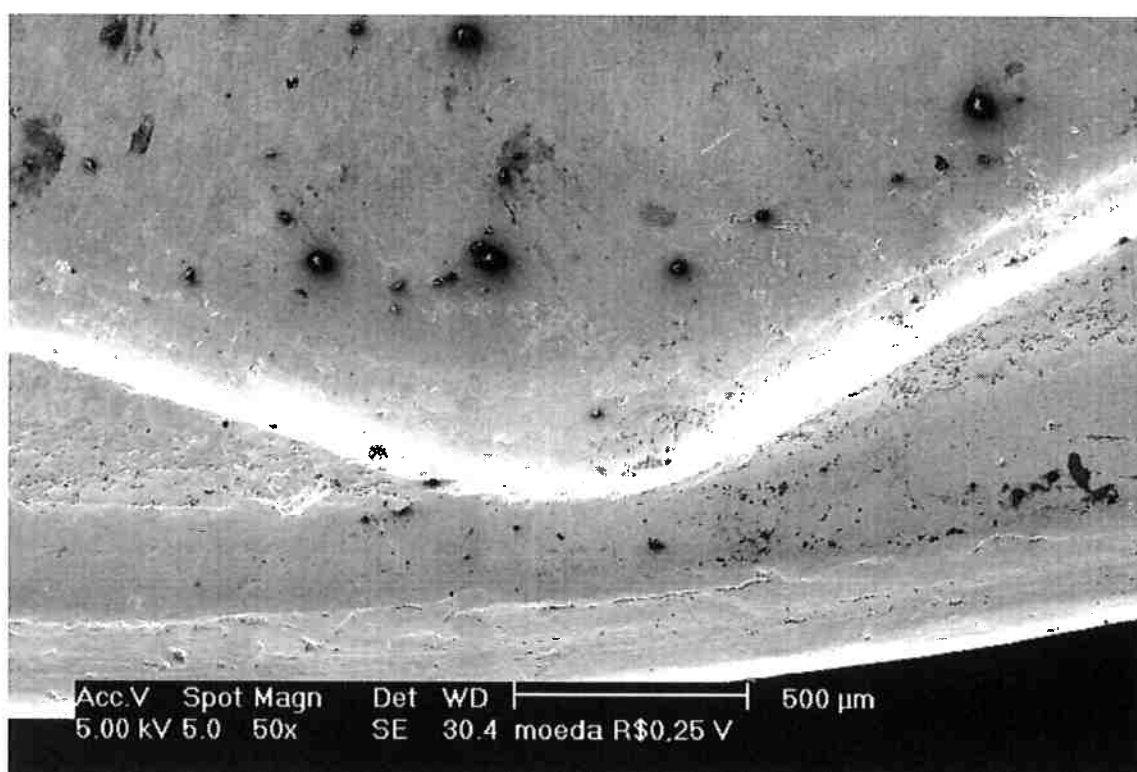


Figura 58 - Moeda de R\$ 0,25 antiga (borda)- Aumento de 50x

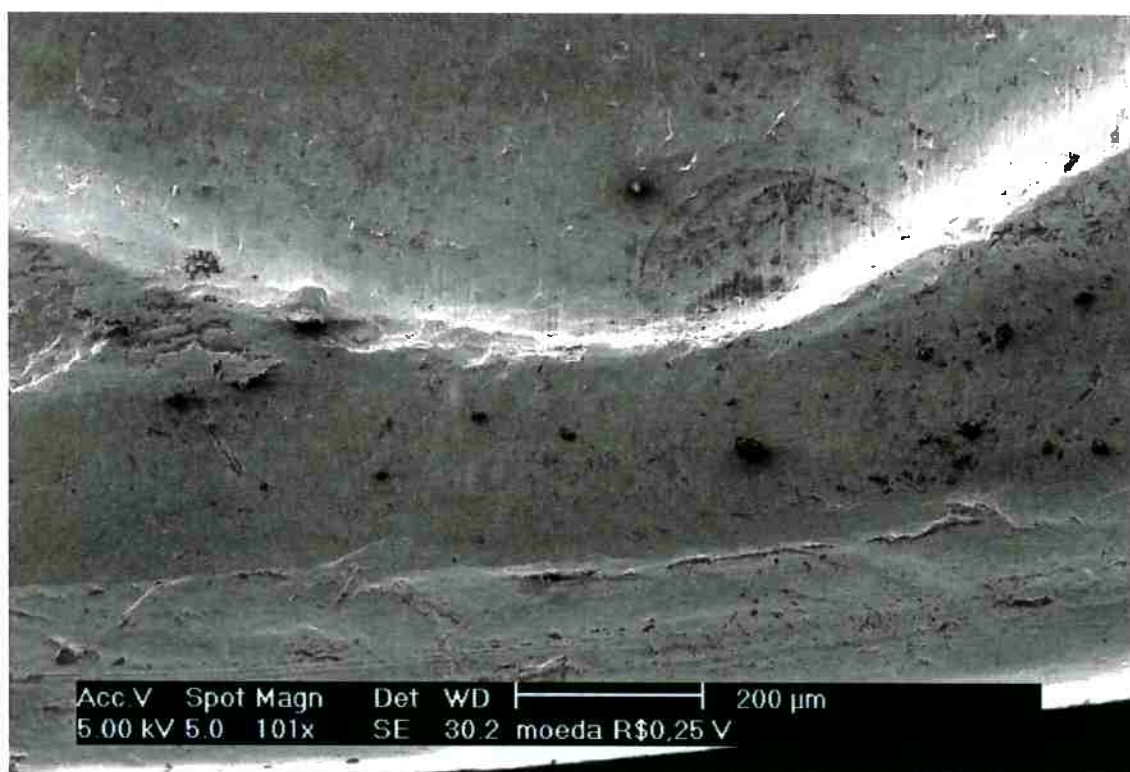


Figura 59 - Moeda de R\$ 0,25 antiga (borda)- Aumento de 100x

5.7.3 Análise da moeda de R\$ 1 em Corte



Figura 60 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x

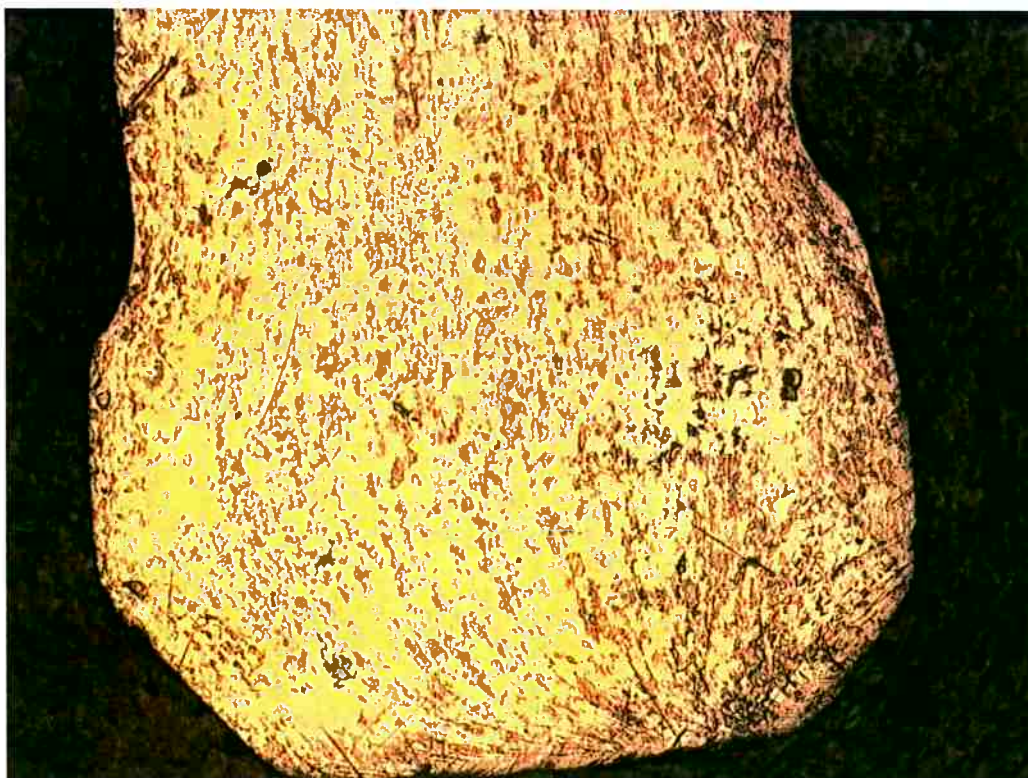


Figura 61 - Moeda de R\$ 1 borda inferior- aumento de 50x

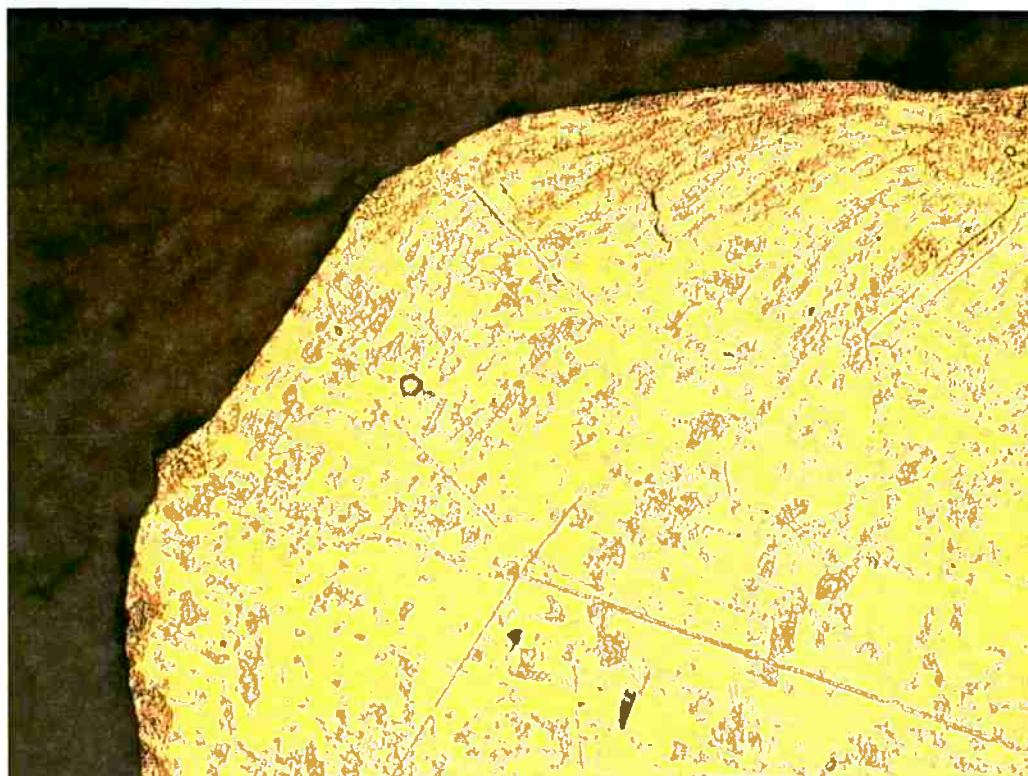


Figura 62 - Moeda de R\$ 1 - aumento de 100x

5.8 Análise das moedas brasileiras falsas

5.8.1 Massa das moedas brasileiras falsas

Tabela 14 – Massa das moedas falsas

Moeda	Massa (g)
R\$ 1	5,23
R\$ 0,25	4,71

A Tabela 14 apresenta a massa das moedas brasileiras consideradas falsas.

5.8.2 Densidade das moedas brasileiras falsas

Tabela 15 – Densidade das moedas falsas

Moeda	Massa (g)
R\$ 1	7,76
R\$ 0,25	7,72

A Tabela 15 apresenta a densidade das moedas brasileiras consideradas falsas.

5.8.3 Dureza Vickers das moedas brasileiras falsas

Tabela 16 – Dureza das moedas falsas

Moeda	Dureza (HV)
R\$ 1	208
R\$ 0,25	186,8

A Tabela 16 apresenta a dureza das moedas brasileiras consideradas falsas.

5.8.4 Análise química das moedas brasileiras falsas

Tabela 17 – Composição química das moedas brasileiras falsas

Moeda	Composição			
	%Fe	%Cr	%Si	%Mn
R\$ 1	81,7	16,0	1,5	0,7
R\$ 0,25	81,4	16,0	1,4	0,7

A Tabela 17 apresenta a composição química das moedas brasileiras consideradas falsas realizada em microscópio eletrônico de varredura.

5.8.5 Análise de atração eletromagnética das moedas brasileiras falsas

Tanto a moeda brasileira de R\$ 1 falsa quanto a moeda de R\$ 0,25 falsa foram atraídas pelo ímã.

5.8.6 Análise Metalográfica das moedas falsas



Figura 63 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 100x



Figura 64 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 200x

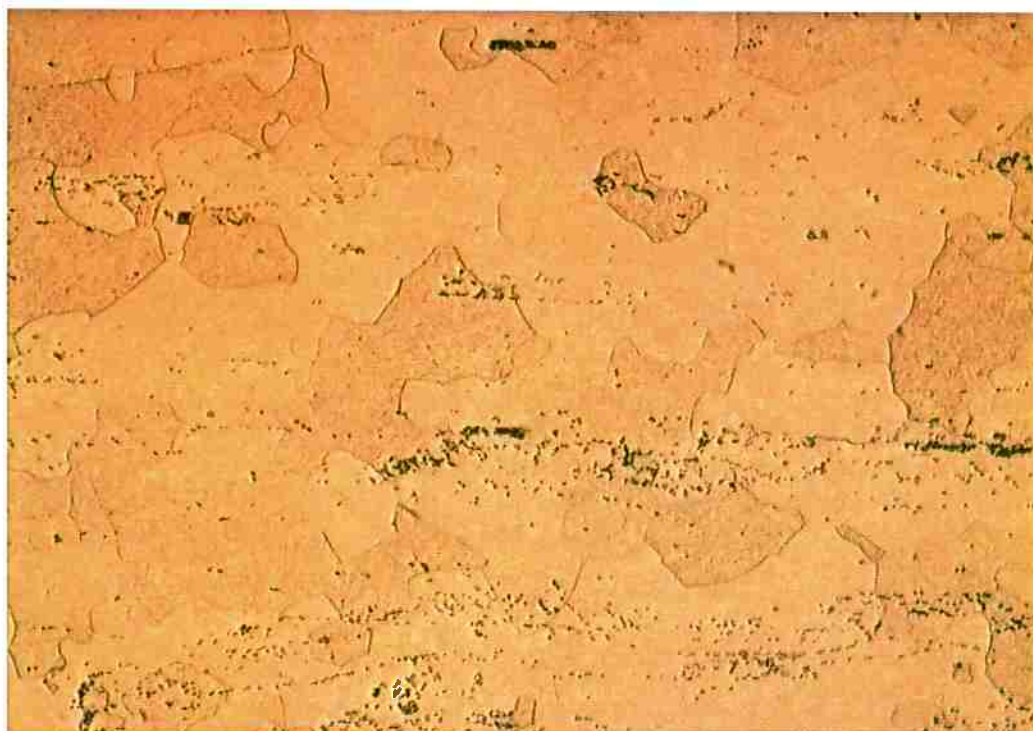


Figura 65 - Moeda brasileira falsa de R\$ 1 (antiga) - Aumento de 500x

5.8.7 Análise de Relevo das moedas falsas

5.8.7.1 Análise do Relevo do Painel das moedas falsas

5.8.7.1.1 Moeda de R\$ 1 falsa

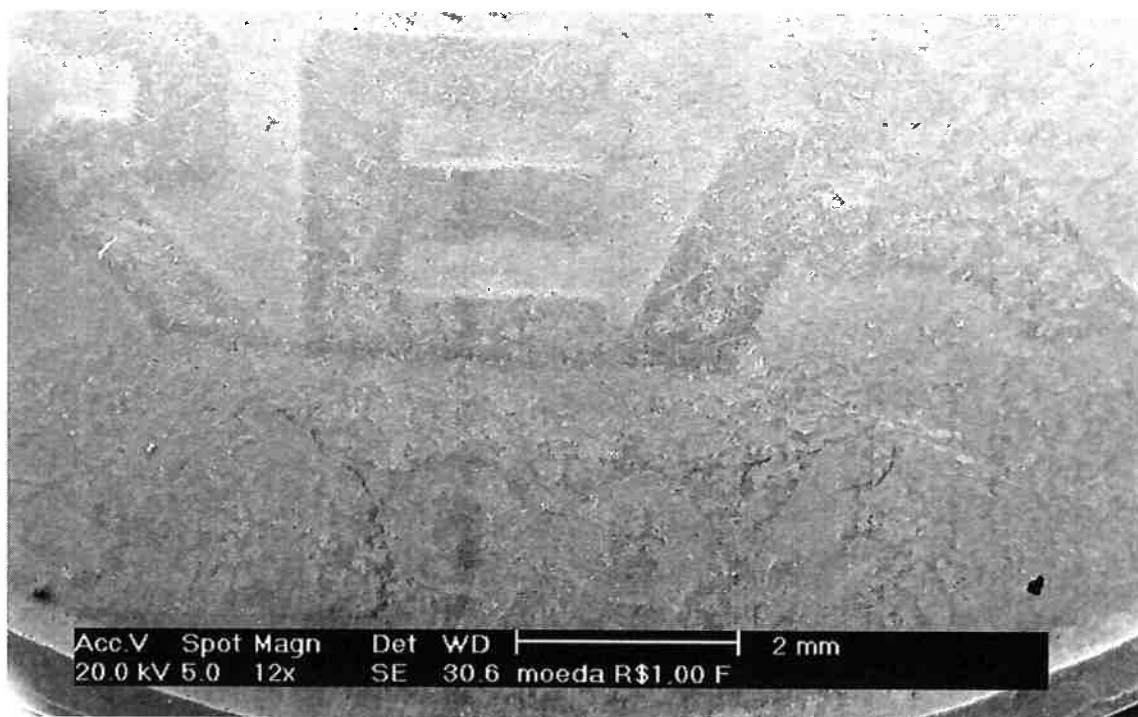


Figura 66 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 12x

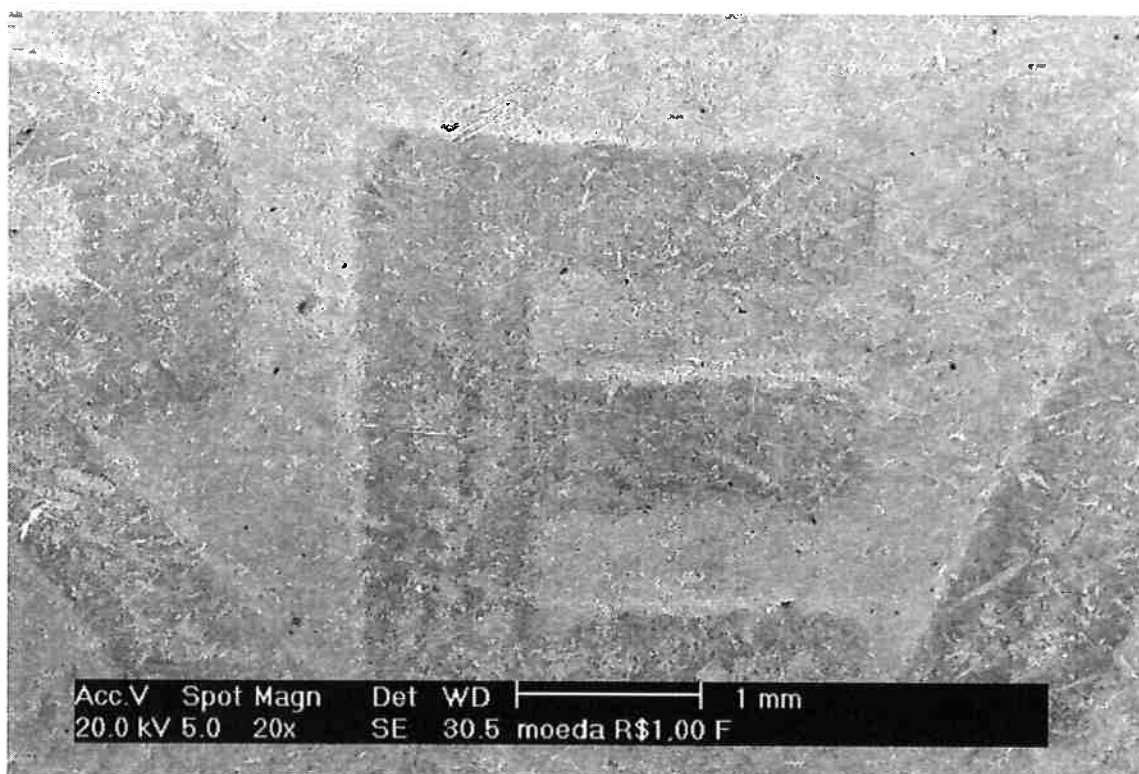


Figura 67 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 20x

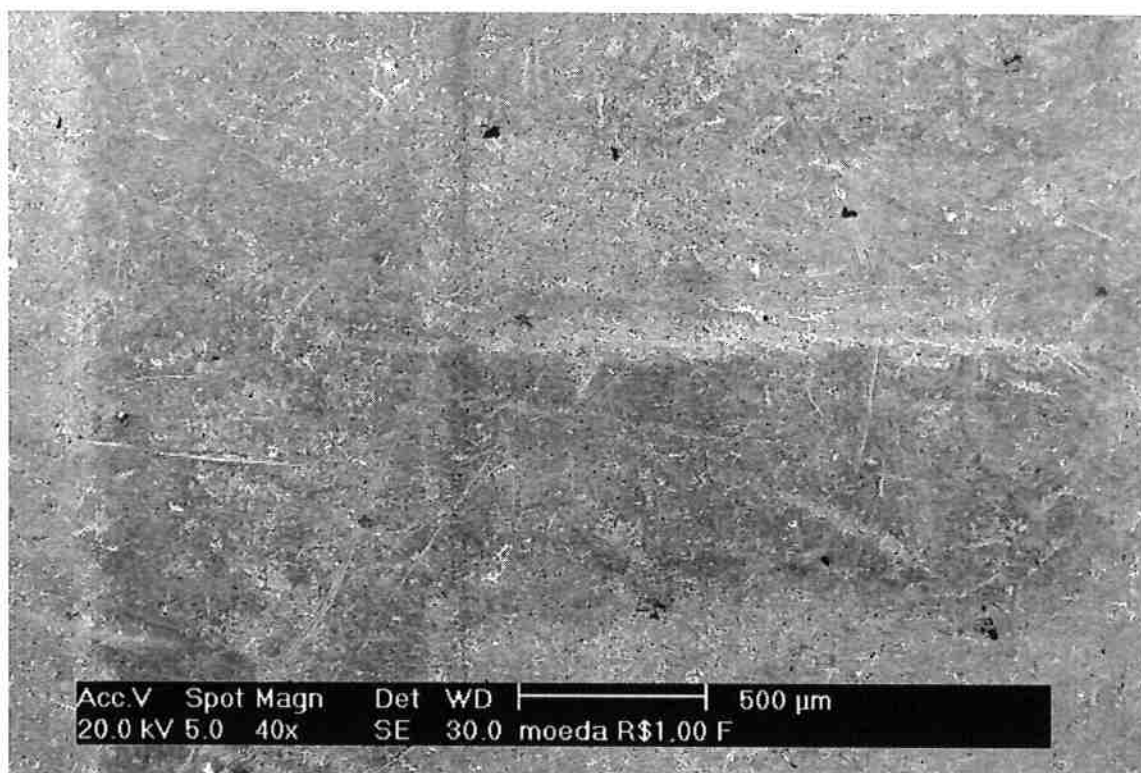


Figura 68 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 40x

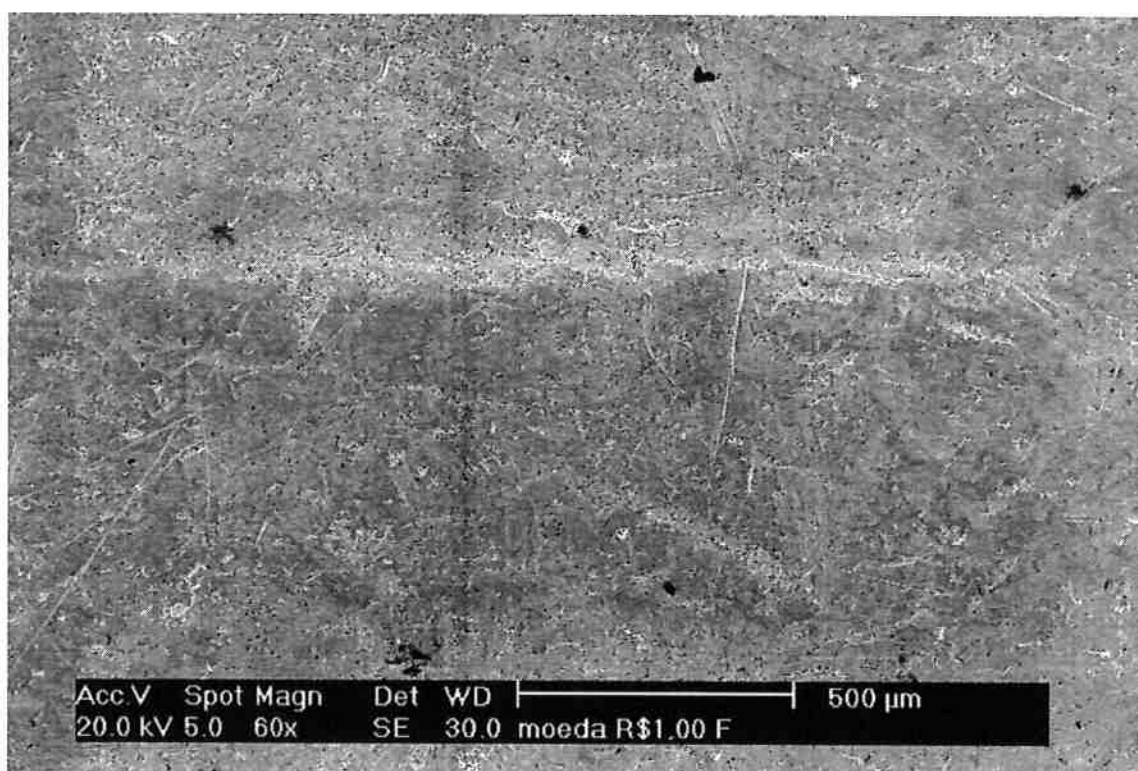


Figura 69 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 60x

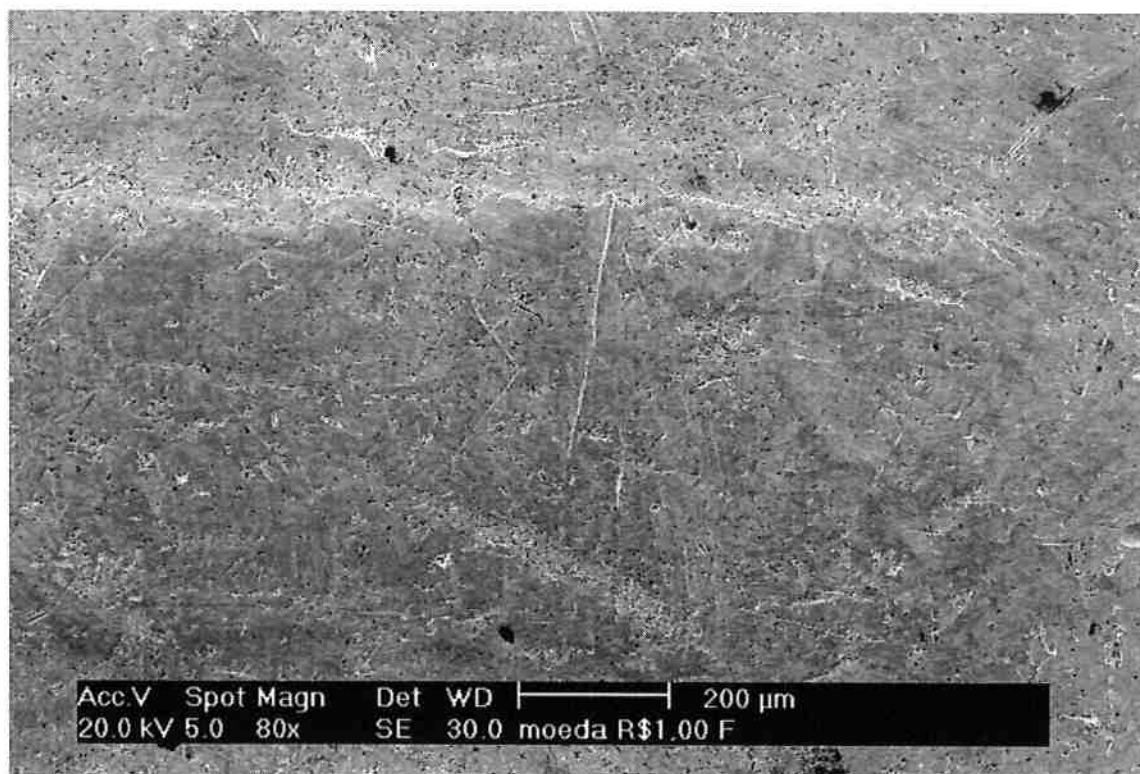


Figura 70 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 80x

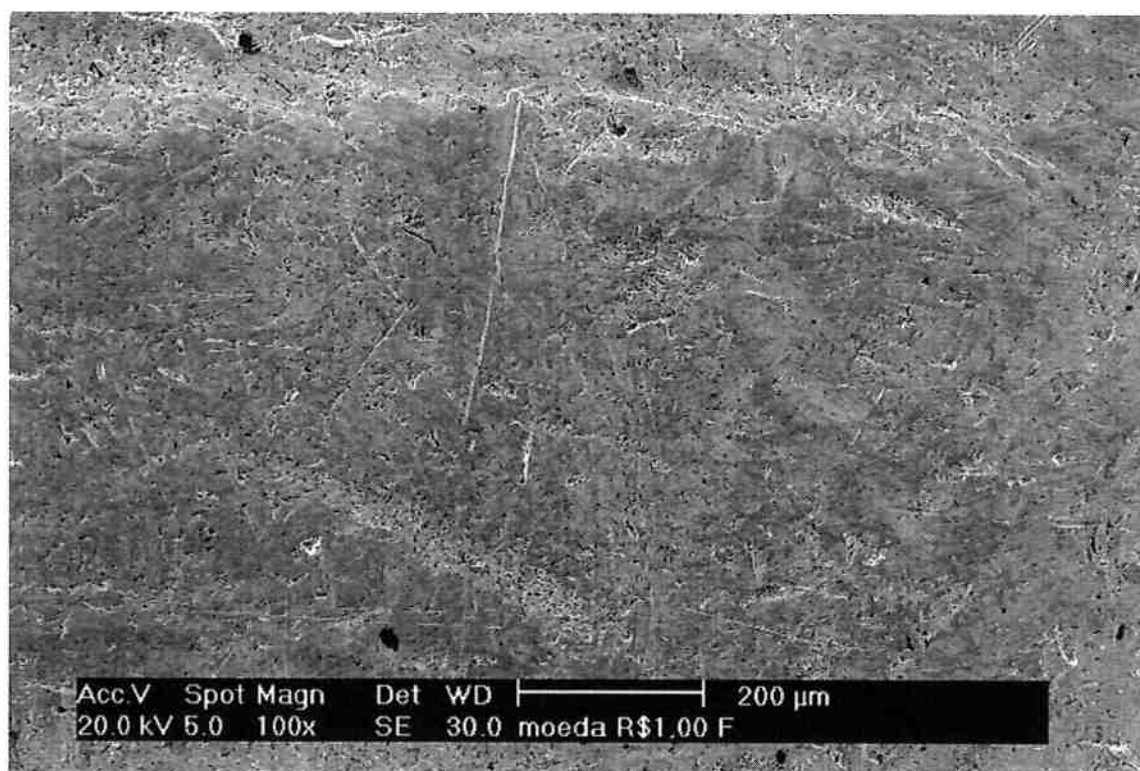


Figura 71 - Moeda de R\$ 1 falsa (antiga) - Aumento de 100x

5.8.7.1.2 Moeda de R\$ 0,25 falsa

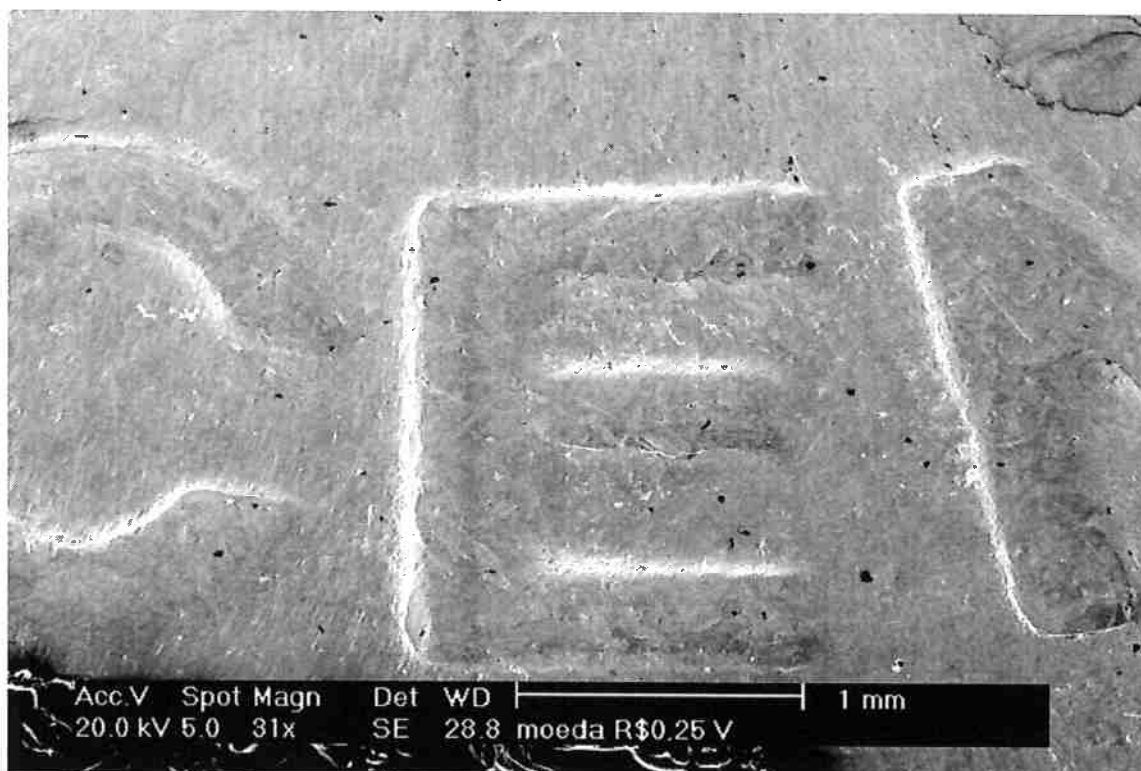


Figura 72 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 30x

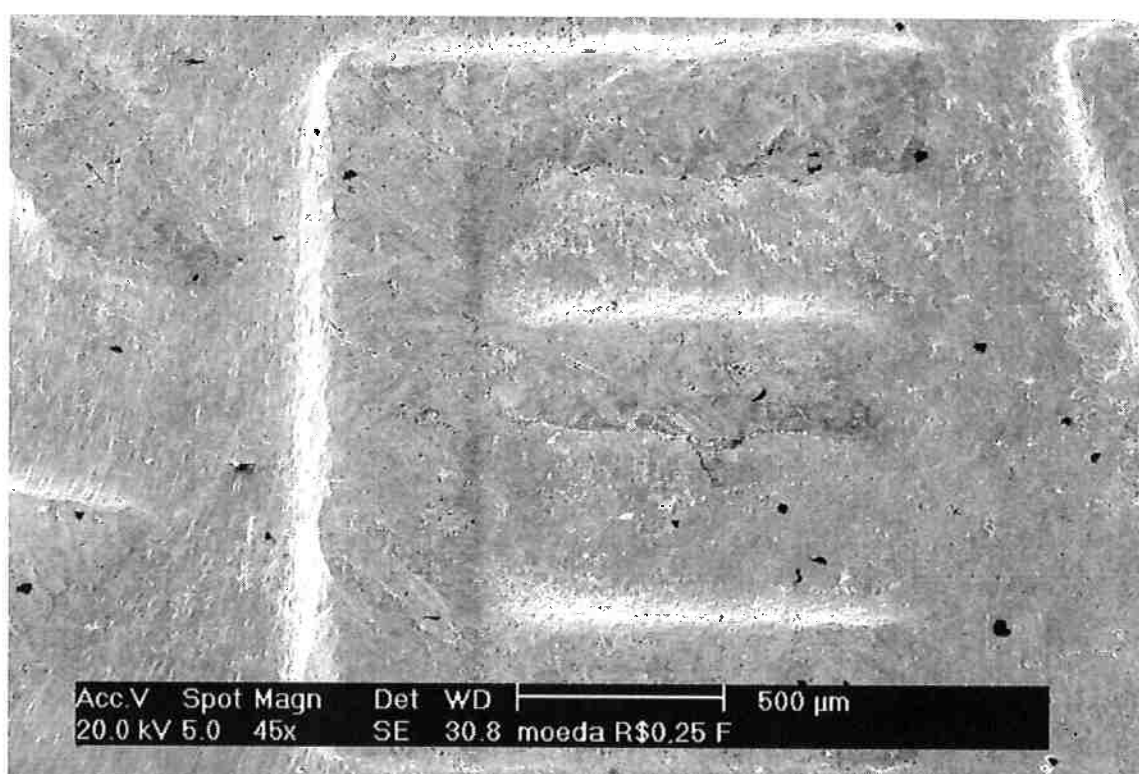


Figura 73 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 45x

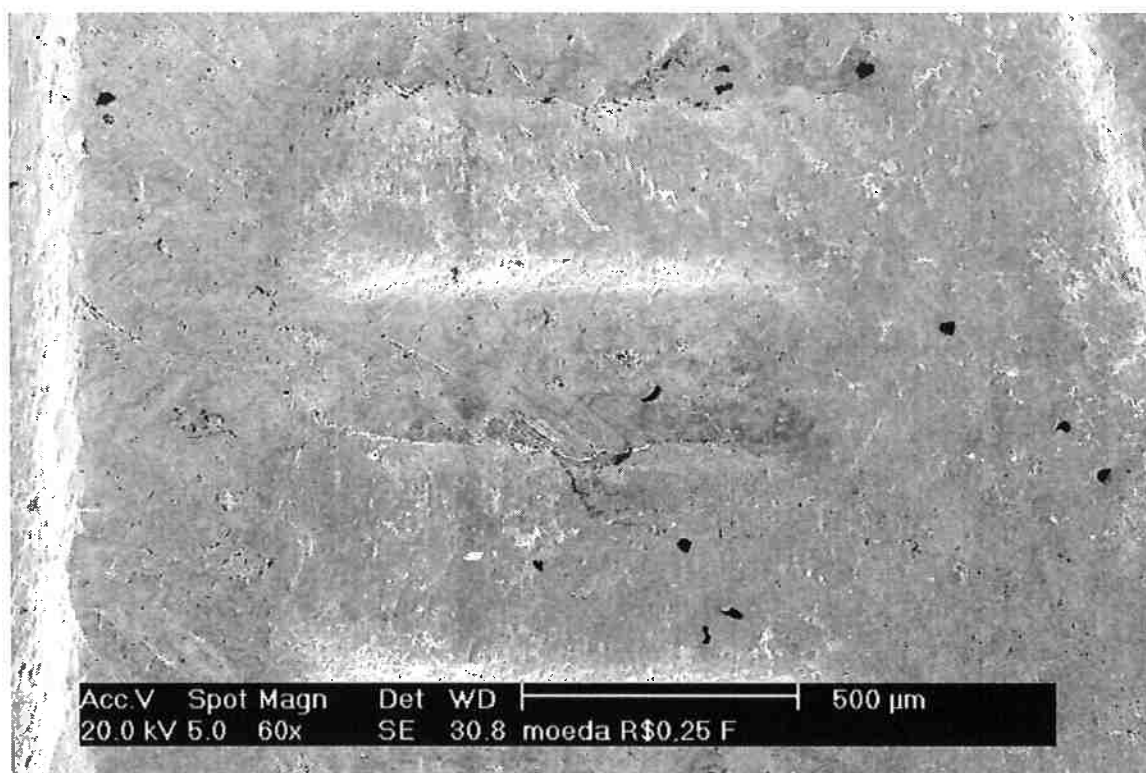


Figura 74 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 60x

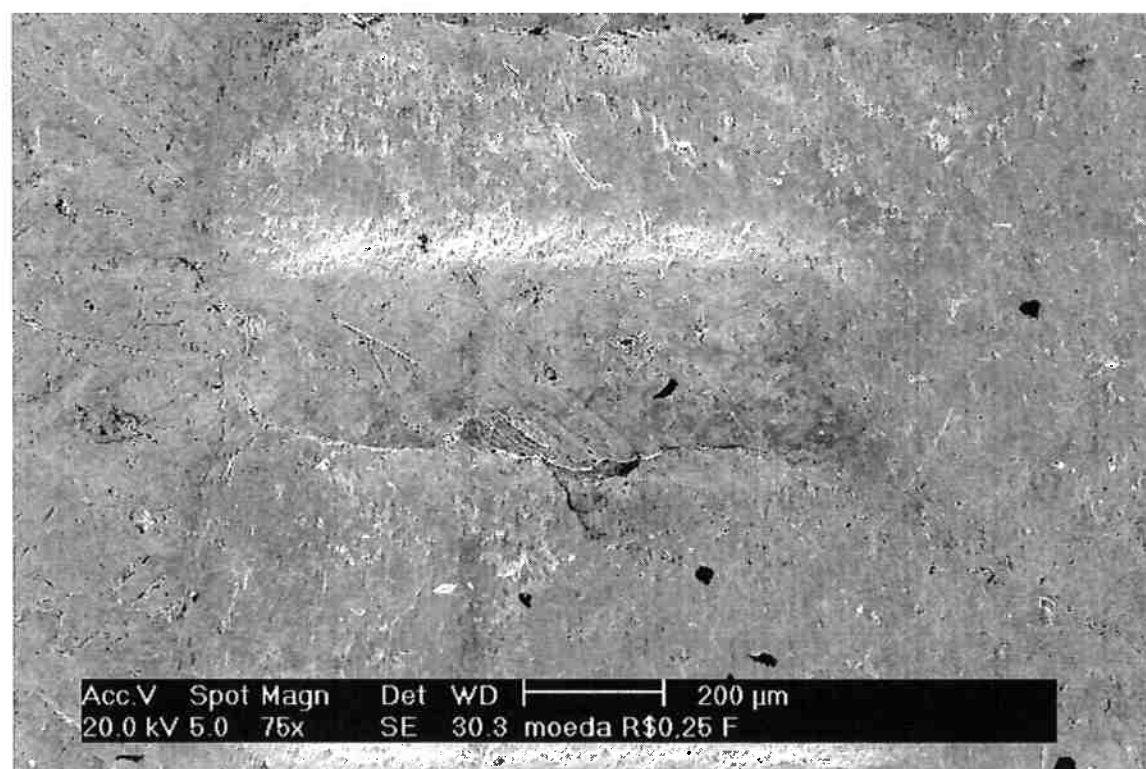


Figura 75 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 60x

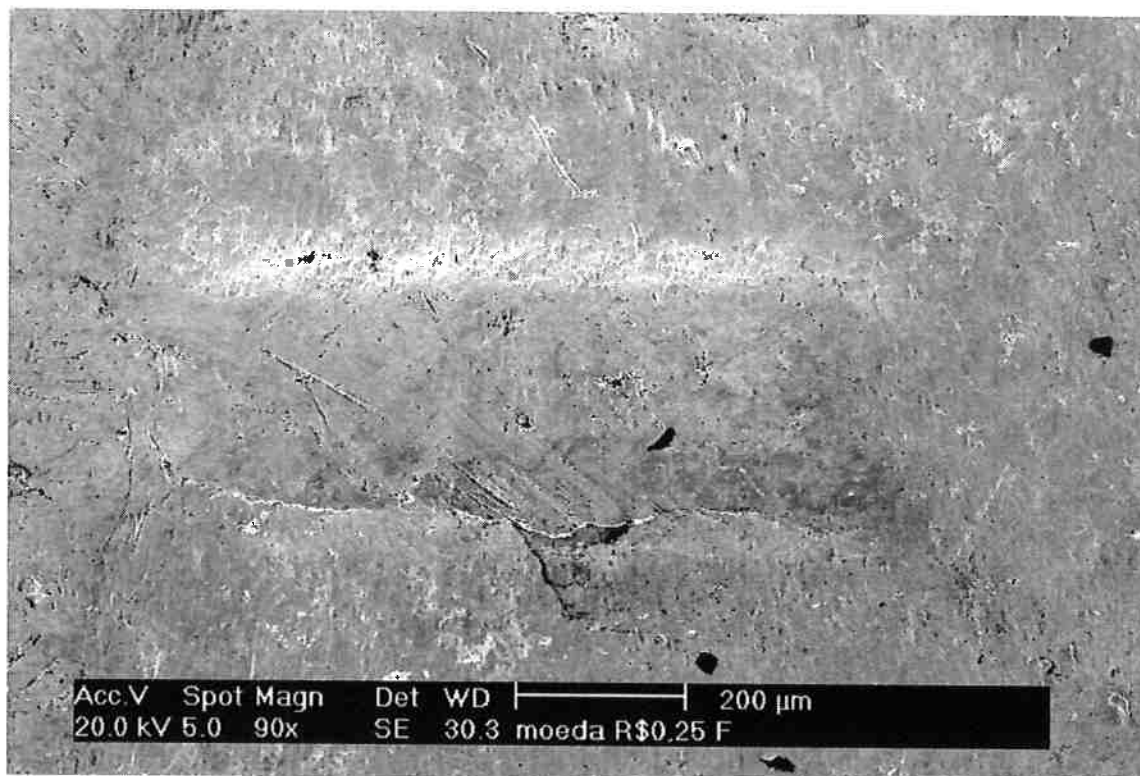


Figura 76 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 90x

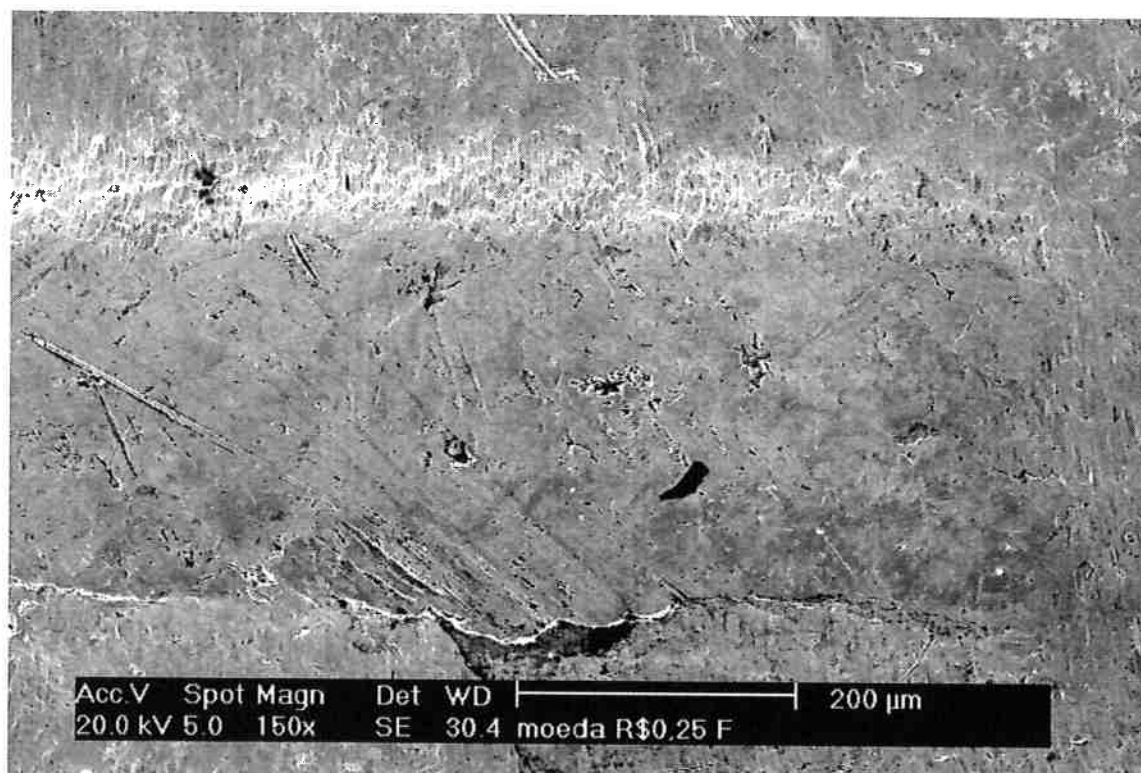


Figura 77 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (antiga) - Aumento de 150x

5.8.7.2 Análise do Relevo da Borda das moedas falsas

5.8.7.2.1 Moeda de R\$ 1 falsa (antiga)

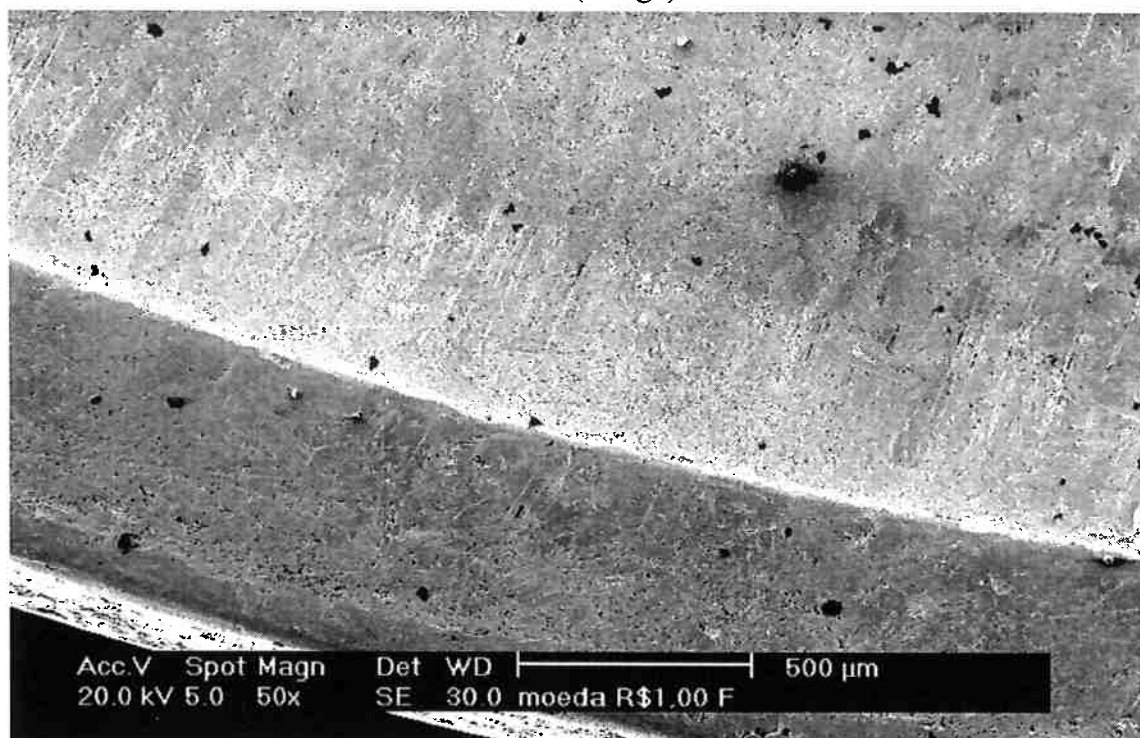


Figura 78 - Moeda de R\$ 1 falsa (borda) - Aumento de 50x

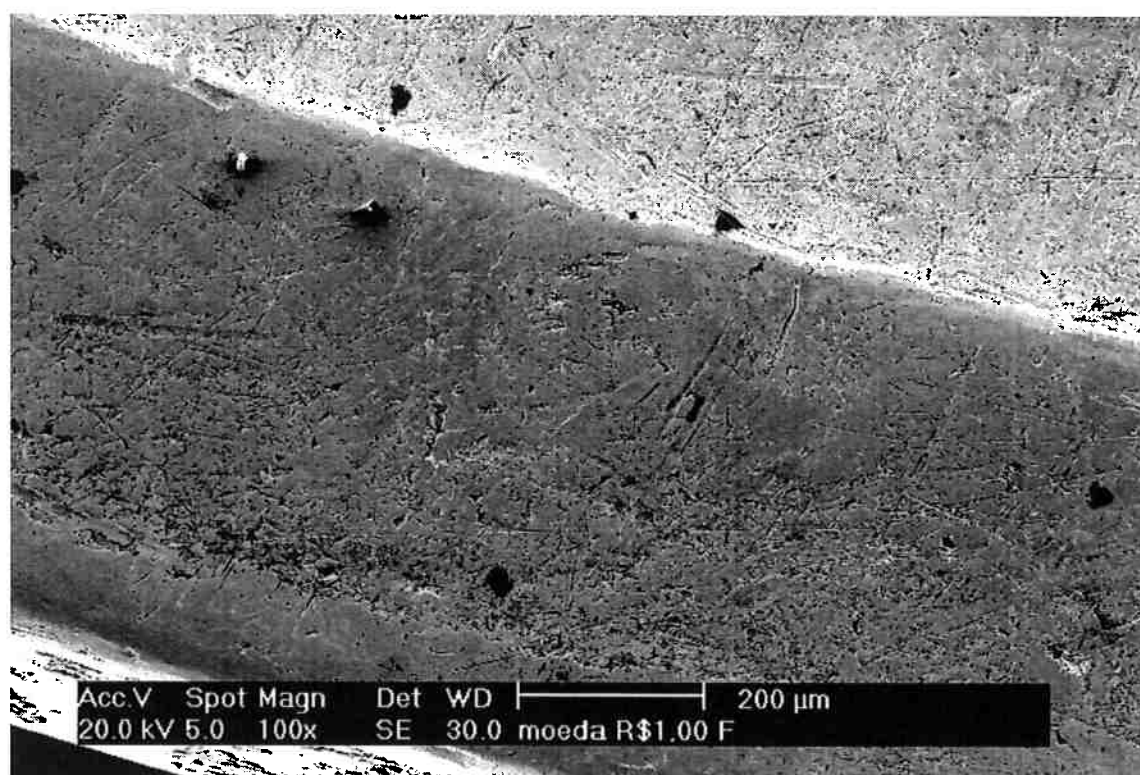


Figura 79 - Moeda de R\$ 1 falsa (borda) - Aumento de 100x

5.8.7.2.2 Moeda de R\$ 0,25

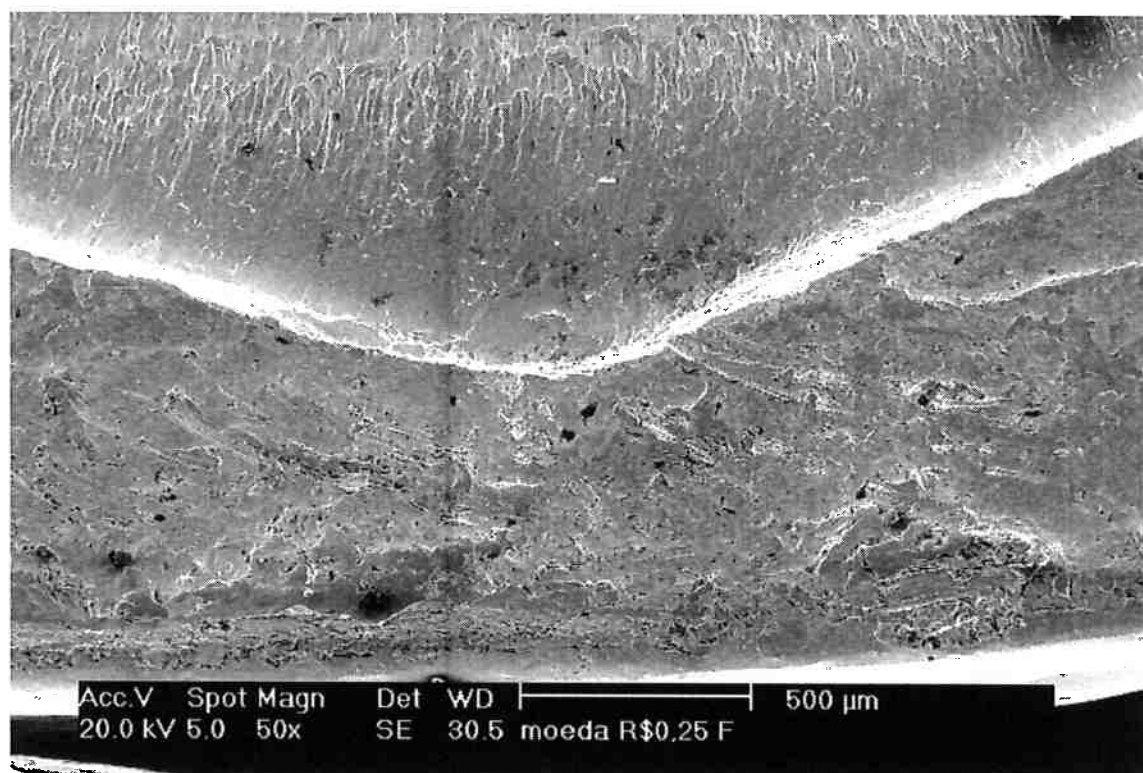


Figura 80 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (borda)- Aumento de 50x

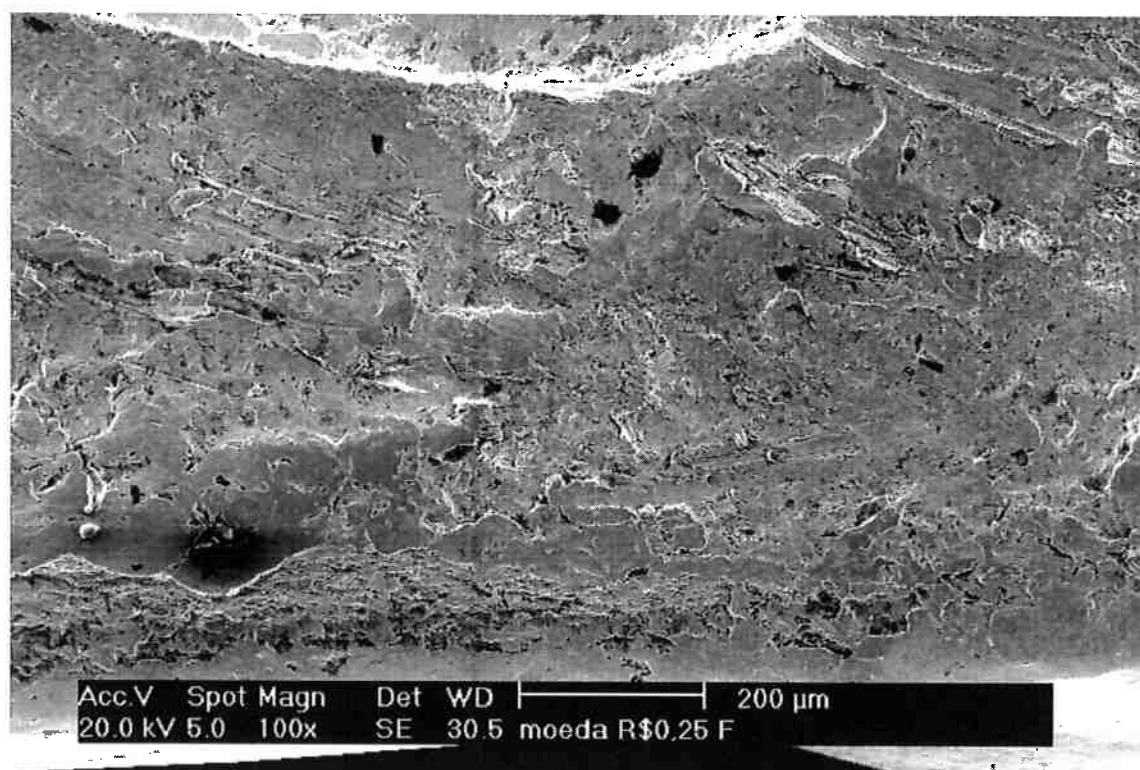


Figura 81 - Moeda de R\$ 0,25 falsa (borda)- Aumento de 100x

5.8.7.3 Análise da moeda de R\$ 1 falsa em corte

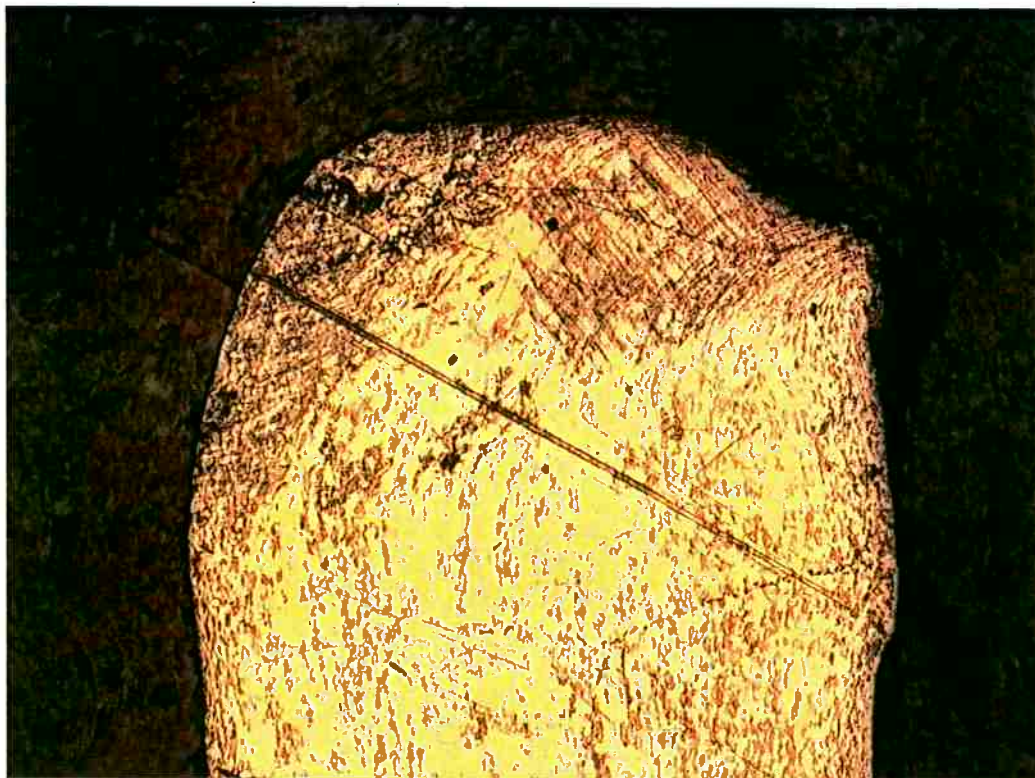


Figura 82 - Moeda de R\$ 1 falsa - borda superior- aumento de 50x



Figura 83 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x



Figura 84 - Moeda de R\$ 1 borda superior- aumento de 50x

6 Discussão dos Resultados

6.1 Massas

6.1.1 Relação Massa-Valor

As moedas brasileiras novas apresentam massa crescente com aumento do valor facial(exceção a moeda de R\$ 0,5), enquanto que para as moedas britânicas esta relação não é válida, visto que as moedas de £ 0,02 e de £ 0,10 são mais pesadas que suas subseqüentes moedas de maior valor. Para as moedas brasileiras, a moeda de R\$ 0,50 se mostra a mais pesada, com massa próxima a moeda inglesa de £ 1.

Observa-se que a relação massa-valor ainda existe. As moedas de maior valor são normalmente maiores e apresentam maiores valores de massa. O gráfico apresentado na Figura 85 abaixo apresenta a variação da massa com o valor da moeda, tanto para as brasileiras quanto para as moedas britânicas.

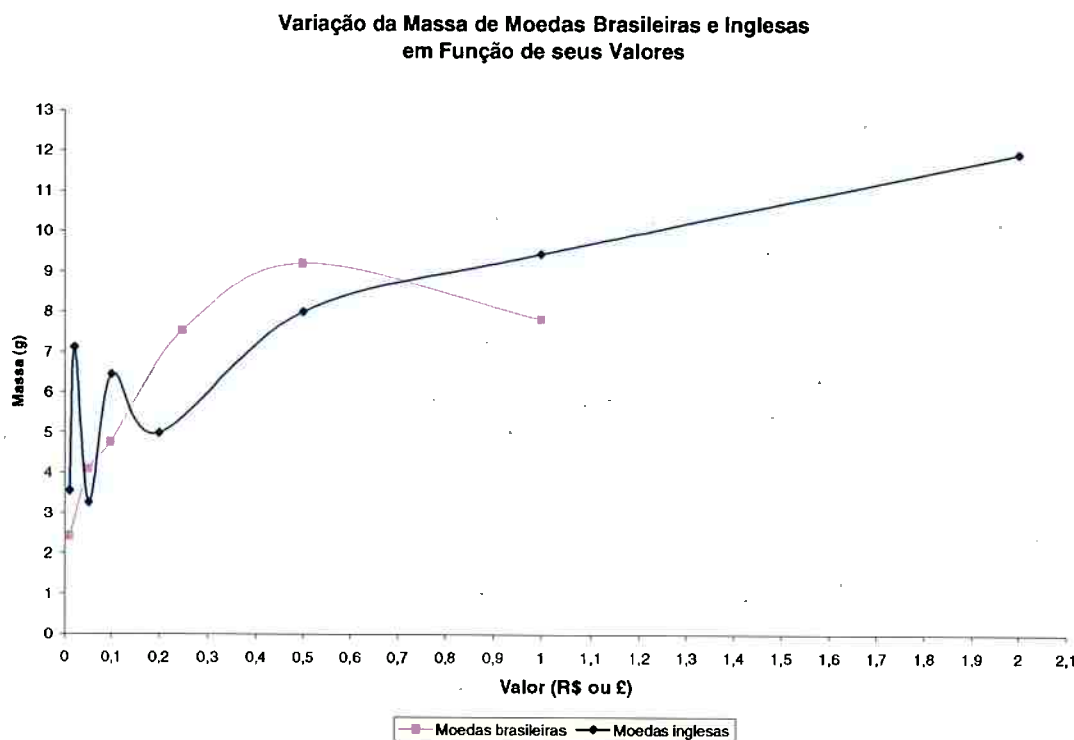


Figura 85 – Gráfico Massa x valor das moedas

6.1.2 Perda de Massa em função do tempo

A análise da massa em função do ano de emissão das moedas de £ 1 foi realizada para que se identificasse alguma relação de perda de massa com o tempo de circulação. O gráfico a seguir apresenta os resultados obtidos:

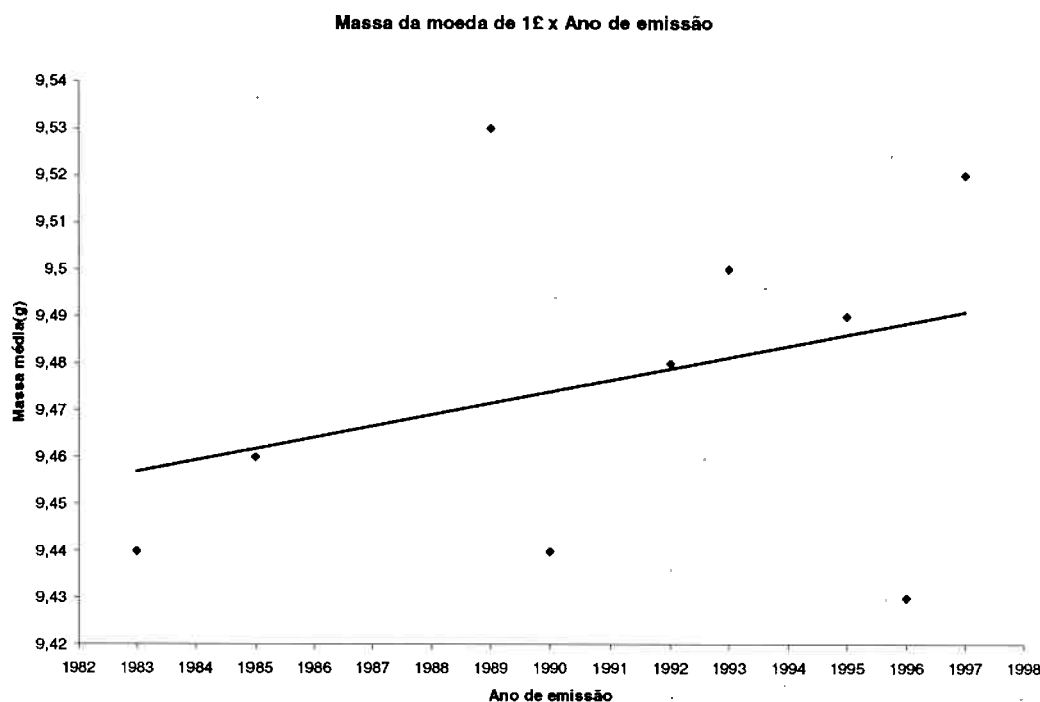


Figura 86 – Gráfico Massa da moeda de £1 x ano de emissão

Podemos perceber que existe um desgaste que resulta em perda de massa com o tempo. No entanto a confiabilidade dos resultados é discutível uma vez que o universo de moedas estudado é muito pequeno (23 moedas), e grande parte destas (8) foi emitida no ano de 1983, ano em que a moeda de £ 1 como é conhecida atualmente entrou em circulação.

Um estudo mais aprofundado seria necessário neste caso para analisar esta relação. Em estudo realizado pela Casa da Moeda do Brasil ficou evidente a resistência ao desgaste das moedas brasileiras, que possuem resistência a abrasão comparáveis a qualquer outra série de moedas do mundo.

6.2 Análise de Densidades

O uso da técnica hidrostática para a determinação das densidades foi escolhida em função do relevo das moedas, o que acarretaria em erros para os valores de diâmetro e espessura medidos, acarretando em variação no volume calculado.

Com relação as densidades obtidas, os valores são coerentes com as composições químicas obtidas. As moedas de £0,50, £0,20, £0,10 e £0,05, com composição próxima a da liga Cu/Ni 75/25, possuem densidades iguais a 9.01 , 9.02 , 8.95 e 8.79 g/cm³ respectivamente, sendo que esta última possui um desvio de 0.14 g/cm³. Logo percebe-se que as densidades apresentam-se em uma faixa coerente com a composição. O menor valor de densidade obtida para a moeda de £0,05, é provavelmente devido à formação de bolhas na parte inferior da moeda durante a medida da densidade pelo método hidrostático, o que influe no resultado.

Para a moeda brasileira de R\$0,50 , de composição aproximada de Cu/Ni 70/30, obteve-se o valor de 8,96 g/cm³ e um desvio padrão de 0.09 g/cm³. Este valor também está muito próximo dos obtidos para as moedas britânicas de composição semelhante.

As moedas de R\$0,10 e R\$0,25, que têm bronze eletrodepositado em sua superfície e recheio de aço carbono apresentaram valores de densidade praticamente idênticos e iguais a 8,07 e 8,09 g/cm³ respectivamente.

Tabela 18 - Densidade das moedas da liga Cu/Ni 75/25

	£0,50	£ 0,20	£ 0,10	£0,05	R\$ 0,50
Densidade g (cm ³)	9,01	9,02	8,95	8,79	8,96

6.3 Análises de Dureza Vickers

Com relação aos valores de dureza obtidos, percebe-se que as moedas de composição semelhante apresentam valores de dureza semelhantes. As moedas britânicas de £0,50, £0,20, £0,10 e £0,05 possuem durezas iguais a 181.4 , 163.46, 160.00 , 164.30 HV respectivamente. A parte interna da moeda de £2, que também possui composição semelhante apresenta dureza de 176.2 HV com desvio padrão igual a 15 HV. A moeda brasileira nova de R\$0,50, apresenta dureza igual a 160,2 HV e um desvio de 9,94HV. Já a parte interna da moeda de R\$1 apresenta dureza de 152,9 HV e desvio de 14,81 HV.

Considerando-se os desvios padrão obtidos, percebemos que todas as moedas encontram-se em uma mesma faixa de variação de dureza, característica da liga em que são cunhadas.

A moeda de £1 é a moeda que apresenta maior valor de dureza. O valor obtido foi de 205,08 HV e um desvio de 22,09 HV.

As moedas brasileiras antigas, cuja composição é de aço inoxidável apresentou valor de dureza igual a 182,50 HV e desvio de 17,16 HV. Esta constatação, somada a análise metalográfica da moeda da antiga série de moedas do Real permite concluir que a moeda não é temperada, apresentando dureza de cerca de 180 HV e microestrutura típica de um aço inoxidável ferrítico.

6.4 Análises Químicas

A análises químicas mostraram que as ligas utilizadas pelas moedas brasileiras da nova série do Real são bastante semelhantes as ligas utilizadas pelas moedas britânicas.

As moedas de menor valor, no caso as moedas de R\$ 0,01 e R\$ 0,05 brasileiras e as moedas de £ 0,01 e £ 0,02 britânicas são revestidas em cobre. No entanto as moedas britânicas destes valores só passaram a ser revestidas a partir de 1992. Antes disso eram maciças com predominância do cobre, tratando-se de uma liga não magnética, o que explica o fato da moeda de £ 0,01 ensaiada não ter sido atraída pelo imã.

As moedas de £ 0,05, £ 0,10, £ 0,20 , £0,5 e as moedas brasileiras de R\$ 0,50 são constituídas de liga muito semelhantes, a tradicional liga Cu/Ni 75/25 no caso das moedas britânicas e uma liga pouco mais rica em cobre, a Cu/Ni 70/30 no caso da moeda brasileira.

O interior da moeda de £ 2 e o interior da moeda de R\$ 1 também são constituídos da liga Cu/Ni 75/25.

As moedas brasileiras novas de R\$ 0,10 e R\$ 0,25 são revestidas em uma liga de bronze (cobre e estanho) onde o estanho representa aproximadamente 10% do material constituinte do recobrimento da moeda. Estas moedas possuem seu interior em aço carbono como as moedas de R\$ 0,01 e R\$ 0,05.

O anel exterior da moeda de £ 2, e a o anel da moeda de R\$ 1 são constituídos em liga trimetálica cobre,níquel e zinco. A composição dos anéis é semelhante. Segundo a British Royal Mint, a moeda de £ 2 possui 76% de cobre, 4% de níquel e 20% em zinco, valores diferentes das composições obtidas durante a análise química. O anel exterior da moeda de R\$ 1 apresentou composição de 70,6% de cobre, 4,5% de níquel e 24,6% de

zinco, portanto composição bem próxima do anel da moeda inglesa. A teor de zinco confere a moeda o tom amarelado que apresenta.

A moeda de £ 1 apresenta composição diferente de todas as demais moedas britânicas e possui composição semelhante à parte externa da moeda brasileira de R\$ 1. Segundo a British Royal Mint a composição da moeda de £ 1 é de 70% de cobre, 5,5% de níquel e 24,5% de zinco.

Tabela 19 - Composição química obtida x Composição química British Royal Mint

Moeda	Composição Obtida	Composição British Royal Mint
£ 0,01	99,1% Cu 0,9% Ni	100% Cu
£ 0,02	99,5% Cu 0,5% Ni	100% Cu
£ 0,05	72,6% Cu 27,4% Ni	75% Cu 25% Ni
£ 0,10	73,1% Cu 26,9% Ni	75% Cu 25% Ni
£ 0,20	79,7% Cu 20,3% Ni	84% Cu 16% Ni
£ 0,50	78,7% Cu 21,3% Ni	75% Cu 25% Ni
£ 1	80% Cu 8,9% Ni 10,9% Zn	70% Cu 5,5% Ni 24,5% Zn
£ 2 (I)	78,7% Cu 21,2% Ni	75% Cu 25% Ni
£ 2 (E)	84% Cu 3,8% Ni 12,1% Zn	76% Cu 4% Ni 20% Zn

6.5 Análise das moedas brasileiras falsas

6.5.1 Análises de Massa, Densidade e Dureza Vickers

6.5.1.1 Moeda de R\$1

O valor obtido para a massa da moeda de R\$ 1 é 0,97g maior que a média obtida para a massa da moeda brasileira de R\$ 1. A densidade obtida para esta moeda é de $7,76\text{g/cm}^3$, muito próxima da densidade da moeda real que é de $7,71\text{g/cm}^3$.

Um número maior de moedas falsas seria necessário para que se pudesse concluir algo a respeito das massas e densidade destas moedas e para que um eventual desvio em relação as moedas verdadeiras pudesse ser quantificado.

A dureza apresentada pela moeda falsa (208 HV) é maior que a apresentada pela moeda verdadeira (182,5) estando fora dos limites do desvio padrão obtido (17,16).

Tabela 20 - Comparação de massa, densidade e dureza. Moeda de R\$ 1

	Massa (g)	Densidade (g/cm^3)	Dureza (HV)
Verdadeira	4,26	7,71	182,5
Falsa	5,23	7,76	208

6.5.1.2 Moeda de R\$ 0,25

O valor obtido para a massa da moeda falsa de R\$ 0,25 é de 4,71g, muito próximo ao valor de massa média das moedas reais que é de 4,74g. A densidade obtida para a moeda falsa é praticamente a mesma da obtida para as moedas reais, $7,72\text{g/cm}^3$ contra $7,71\text{ g/cm}^3$ das moedas reais.

A dureza obtida para a moeda de R\$ 0,25 falsa foi igual a 186,8 HV, valor muito próximo ao das moedas verdadeiras, igual a 182,5 HV. A dureza neste caso não permitiria uma eventual identificação de falsificação.

Tabela 21 - Comparação de massa, densidade e dureza. Moeda de R\$ 0,25

	Massa (g)	Densidade (g/cm³)	Dureza (HV)
Verdadeira	4,74	7,71	182,5
Falsa	4,71	7,72	186,8

6.5.2 Análises Químicas

Tanto a moeda de R\$ 1 falsa quanto a moeda de R\$ 0,25 apresentam composição muito próxima da composição da moeda verdadeira, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 22 - Comparação de composição química

Moeda	Composição			
	%Fe	%Cr	%Si	%Mn
Moedas Verdadeiras	81,9	15,6	1,5	0,7
R\$ 1 (falsa)	81,7	16,0	1,5	0,7
R\$ 0,25 (falsa)	81,4	16,0	1,4	0,7

6.5.3 Análise Metalográfica

As análises metalográficas mostraram que tanto a moeda verdadeira quanto a moeda falsa apresentam a microestrutura de um aço inoxidável ferrítico, e não apresentaram diferença significativa, com a moeda falsa apresentando um tamanho de grão aparentemente pouco maior que a moeda verdadeira.

Neste tópico algumas figuras são rerepresentadas para facilitar a comparação entre as metalografias.

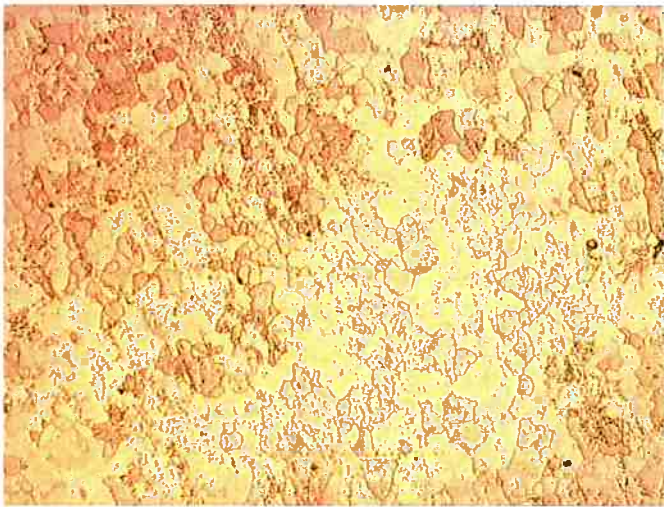


Figura 87 - Moeda verdadeira



Figura 88 - Moeda Falsa

6.5.4 Análise dos relevos

Neste tópico algumas figuras são reapresentadas para facilitar a comparação para o leitor.

6.5.4.1 Análise do Relevo do Painel

6.5.4.1.1 Moeda de R\$ 1

Foram identificadas diversas diferenças entre o relevo da moeda verdadeira de R\$ 1 e a moeda falsa. A nitidez do relevo da moeda considerada verdadeira é muito maior do que no caso da moeda falsa.

Com aumentos pequenos é possível observar que o ano de emissão da moeda é praticamente invisível para a moeda falsa. Aumentando-se o aumento, torna-se nítida a maior qualidade do relevo na moeda verdadeira. Para aumentos de 100x ainda é possível definir o relevo de parte da letra "E" da moeda verdadeira, enquanto que para a moeda falsa, a letra praticamente já é indistinguível.



Figura 89 - Moeda verdadeira
(aumento 12x)

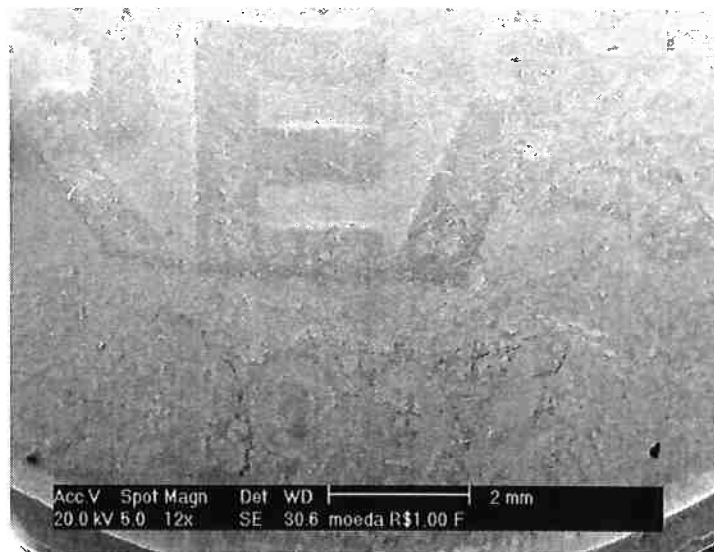


Figura 90- Moeda Falsa
(aumento 12x)

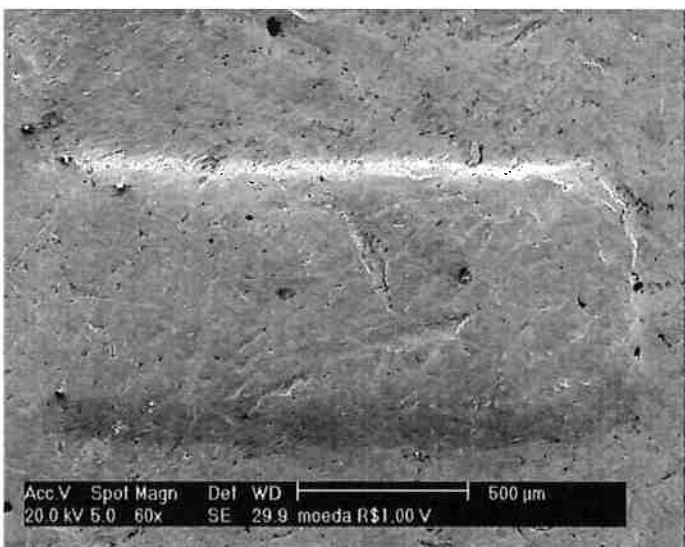


Figura 91 - Moeda verdadeira
(aumento 60x)

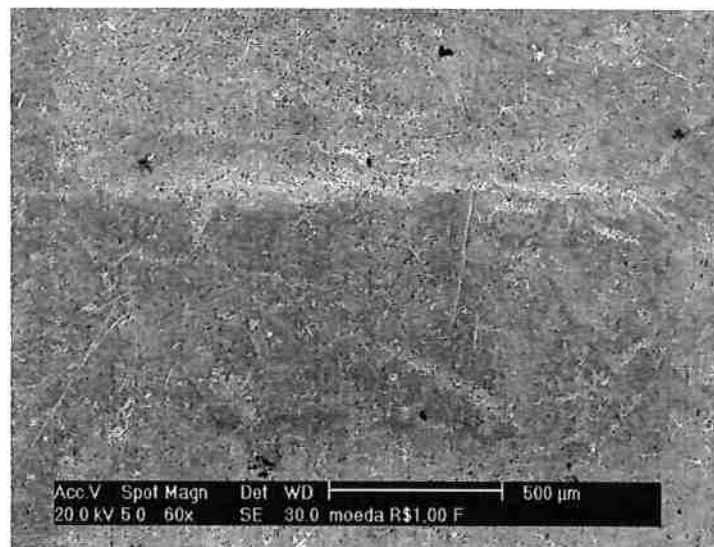


Figura 92 - Moeda Falsa
(aumento 60x)

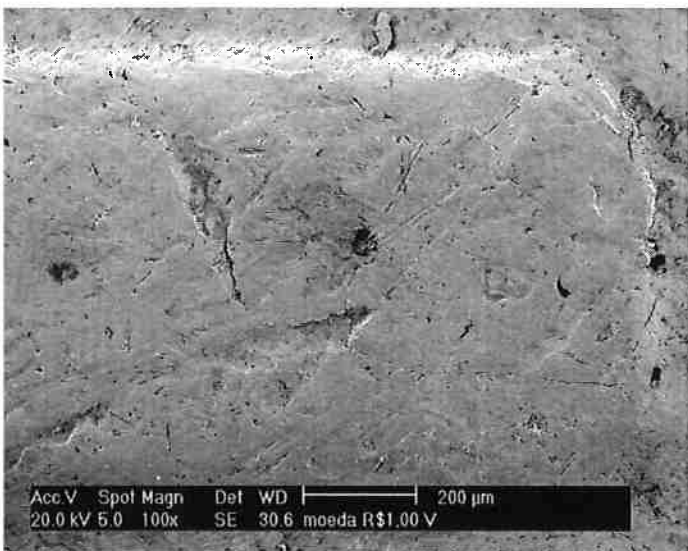


Figura 93 - Moeda verdadeira

(aumento 100x)

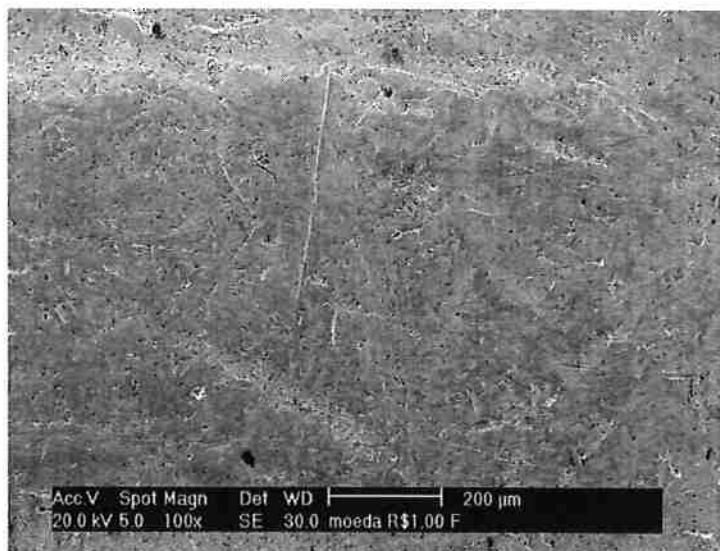


Figura 94 - Moeda Falsa

(aumento 100x)

6.5.4.1.2 Moeda de R\$ 0,25

As diferenças de relevo presentes na moeda de R\$ 0,25 considerada falsa não são tão evidentes quanto na moeda de R\$ 1 considerada falsa. Pode-se notar, no entanto que o relevo da moeda considerada falsa apresenta-se um pouco mais desgastado.

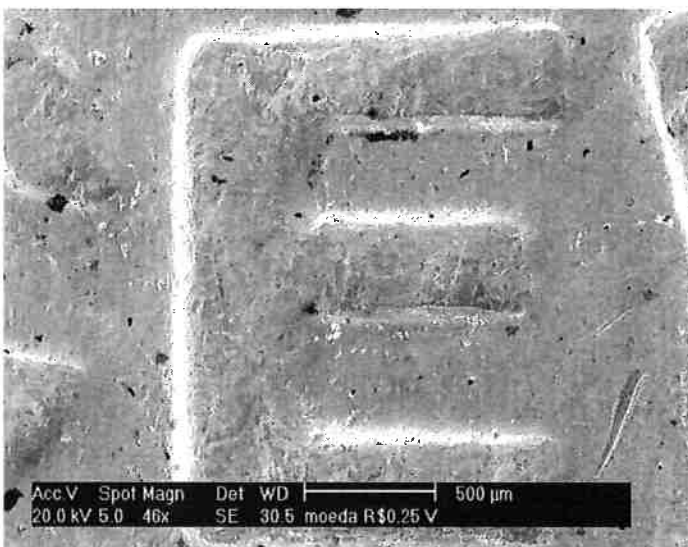


Figura 95 - Moeda verdadeira

(aumento 45x)

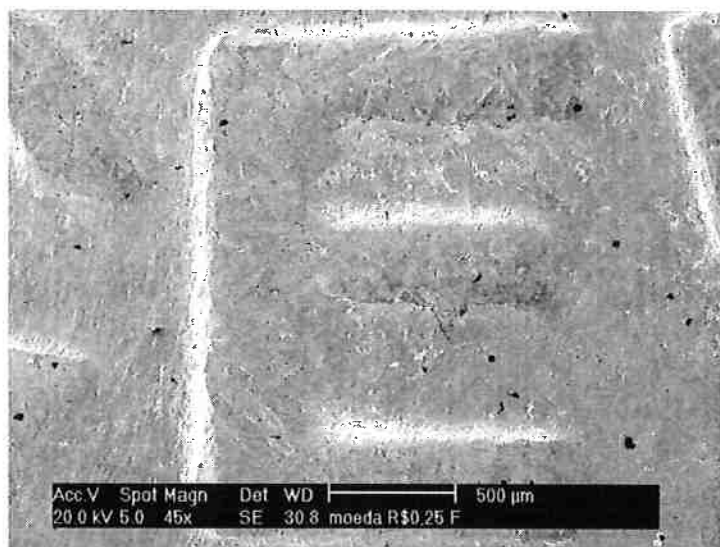


Figura 96- Moeda Falsa

(aumento 45x)

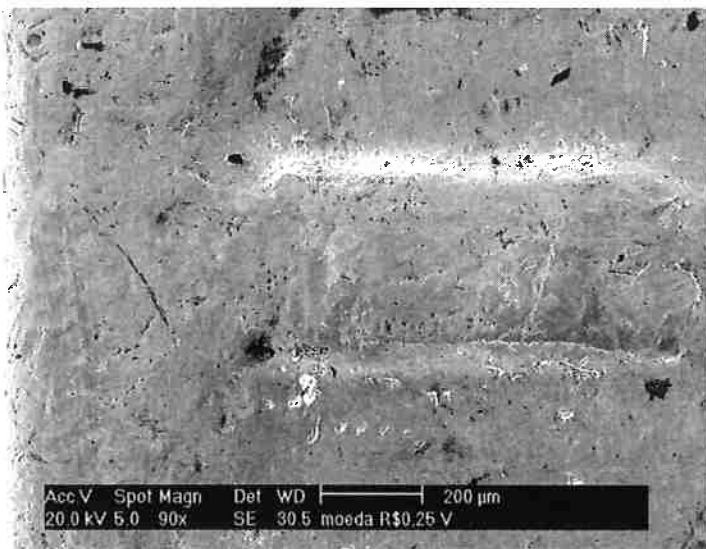


Figura 97 - Moeda verdadeira
(aumento 90x)



Figura 98 - Moeda Falsa
(aumento 90x)

6.5.4.2 Análise do Relevo das Bordas

6.5.4.2.1 Moeda de R\$ 1

O relevo das bordas das moedas de R\$ 1 verdadeira e falsa é bem semelhante quando observado no microscópio eletrônico em diversos aumentos, o que não permite que se tirem conclusões.



Figura 99 - Moeda verdadeira
(aumento 50x)

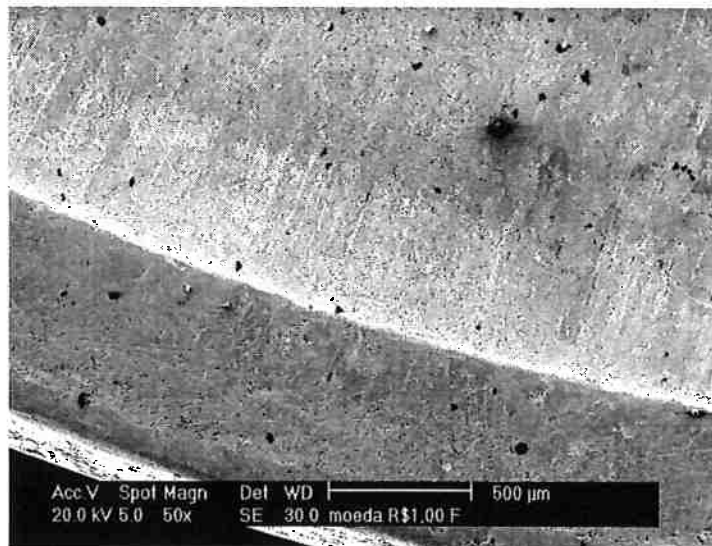


Figura 100 - Moeda Falsa
(aumento 50x)

6.5.4.2.2 Moeda de R\$ 0,25

A comparação entre o relevo das bordas das moedas de R\$ 0,25 verdadeira e a moeda falsa permite que se identifique uma grande diferença na qualidade do relevo. A moeda falsa apresenta um desgaste muito maior.

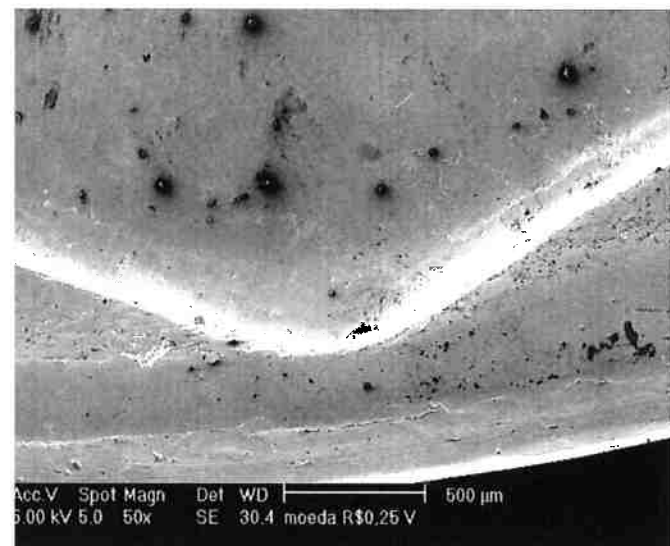


Figura 101 - Moeda verdadeira
(aumento 50x)

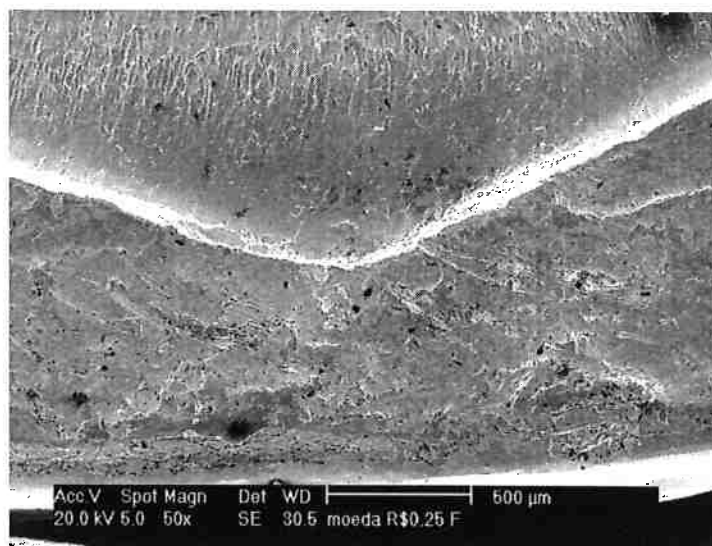


Figura 102 - Moeda Falsa
(aumento 50x)

6.5.5 Análise das Moedas em Corte

A análise da moeda de R\$ 1 em corte permite que se identifique uma característica importante para a identificação de moedas falsas. A orla da moeda falsa possui características muito diferentes da orla da moeda verdadeira.

A orla é utilizada como instrumento de segurança, dificultando a falsificação de moedas, e no caso analisado, é nítida a má qualidade da orla no caso da moeda falsa.

A moeda falsa praticamente não apresenta orla enquanto que a verdadeira apresenta uma orla bem definida. Este ponto é claramente decisivo na identificação de uma falsificação.



Figura 103 - Moeda verdadeira
(aumento 50x)

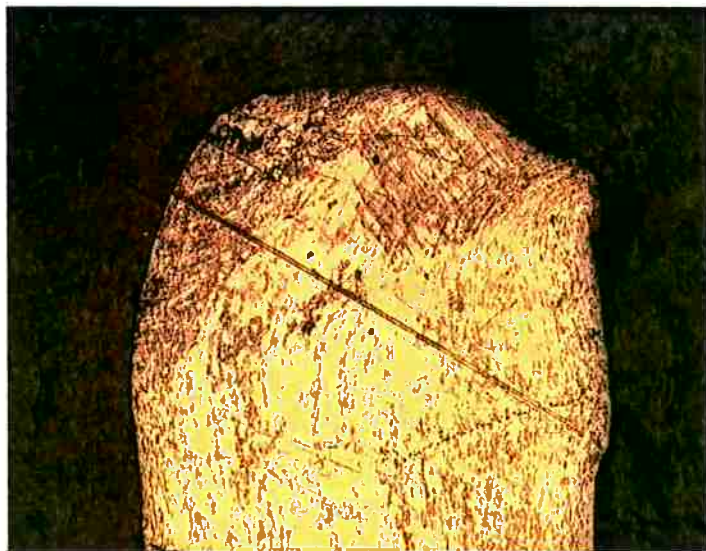


Figura 104 - Moeda Falsa
(aumento 50x)

7 Conclusões

7.1 Massas

7.1.1 Relação Massa - Valor

É possível perceber que ainda existe uma relação entre valor e massa. As moedas de maior massa são usualmente mais valiosas que as moedas mais leves e de menor tamanho. Tanto as moedas brasileiras quanto às britânicas apresentam valores crescentes de massa para valores crescentes.

A moeda brasileira de maior massa é a moeda de R\$ 0,50 da nova linhagem do Real, enquanto que a moeda britânica de maior massa é a moeda de £ 2.

Essa diferenciação entre as massas das moedas é de grande importância para facilitar a identificação de moedas de diferentes valores por pessoas portadoras de deficiências físicas, que utilizam do tato e da sensibilidade para identificar moedas de diferentes valor.

7.1.2 Perda de Massa das Moedas de £ 1 em função do Tempo

Não foi possível estabelecer uma função para a perda de massa em função do tempo para as moedas de £ 1. O universo de moedas estudadas foi pequeno para que uma correlação fosse estabelecida. Outro fato significativo é que grande parte das moedas estudadas (8 de um total de 23 moedas) foram emitidas no ano de 1983, ano em que a moeda de £ 1 como é conhecida hoje entrou em circulação.

No entanto, observam-se indícios de que a relação de perda de massa em função do tempo existe e de que pode ser mensurada, utilizando-se de um maior número de amostras. Equipamentos que simulassem o desgaste das moedas com o tempo também poderiam ser utilizados para que esta relação seja estipulada.

Em estudo semelhante realizado pela Casa da Moeda do Brasil, testes de abrasão foram conduzidos para as moedas da nova linhagem do Real através da utilização de equipamentos que simulavam condições de uso, como por exemplo o atrito das moedas com tecidos. Equipamentos deste tipo seriam necessários para que um estudo comparando as moedas brasileiras com as britânicas fosse realizado.

7.2 Densidades

Conforme esperado, as moedas de composição semelhante apresentaram densidades estatisticamente iguais. As moedas de menores tamanhos apresentaram maiores desvios devido a formação de bolhas sob as moedas durante o ensaio.

Nenhuma conclusão significativa que permita diferenciar as moedas brasileiras das britânicas pode ser tirada deste ensaio.

7.3 Dureza Vickers

Todas as moedas produzidas com ligas Cobre-Níquel, com exceção da parte interna moeda de £ 2 apresentaram valores de dureza semelhantes. A dureza de todas as moedas estudadas está na faixa de 150 a 190 HV, e a moeda de £ 2 apresenta a maior dureza dentre as moedas estudadas, apresentando uma dureza média de 205 HV. Vale lembrar que apenas duas moedas de £2 foram ensaiadas e que o desvio obtido foi de 22,09 HV.

As moedas brasileiras da primeira linhagem do Real apresentaram dureza média de 182,5 HV, valor coerente para um aço inoxidável ferrítico.

A dureza está ligada a resistência a abrasão das moedas e trata-se de uma das principais propriedades de uma moeda. A dureza das moedas brasileiras da nova série do Real está muito próxima das moedas britânicas, encontrando-se na mesma faixa de variação.

7.4 Composição Química

As moedas brasileiras novas são produzidas com ligas muito semelhantes as utilizadas no Reino Unido. Conforme já foi citado na introdução deste trabalho, estas ligas já são usadas há algum tempo e continuam a ser amplamente usadas como meio circulante devido as suas propriedades de resistência à corrosão, processabilidade adequada ao processo de cunhagem e dureza superficial. As ligas cobre-Níquel, Cobre-Níquel-Zinco e o Cobre já são usados a séculos e continuam a ser amplamente utilizados na fabricação de moedas.

As moedas que são apenas recobertas e possuem seu interior em aço possuem um menor custo de produção, pois o aço utilizado no interior destas moedas apresenta um custo menor do que materiais como o níquel, utilizado na moeda de R\$ 0,50. Além disso o processo de recobrimento dificulta a falsificação de moedas e o reaproveitamento das ligas. O disco interior destas moedas é feito em aço comum, o que justifica a necessidade das

moedas serem recobertas com substância antioxidante no transporte da fábrica de discos para a Casa da Moeda do Brasil, onde é feito o recobrimento.

As moedas brasileiras da primeira linhagem do Real são todas produzidas em aço inoxidável, o que reflete em algumas características: os dísticos destas moedas são menos complexos do que os dísticos das novas moedas do Real, as moedas apresentam um menor custo de matéria prima e os cunhos para a produção destas moedas exigem tratamentos térmicos diferenciados.

7.5 Análise das Moedas falsas

7.5.1 Massas

A massa das moedas de R\$ 1 falsa é praticamente 1 grama maior que a massa das moedas de R\$ 1 verdadeiras, propriedade esta que pode ser fundamental para a identificação de falsificações. Um maior número de moedas falsas necessitaria ser estudado para que um estudo estatístico pudesse ser conduzido a respeito.

A massa da moeda de R\$ 0,25 considerada falsa é a mesma das moedas de R\$ 0,25 verdadeiras.

7.5.2 Densidades

As densidades obtidas para as moedas falsas são estatisticamente igual a densidade obtida para as moedas verdadeiras, o que condiz com a correspondência entre as composições químicas.

7.5.3 Dureza Vickers

A dureza obtida para a moedas falsa de R\$ 1 apresentou valor maior que a obtida para a moeda verdadeira. Tal comportamento provavelmente deve-se a diferenças de tratamento térmico e um maior número de amostras seria necessário para que um comportamento típico das moedas falsas fosse identificado.

A moeda falsa de R\$ 0,25 apresentou dureza estatisticamente iguala moeda verdadeira.

7.5.4 Análise Química

A composição química obtida para as moedas falsas é praticamente a mesma do aço inoxidável utilizado nas moedas da primeira série do Real. As moedas falsas analisadas são processadas no mesmo material em que eram processadas as moedas da primeira série do Real.

7.5.5 Análise Metalográfica

A análise metalográfica mostrou que tanto a moeda de R\$ 1 verdadeira quanto a moeda de R\$ 1 falsa apresentam a microestrutura típica de um aço inoxidável ferrítico. Não é possível diferenciar a moeda falsa analisada da moeda verdadeira através deste ensaio.

7.5.6 Análise de Relevô Superficial

A análise das micrografias obtidas no microscópio eletrônico de varredura permitiu a identificação de nítidas diferenças entre as moedas falsas e verdadeiras. Tanto a moeda falsa de R\$ 1 quanto a moeda falsa de R\$ 0,25 possuem um relevô menos nítido quando observadas sob um mesmo aumento no microscópio. As moedas falsas aparentam um desgaste maior e uma menor precisão dimensional, fatores estes provavelmente decorrentes da qualidade inferior do processo de falsificação quando comparado ao processo utilizado pela Casa da Moeda do Brasil.

7.5.7 Análise do Relevô das Bordas

As bordas das moedas falsas também apresentaram diferenças quando comparadas as bordas das moedas verdadeiras. Tais diferenças são muito mais nítidas na moeda falsa de R\$ 0,25 onde a borda aparenta um desgaste muito maior que a moeda verdadeira.

7.5.8 Análise das Moedas em Corte

A análise da moeda de R\$ 1 falsa em corte e a comparação com uma moeda verdadeira em corte permitiu concluir que o processo utilizado para a falsificação da moeda em questão não permite controle sobre o formato e dimensões da orla da moeda. A orla da moeda falsa não apresenta o mesmo formato da orla da moeda verdadeira e tampouco a mesma dimensão. Tal constatação é fundamental, pois dentre as propriedades analisadas é a que mais facilmente permite a identificação de uma falsificação.

8 Bibliografia

1. Coimbra, A.V. Noções de Numismática – Numismática Geral. Simões de Paula; São Paulo, 1957.
2. Coimbra, A.V. Noções de Numismática – Numismática Brasileira – Brasil Independente. Simões de Paula, 1960.
3. Site da Casa da Moeda do Brasil. www.casadamoeda.com.br
4. Site do British Royal Mint. www.britishmint.uk
5. Gonçalves, Cleber Baptista. Casa da Moeda do Brasil. - 2 ed. rev. , ampl. e atualizada - Rio de Janeiro: Casa da Moeda do Brasil, 1989.
6. Brooke, G.C. English Coins from the Seventh Century to the Present Day. Methuen; Londres, 1932.
7. Metalurgia e Materiais. Volume 55; número 488; pág. 16-18; Junho de 1999.
8. Materials World. Volume 7; número 6; pág. 44 – 47; Junho de 1999.
9. Souza, Sérgio Augusto. Ensaaios mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.