

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E À CORROSÃO DE MOEDAS  
REVESTIDAS DE COBRE E BRONZE.

José Caetano Cabaleiro Martinez

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM  
ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

Aprovada por:

---

Prof. Lúcio Sathler, D. Sc.

---

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra, D. Sc.

---

Dra. Olga Baptista Ferraz, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
DEZEMBRO DE 2004

MARTINEZ, JOSÉ CAETANO  
CABALEIRO

Avaliação da Resistência ao Desgaste  
e à Corrosão de Moedas Revestidas de Cobre  
e Bronze. [Rio de Janeiro] 2004

X, 110p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,  
M.Sc., Engenharia Metalúrgica e de  
Materiais, 2004)

Tese – Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, COPPE

1. Moedas eletrodepositadas
2. Cobre e bronze
3. Corrosão em moedas
4. Desgaste abrasivo

I. COPPE/UFRJ II. Título (Série)

“A educação é moeda de ouro; e toda parte tem valor”.  
(Pe. Antônio Vieira)

e

“E como há três espécies de cabeças – uma, que entende as coisas por si mesma, outra que sabe discernir o que os outros entendem, e, finalmente, uma que não entende nem por si, nem sabe ajuizar o trabalho dos outros (a primeira é excelente, a segunda é muito boa e a terceira é inútil)”.

(Niccolò Machiavelli)

## **DEDICATÓRIA**

Ao Meu Pai José (Pepe) pelo carinho, experiência e garra que ainda vem mantendo na vida.

À Minha Mãe Maria Lélia que certamente estaria radiante com a realização desta Tese.

À Minha Irmã Amada Maria por tudo que faz pela Família.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, ao Deus, por conceder saúde a todos nós para participação e conclusão deste trabalho.

Ao Professor Dr. Lúcio Sathler pela amizade, profissionalismo, dedicação e ajuda na realização desta Tese.

À Casa da Moeda do Brasil pela oportunidade de realização deste trabalho técnico, principalmente pelo apoio e confiança do Departamento de Tecnologia (DETEC) cedidos pelos Engenheiros Arnaldo Martins Seixas e Roberto Barcia Ogando e demais colegas de trabalho. E ao apoio técnico dos Departamentos de Controle de Qualidade (DEPGQ), de Matrizes (DEMAT) e de Produção de Moedas (DEMOM).

Aos Professores Miranda e Ponciano pela amizade e atenção durante o Curso. E aos técnicos do Laboratório de Corrosão pela amizade, presteza e qualidade nos trabalhos realizados por Alecir Oliveira e Flávio Maia e do Sr. Júlio do Laboratório de Microscopia Ótica.

Aos colaboradores e amigos: Lucas da Cruz Franco Martinez, Ricardo Augusto Franco, Jonas, Jesus e José Gómez Laso (Sr. Pepe), Cléber Luís dos Santos, Tamara Izquierdo, Rogério Mota, José Carlos Knupp, Juarez Alves, Romicran Teixeira, Monir Camilo, Angélica, Carlos Uerley, Daniel Borges, Paulo Chaves, Dayanne Dutra, Marinho Barbosa, Raul de Oliveira Pereira, José Carlos Gomes, Marilza Tirre Motta, Frank Souza, Dayse Pinto, Balthor, Genilda, Rosana e Alexandre Grilo.

Aos amigos do Centro de Tecnologia Mineral - Luiz Gonzaga Santos Sobral (D.Sc.) e Ronaldo Luiz C. dos Santos (M.Sc.) e Diego Valentim Crescente Cara e Fátima Engel.

Aos colegas de Curso e do Laboratório de Corrosão: Isaura, Deysimar, Dayanne, Edson, Ladimir, Dalton, Flávio, Paulo Chaves, Daniel, Renato, Tarcísio, Allison, Gláucia, Leila, Helga, Carlos Alberto, George, Saint-Clair, Marcelo Castilho e Karen.

Aos comerciantes que permitiram a inspeção e trocas de suas moedas na pesquisa de campo realizada nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E À CORROSÃO DE MOEDAS REVESTIDAS DE COBRE E DE BRONZE.

José Caetano Cabaleiro Martinez.

Dezembro/2004

Orientador: Lúcio Sathler

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Moedas de R\$0,05 e de R\$0,25 cunhadas no período de 1998 até 2003 foram coletadas no meio circulante das cidades do Rio de Janeiro e Niterói para avaliação do estado da superfície e das perdas por desgaste. Foram encontradas moedas cuja coloração original tornou-se mais escurecida, moedas que apresentaram manchas de coloração vermelha, verde e negra e algumas moedas com danos no revestimento.

Foram realizados ensaios em laboratórios visando reproduzir as condições das moedas em circulação. Os ensaios em câmara de umidade, câmara de névoa salina e de imersão total produziram efeitos de corrosão semelhantes aos observados nas moedas no meio circulante. Os ensaios de desgaste em meio seco resultaram em perdas de massa inferiores aos valores observados nas moedas que estavam em circulação.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF THE ABRASION AND CORROSION RESISTANCES OF  
COINS PLATED WITH COPPER AND BRONZE.

José Caetano Cabaleiro Martinez.

December/2004

Advisor: Lúcio Sathler

Departament: Metallurgical Engineering and Materials Science

The circulating coins of R\$ 0.05 and R\$ 0.25, minted between 1998 and 2003, were collected in the cities of Rio de Janeiro and Niterói in order to evaluate the surface conditions and the wearing weigh losses. Some coins with darker color, in comparison with the new ones, were found, some others with red, green and black stains with damage in the covering surface.

Laboratory test were accomplished in order to reproduce the natural conditions of the circulating coins. The humidity and salt spray tests, as well as and total immersion tests produced corrosion effects similar to those observed in coins under circulation. The wearing tests under dry conditions have shown lower weighing losses in comparison to those for the circulating coins.

## ÍNDICE ANALÍTICO

|                                               | PÁGINA   |
|-----------------------------------------------|----------|
| <b>CAPÍTULO 1. - INTRODUÇÃO</b>               | <b>1</b> |
| <b>CAPÍTULO II. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>   | <b>3</b> |
| II.1.- Histórico das Moedas                   | 3        |
| II.2.- Atuais Moedas Brasileiras              | 5        |
| II.3.- Fabricação de Moedas                   | 6        |
| II.4.- Requisitos dos Materiais das Moedas    | 7        |
| II.5.- Discos para Moedas                     | 8        |
| II.6.- Fabricação de Discos Eletrodepositados | 13       |
| II.6.1.- Eletrodeposição dos Discos Orlados   | 13       |
| II.6.2.- Tratamento Térmico dos Discos        | 14       |
| II.6.3.- Polimento e Inspeção dos Discos.     | 15       |
| II.6.4.- Cunhagem das Moedas                  | 15       |



|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.7.- Corrosão e Desgaste das Moedas                                         | 15        |
| II.8.- Principais Ensaios Para Avaliação da Corrosão e do Desgaste das Moedas | 18        |
| <b>CAPÍTULO III. - MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                    | <b>26</b> |
| III.1.- Materiais Metálicos                                                   | 26        |
| III.1.1.- Moedas CMB                                                          | 27        |
| III.1.2.- Moedas Usadas                                                       | 28        |
| III.1.3.- Moedas Novas                                                        | 29        |
| III.2.- Métodos Experimentais                                                 | 29        |
| III.2.1.- Avaliação das Moedas Usadas                                         | 29        |
| III.2.1.1.- Coleta de Moedas Usadas                                           | 30        |
| III.2.1.2.- Limpeza das Moedas Usadas                                         | 30        |
| III.2.2.- Pesagem das Moedas                                                  | 31        |
| III.2.3.- Avaliação Dimensional das Moedas                                    | 31        |
| III.2.4.- Determinação da Dureza Superficial                                  | 32        |
| III.2.5.- Determinação da Microdureza                                         | 32        |
| III.2.6.- Ensaio de Desgaste em Tambor Rotativo                               | 33        |
| III.2.7.- Ensaio em Câmara de Umidade                                         | 35        |
| III.2.8.- Ensaio em Câmara de Névoa Salina                                    | 35        |
| III.2.9.- Ensaio de Imersão Total                                             | 35        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV. - RESULTADOS</b>                             | <b>37</b> |
| IV.1.- Avaliação das Moedas Usadas                           | 37        |
| IV.1.1.- Avaliação do Estado de Superfície das Moedas Usadas | 37        |
| IV.2.- Avaliação do Desgaste das Moedas em Circulação        | 43        |
| IV.3.- Dureza Superficial das Moedas                         | 55        |
| IV.4.- Microdureza dos Revestimentos das Moedas              | 56        |
| IV.5.- Ensaio de Desgaste                                    | 58        |
| IV.6.- Ensaios de Corrosão                                   | 63        |
| IV.6.1.- Ensaio em Câmara de Umidade                         | 63        |
| IV.6.2.- Ensaio em Câmara de Névoa Salina                    | 67        |
| IV.6.3.- Ensaio de Imersão Total                             | 70        |
| <b>CAPÍTULO V. - DISCUSSÃO</b>                               | <b>75</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. - CONCLUSÕES</b>                             | <b>81</b> |
| <b>CAPÍTULO VII. - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>      | <b>82</b> |
| <b>CAPÍTULO VIII. - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>           | <b>83</b> |
| <b>CAPÍTULO IX. - ANEXOS</b>                                 | <b>86</b> |

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUÇÃO**

As moedas em circulação estão sujeitas a meios de agressividade variada, dependendo do local (litoral, interior, quente ou frio, úmido ou seco) e do modo de uso (circulação intensa, costumes sociais). Os meios mais severos são geralmente as áreas quentes do litoral e os climas quentes e úmidos.

O desgaste é uma das formas mais severas de degradação dos materiais. O desenho e o tamanho da moeda pode ter um efeito importante na taxa de desgaste. Por outro lado, as características da corrosão, do manchamento e do desgaste estão todas inter-relacionadas, porque uma influencia na outra. A taxa de corrosão pode ser afetada pelo movimento relativo de superfícies em contato. Alternativamente, o desgaste pode ser afetado pela presença de um meio corrosivo. Portanto, as características de corrosão e de desgaste de um material são influenciadas uma pela outra, levando a um processo acelerado de destruição da superfície metálica.

São 13 as moedas que estão atualmente no meio circulante sendo que cinco moedas apresentam revestimentos eletrolíticos, duas de coloração vermelha nas taxas de R\$0,01, R\$0,05 e três de coloração amarela nas taxas de R\$0,10, R\$0,25 e R\$1,00 (anel externo da moeda bimetálica). As demais moedas são de ligas maciças de aço inoxidável AISI 430 (R\$0,01, R\$0,05, R\$0,10, R\$0,25, R\$0,50 e R\$1,00 (disco interno da moeda bimetálica), de cupro-níquel (R\$0,50 e R\$1,00 no anel interno da moeda bimetálica) e de alpaca (R\$1,00 no anel externo da moeda bimetálica).

Foram escolhidas as moedas de R\$0,05 com revestimento de cobre e de R\$0,25 com revestimento de bronze (88% Cu, 12% Sn) para serem avaliadas no meio circulante e nos ensaios de laboratório. O tipo de atmosfera mista (urbana-marinha) predominante nas cidades do Rio de Janeiro e de Niterói foi a principal razão da escolha destas cidades para coleta das moedas. Estas cidades ainda apresentam a característica de grande velocidade de circulação de moedas, proporcionando maiores taxas de desgaste devido ao atrito mecânico que são submetidas nos supermercados, comércio ambulante,

quiosques nas praias, feiras livres, açougues, peixarias, quitandas, bares, jornaleiros, nos meios de transportes rodoviário, marítimo e ferroviário e agências bancárias.

Provavelmente esta foi a primeira avaliação da corrosão e do desgaste das moedas no meio circulante, que consistiu na coleta de 200 moedas de R\$0,05 e R\$0,25 cunhadas em cada ano do período de 1998 até 2003. Estas moedas tinham que estar em perfeito estado de conservação para permitir a avaliação da superfície e a determinação da perda de massa e das perdas dimensionais ocorridas na orla e no diâmetro. Para obtenção das 2400 moedas em perfeito estado de conservação, foram manuseadas aproximadamente 15.000 moedas. Adicionalmente, as moedas apresentando manchas e danos no revestimento foram também selecionadas e consideradas como material de trabalho. Os resultados obtidos com as moedas recolhidas no meio circulante foram comparados com os ensaios de laboratório.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho das moedas de R\$0,05 e R\$0,25 em circulação, e comparar os resultados com ensaios de laboratório. Primeiramente será apresentada no Capítulo II a revisão bibliográfica contendo descrição do processo de fabricação das moedas e trabalhos de avaliação do desempenho dos materiais utilizados nas moedas. Em seguida, serão apresentados no Capítulo III os materiais e os métodos utilizados no trabalho. No Capítulo IV serão apresentados os resultados da avaliação das moedas recolhidas no meio circulante e os resultados dos ensaios de laboratório, que serão discutidos no Capítulo V. Finalmente, no Capítulo VI serão apresentadas as principais conclusões do trabalho.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **II.1- HISTÓRICO DAS MOEDAS**

Na Mesopotâmia há mais de 4500 anos, foram encontradas as primeiras peças metálicas com inscrições que relacionavam o peso de peças de prata que seriam trocadas pelas riquezas daquela época e região como rebanhos, lã, óleos e gêneros agrícolas.

O Siclo de prata era o padrão de peso empregado nos anos de 1865AC até 1804AC, com o qual eram feitas compras de quantidades também padronizadas de mercadorias, como, por exemplo, 3 medidas de cevada, 12 minas de lã ou 3 medidas de óleo de sésamo, no Governo de Kasid de Uruk. As relações do Siclo de prata com quantidades de mercadorias comercializadas chegaram a ser documentadas em inscrições gravadas em pedras, há mais de 4500 anos.

Outro exemplo clássico de padronização dos pesos de prata foi citado como Lei, no famoso achado arqueológico das pedras contendo o código de Hamurabi, Rei da Babilônia no período de 1792AC até 1750AC. Na Lei 204 do referido código dizia “Se um homem comum dá um tapa no rosto de outro, deve pagar 10 Siclos de prata como reparação”.

Os pesos padrões, que mediam a quantidade de prata e ouro (metais disponíveis na época) e eram empregados nas transações comerciais, passaram a ser fornecidos e garantidos pelas autoridades da época, no caso reis e imperadores.

Para facilitar as trocas comerciais, o ouro e a prata podiam possuir formas de pequenas barras, lingotes, fios ou arames, que eram cortados de acordo com a quantidade de mercadoria. Nas outras regiões continuavam a utilização da troca de

mercadoria da forma convencional utilizando como moedas o gado, a lã e as conchas [1].

As primeiras moedas metálicas emitidas por uma autoridade responsável pelo valor e quantidade de metais foram encontradas no século VII AC, no reino da Lídia (atualmente a Turquia). Estas moedas foram fabricadas em uma liga composta de ouro e prata denominada como electro. A unidade monetária (moeda metálica) era chamada de Stater. Cada moeda de Stater pesava 14 gramas de electro e possuía submúltiplos fracionários como  $1/6$  (2,3g),  $1/24$  (0,58g), chegando até a fração de  $1/96$  (0,15g).

A peça metálica ainda não possuía o formato convencional de moeda atual e as gravuras cunhadas eram em baixo relevo com formato de cabeça de leão (emblema dos reis da Lídia). A cunhagem era manual com auxílio de martelo, punção e bigorna. As gravuras das moedas de Stater foram obtidas por intermédio de gravações manuais realizadas nas superfícies do punção e da bigorna, que eram os cunhos da época [1,2].

A partir da idéia da emissão do Stater pelo reino da Lídia, a padronização dos meios de pagamentos em peças metálicas foi disseminada na região, chegando mais tarde até os povos gregos e romanos (Europa) e chineses e japoneses (Ásia).

Com o passar do tempo os meios de pagamento (moedas) passaram a possuir diversos formatos como: plaquetas, conchas, anéis, utensílios domésticos como chaves, facas, enxadas, evoluindo até chegar ao formato convencional das moedas utilizadas atualmente.

Com a evolução dos materiais metalúrgicos e a expansão comercial, foram desenvolvidos outros metais como o cobre e suas ligas (latão e bronze) e o ferro para as moedas de baixa denominação e de grande circulação, deixando as ligas de ouro e prata para as moedas de alta denominação [1].

No século X os comerciantes chineses identificaram o incômodo da população em transportar as pesadas moedas cunhadas em ferro, e como paliativo os comerciantes passaram a recolher as moedas e emitir recibos em papel facilitando as transações comerciais. No século seguinte XI as autoridades chinesas passaram a emitir os recibos

usados por comerciantes com valores fixos. Desta forma estava iniciando a produção da cédula convencional em papel, a qual viria facilitar as transações comerciais de altos valores [1].

A produção de moedas em série na Europa começou na Grã-Bretanha durante o século IX. No século XII, as moedas começaram a ser cunhadas na Espanha, no Reino de Afonso VI. Os primeiros Florins foram cunhados em 1252 e os Ducados foram cunhados pela República da Veneza em 1284. No final do século XV a moeda Thaler se tornou a moeda de prata mais importante para a Europa Central. O nome da moeda americana Dólar é proveniente desta moeda [3].

No Brasil, as primeiras moedas brasileiras foram cunhadas em 1694 pela Casa da Moeda do Brasil, na época situada no Estado da Bahia. Atualmente, com 310 anos de existência, a Casa da Moeda do Brasil possui seu parque industrial localizado na Cidade do Rio de Janeiro [4].

## **II.2- ATUAIS MOEDAS BRASILEIRAS**

O meio circulante brasileiro em 2004 é constituído por 13 moedas distribuídas em duas famílias de moedas: a primeira foi emitida em 1994, formada por moedas de coloração branca, e cunhadas em aço inoxidável AISI 430 (R\$0,01, R\$0,05, R\$0,10, R\$0,25, R\$0,50 e R\$1,00). A moeda de R\$1,00 desta família foi retirada do meio circulante em 2004 e substituída pela atual moeda bimetálica. A segunda família de moedas foi emitida em 1998, e composta por 8 moedas nas denominações de R\$0,01 e R\$0,05 (coloração vermelha cunhadas em discos de aço baixo-carbono com revestimento de cobre), R\$0,10 e R\$0,25 (na coloração amarela cunhadas em discos de aço baixo-carbono com revestimento de bronze), R\$0,50 (coloração branca cunhada inicialmente na liga cupro-níquel e a partir de 2002 cunhada em aço inoxidável) e R\$1,00 (moeda bimetálica com duas colorações - disco interno branco e anel externo amarelo - cunhada inicialmente em liga cupro-níquel e anel externo na liga alpaca, sendo que a partir de 2002 passou a ser cunhada em disco de aço inoxidável com anel externo de aço baixo-carbono com revestimento amarelo de bronze). Assim, o meio

circulante brasileiro convive com 5 materiais metálicos diferentes, ou seja, aço inoxidável AISI 430, revestimento de cobre, revestimento de bronze e as ligas cupro-níquel e alpaca.

As moedas estudadas no presente trabalho são as de R\$0,05 e de R\$0,25, constituídas de discos de aço baixo-carbono com revestimento de cobre (R\$0,05) ou de bronze (R\$0,25).

### **II.3- FABRICAÇÃO DE MOEDAS**

Antigamente, o processo de fabricação dos cunhos e das moedas era todo artesanal. Os discos de metais nobres como os de ouro e de prata eram pesados antes da operação de cunhagem. Os gravados dos relevos eram feitos manualmente na própria superfície do cunho e da bigorna, e a força para a cunhagem era de origem muscular e realizada pela figura tradicional do moedeiro.[4] Atualmente, as máquinas para cunhagem de moedas modernas produzem aproximadamente 800 moedas por minuto.

Exemplos da necessidade de máquinas de alta produção e de grandes volumes de produtos metalúrgicos (bobinas de ligas ferrosas e não ferrosas, anodos para revestimentos dos discos e aços especiais para fabricação das ferramentas para cunhagem) podem ser citados, sendo o mais recente o caso da troca do meio circulante ocorrida na Comunidade Européia com a implantação do EURO. Para o lançamento do EURO em Janeiro de 2002, foi estimada a cunhagem de 285.000 toneladas de moedas para substituição em 12 países da Comunidade. A tolerância técnica destas moedas admite um desvio máximo de 0,03mm para as dimensões e de 1% para o peso das moedas [5]. No Brasil, a substituição das moedas durante as reformas monetárias do Cruzeiro, Cruzeiro Novo, Cruzado, Cruzado Novo e Real envolveu a produção de grandes quantidades de moedas.



## II.4- REQUISITOS DOS MATERIAIS DAS MOEDAS

A seleção dos materiais para fabricação de moedas de alta ou baixa denominação requer um conhecimento prévio de diversas áreas da Engenharia como a Metalúrgica, a Mecânica, a Química e a de Produção.

As moedas devem ser fabricadas de preferência nos materiais metálicos mais abundantes e disponíveis em bobinas para uso nas prensas de corte de produção dos discos. Como exemplo podem ser citados os aços de baixo-carbono, os aços inoxidáveis e as ligas de alumínio.

Na seleção do material metálico para produção dos discos devem ser consideradas as seguintes propriedades físicas e químicas, segundo Weldom [6] e Patarini [7].

- Ponto de fusão - relacionado com os custos de energia para produção das ligas, bobinas e discos;
- Densidade - relacionada com o peso da moeda que implicará na aceitabilidade da moeda pelo público e custos de transportes da matéria-prima e das moedas;
- Propriedades mecânicas como tensão de escoamento, alongamento, módulo de elasticidade, dureza e acabamento superficial. Estas propriedades estão relacionadas com os custos de corte dos discos, com a maior qualidade da cunhagem das moedas inclusive dos detalhes dos gravados, bem como a vida útil do ferramental de cunhagem e dos componentes da máquina de cunhagem;
- Coloração - usada para facilitar a identificação das taxas das moedas pelo público;
- Propriedades eletromagnéticas - como condutividade elétrica utilizada nos mecanismos das máquinas de venda automática e de seleção de moedas. Determinados materiais são específicos para uso nestas máquinas possuindo valores únicos de propriedades eletromagnéticas que evitam a fraude e a falsificação da moeda;
- Resistência à corrosão e ao desgaste – implica diretamente na vida útil da moeda no meio circulante que entra em contato com diversos tipos de atmosferas e

meios agressivos inclusive recebendo um grande número de choques mecânicos durante as transações comerciais, bem como nas máquinas de seleção de moedas e em quedas acidentais. A perda de coloração está relacionada com este item sendo um fator de aceitação da moeda pela população;

- Além da procura de ligas metálicas de menor custo, deve-se analisar a estabilidade dos preços dos metais no mercado internacional. Isto porque as variações constantes no preço do metal nas bolsas de metais internacionais podem comprometer a vida da moeda no meio circulante;
- Outro requisito importante é o risco de desamoedamento interno quando o custo do metal imobilizado (valor intrínseco) ultrapassa o valor nominal da moeda causando a retirada das moedas do meio circulante para serem transformadas em matéria-prima em fundições e galvanoplastias. Este risco é reduzido quando a reciclagem destas ligas necessita de conhecimentos técnicos especializados, equipamentos especiais para transformação e baixo valor como sucata.

## **II.5- DISCOS PARA MOEDAS**

Atualmente as ligas de ouro e prata são de uso exclusivo para produção de moedas comemorativas. Estas moedas possuem seus valores faciais bem inferiores em relação ao peso do metal nobre imobilizado.

As moedas encontradas no meio circulante são cunhadas em discos de materiais metálicos que são classificados em: a) discos maciços; b) discos cladeados e c) discos eletrodepositados.

Os discos maciços ou homogêneos são fabricados a partir de liga metálica maciça ou homogênea e são os mais usados no mundo, pois são cortados diretamente de bobina de liga maciça [9]. Os materiais maciços mais utilizados no Brasil foram: ouro, prata, bronze, cobre, aço inoxidável, alumínio, cupro-níquel, níquel e alpaca [4].

Os discos cladeados ou sanduíches são fabricados a partir de uma bobina central mais espessa que recebe duas camadas externas de outra liga metálica. O objetivo do

material metálico cladeado é a menor imobilização de materiais mais nobres e obtenção de propriedades especiais existentes nos materiais laminados.

O método para fabricação dos “clads” para cunhagem foi desenvolvido na Alemanha, mas a Romênia foi o primeiro país que utilizou esta tecnologia na década de 40, na cunhagem da moeda de 100 Leu com um “clad” formado por camada central de aço-carbono com duas camadas externas de níquel [10]. Atualmente, o uso de moeda cladeada continua difundido nos Estados Unidos da América nas moedas em circulação de US\$0,10, US\$0,25, US\$0,50 e US\$1,00 e na Comunidade Européia onde são usados “clads” de alta segurança para as moedas de alta denominação de 1 e 2 Euros [11].

A identificação de moedas cladeadas é simples, pois na borda da moeda aparecem as camadas dos dois revestimentos externos e do revestimento central. Para melhorar as propriedades contra corrosão e desgaste principalmente nas bordas expostas é aplicada uma fina camada de material eletrodepositado, segundo Jacke [12] e Telieps e Rinke [13].

Finalmente, os discos eletrodepositados, que constituem os materiais básicos utilizados no presente trabalho, começaram a ser produzidos para a nova família do Real a partir de 1998 e aplicados nas taxas de R\$0,01, R\$0,05, R\$0,10, R\$0,25 e R\$1,00 no anel da moeda de R\$1,00. As moedas cunhadas em 1998 e parte da produção de 1999 foram fabricadas com discos importados do Canadá. A partir de 1999 a Casa da Moeda do Brasil (CMB) passou a produzir estes discos na sua fábrica.

Os discos eletrorevestidos foram lançados em 1977 pela empresa canadense Sherritt Gordon Limited, cujo produto inicial era um disco de aço baixo-carbono com revestimento de níquel, com 16% em peso da moeda, e conhecido como NBS - Nickel Bonded Steel. A partir de 1984 o disco eletrodepositado com 16% de níquel foi reduzido para apenas 6%Ni [14].

Uma característica técnica especial do disco eletrodepositado é o “efeito de pontas” onde é depositado maior quantidade de material na borda do disco em relação ao centro. A camada mais espessa do revestimento aumenta a resistência à corrosão principalmente quando as moedas são serrilhadas ou com inscrições na orla. Os

revestimentos usados na fabricação de moedas são cobre, latão, bronze, níquel e multicamadas.

As principais vantagens dos discos revestidos são: reduzida imobilização de metal mais nobre nas moedas; possibilidade de uso de ligas coloridas em uma família de moedas; menor risco de desamoedamento interno devido às dificuldades de reprocessamento dos discos e do seu baixo valor como sucata; boa relação custo/benefício da moeda eletrodepositada em relação a moeda maciça; aceitação das moedas em máquinas de venda [15].

Discos eletrodepositados são fabricados pelas Casas da Moeda do Brasil, do Canadá, da África do Sul, da China e do Reino Unido, e por empresas privadas dos EUA (Altrista), do Canadá WESTAIM e da Alemanha a VDN AG (Vereinigte Deutsche Nickel-Werke) e Krupp VDM (Verinigte Deutsche Metallwerke AG).

Discos de aço ou de zinco com revestimento de cobre são usados em moedas de baixa denominação no Brasil e no EUA. O revestimento do aço com latão (liga Cu-Zn) em moeda de média denominação e o revestimento do aço com bronze (liga Cu-Sn) e com níquel em moeda de média/alta denominação. A moeda de 1 Dólar Canadense foi fabricada com substrato de níquel e revestimento de bronze, com o propósito de obter características especiais contra fraudes e falsificações, e aceitação nas máquinas de seleção de moedas e de venda automática [16].

Ruscoe [14] avaliou a vida útil das moedas eletrodepositadas com níquel durante 20 anos, na taxa de 5 centavos, de El Salvador, e comprovou o bom desempenho das moedas no meio circulante. As perdas dimensionais ocorreram nas áreas de maiores relevos e na altura da orla que perdeu de 13 até 58  $\mu\text{m}$ , e perda no diâmetro que atingiu até 19 $\mu\text{m}$ .

Os discos eletrodepositados para produção de moedas são usados em muitos países como: Brasil, Inglaterra, Canadá, África do Sul, Estados Unidos da América, China e pela Comunidade Européia. As *tabelas II.1, II.2 e II.3* a seguir apresentam os principais materiais dos discos maciços, cladeados e eletrodepositados, respectivamente.

Tabela II.1 – Especificação dos materiais para discos maciços [17].

| Liga maciça            | Especificação Norma DIN | Composição Química % | Densidade Kg /dm <sup>3</sup> | Dureza Vickers | Propriedades       |
|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|
| Níquel puro            | Ni 99.2                 | Ni ≥ 99,2            | 8,9                           | 85             | Branco             |
| Cupro-níquel 25        | CuNi25                  | Cu 75, Ni 25         | 8,9                           | 80             | Branco             |
| Cupro-níquel 16        | CuNi16                  | Cu84, Ni16           | 8,9                           | 75             | Amarelo-claro      |
| Cupro-níquel 10        | CuNi10                  | Cu90, Ni10           | 8,9                           | 75             | Vermelho-claro     |
| Cupro-níquel 8         | CuNi8                   | Cu92, Ni8            | 8,9                           | 70             | Vermelho           |
| Prata Alemã 25         | CuNi25Zn15              | Cu60, Ni25, Zn15     | 8,8                           | 85             | Branco             |
| Prata Alemã 15         | CuNi15Zn25              | Cu60, Ni15, Zn25     | 8,7                           | 85             | Branco             |
| Prata Alemã 9          | CuNi9Zn24               | Cu81, Ni9, Zn10      | 8,75                          | 70             | Amarelo            |
| Tombac 95/5            | CuZn5                   | Cu 95, Zn5           | 8,9                           | 65             | Vermelho           |
| Tombac 90/10           | CuZn10                  | Cu90, Zn10           | 8,8                           | 70             | Vermelho           |
| Tombac 85/15           | CuZn15                  | Cu85, Zn15           | 8,8                           | 70             | Vermelho-dourado   |
| Latão72/28             | CuZn28                  | Cu72, Zn28           | 8,6                           | 75             | Amarelo            |
| Latão70/30             | CuZn30                  | Cu70, Zn30           | 8,5                           | 75             | Amarelo            |
| Níquel latão           | CuZn20Ni                | Cu79, Zn20, Ni1      | 8,7                           | 70             | Amarelo-dourado    |
| Met.cunhagem-Bronze I  | CuZn2,5 Sn0,5           | Cu97, Zn2,5, Sn0,5   | 8,83                          | 80             | Vermelho           |
| Met.cunhagem-Bronze II | CuZn3Sn2                | Cu95, Zn3, Sn2       | 8,83                          | 80             | Vermelho           |
| Met.cunhagem-Bronze IV | CuZn1Sn4                | Cu95, Zn1, Sn4       | 8,83                          | 80             | Vermelho           |
| Alumínio-bronze8       | CuAl8                   | Cu92, Al8            | 7,7                           | 90             | Amarelo            |
| Al, Ni, bronze 6       | CuAlNi2                 | Cu92, Al6, Ni2       | 8,1                           | 85             | Amarelo            |
| Al, Ni bronze 5        | CuAlNi2                 | Cu93, Al5, Ni2       | 8,1                           | 85             | Amarelo            |
| Al, Ni, bronze F       | CuNi6Al2                | Cu92, Ni6, Al2       | 8,6                           | 85             | Marrom-avermelhado |
| Liga leve I            | AlMg1                   | Al99, Mg1            | 2,69                          | 85             | Branco             |
| Liga leve 2,5          | AlMg2,5                 | Al97,5, Mg2,5        | 2,69                          | 85             | Branco             |
| Liga leve 3            | AlMg3                   | Al97, Mg3            | 2,69                          | 85             | Branco             |

|             |           |                 |      |     |                     |
|-------------|-----------|-----------------|------|-----|---------------------|
| Liga leve 4 | AlMg4     | Al96, Mg4       | 2,65 | 95  | Branco              |
| Liga leve 5 | AlMg5     | Al95, Mg5       | 2,64 | 95  | Branco              |
| Crofer 1300 | X7Cr13    | Fe87, Cr13      | 7,7  | 140 | Branco, ferrítico   |
| Crofer 1809 | X5CrNi189 | Fe73, Cr18, Ni9 | 7,9  | 140 | Branco, austenítico |

Tabela II.2 – Especificação dos materiais para discos cladeados [17].

| Disco cladeado       | Especificação Norma DIN | Composição Química %   | Densidade Kg /dm <sup>3</sup> | Dureza Vickers | Propriedades         |
|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| Clad Cobre/Fe        | Cu/Fe/Cu                | Aço 0,10C e Cobre.     | 7,95                          | 90             | Vermelho e magnético |
| Clad latão/Fe        | CuZn/Fe/CuZn            | Aço 0,10C e Cu75, Zn25 | 7,95                          | 90             | Amarelo e magnético. |
| Clad cupro-níquel/Fe | CuNi/Fe/CuNi            | Aço 0,10C e Cu75, Ni25 | 7,95                          | 95             | Branco e magnético   |
| Clad Níquel/Fe       | Ni/Fe/ Ni               | Aço 0,10C e Ni         | 7,95                          | 100            | Branco e magnético   |
| Clad CuNi/Ni.        | CuNi/Ni/CuNi            | Ni e Cu75, Zn25        | 8,9                           | 85             | Branco (Euro)        |
| Clad Ni/CuNi         | Ni/CuNi/Ni              | Cu75, Zn25 e Ni        | 8,8                           | 70             | Branco               |

Tabela II.3 – Especificação dos materiais para discos eletrodepositados.

| Disco Eletrodepositado | Composição Substrato | Coloração |
|------------------------|----------------------|-----------|
| Cobreado 1 (Cu)        | Aço baixo-carbono    | Vermelha  |
| Cobreado 2 (Cu)        | Alumínio             | Vermelha  |
| Cobreado 3 (Cu)        | Zinco                | Vermelha  |
| Bronze 1 (CuSn)        | Aço baixo-carbono    | Amarela   |
| Bronze 2 (CuSn)        | Alumínio             | Amarela   |
| Bronze 3 (CuSn)        | Níquel               | Amarela   |
| Niquelado 1 (Ni)       | Aço baixo-carbono    | Branca    |
| Niquelado 2 (Ni)       | Alumínio             | Branca    |
| Latonado (CuZn)        | Aço baixo-carbono    | Amarela   |

|                                |                   |          |
|--------------------------------|-------------------|----------|
| Multi-camada 1:<br>(Ni+Cu)     | Aço baixo-carbono | Vermelha |
| Multi-camada2:<br>(Ni+Cu+Ni)   | Aço baixo-carbono | Branca   |
| Multi-camada3:<br>(Ni+Cu+CuSn) | Aço baixo-carbono | Amarela  |

## II.6- FABRICAÇÃO DE DISCOS ELETRODEPOSITADOS

As principais etapas do processo de fabricação dos discos eletrodepositados são: eletrodeposição do revestimento nos discos orlados; tratamento térmico dos discos; polimento dos discos; seleção e inspeção dos discos[15]. Concluídas estas etapas, os discos estão prontos para cunhagem das moedas. A seguir será apresentada uma breve descrição das etapas do processo.

### II.6.1- ELETRODEPOSIÇÃO DOS DISCOS ORLADOS

Para a produção das moedas eletrodepositadas, o primeiro passo é a fabricação dos discos orlados de aço baixo-carbono. Os discos são cortados em prensas que trabalham com a matéria-prima fornecida na forma de bobina. A ferramenta de corte é composta por uma matriz em conjunto com uma bateria de punções de corte, de acordo com a largura da bobina.

Após o corte, os discos são classificados em um sistema de controle dimensional formado por bandejas perfuradas que classificam os discos de acordo com as dimensões especificadas. Após seleção, os discos são rebarbados e orlados. As máquinas para orlagem garantem o formato da orla e as dimensões ideais da altura da orla e do diâmetro dos discos. Os discos orlados seguem para a linha de deposição eletrolítica de cobre ou de bronze. Uma carga pré-determinada de aproximadamente 120 kg de discos é introduzida nos tambores rotativos que são imersos em banheiras contendo os produtos de limpeza e lavagem.

A limpeza dos discos é uma operação fundamental que precede a eletrodeposição. A operação consiste na retirada de óleos, sujeiras aderidas e de óxidos presentes na superfície dos discos. Nesta operação incluem os processos de desengraxe alcalino com detergente, com ou sem passagem de corrente, e decapagem ácida. Entre cada banho é realizada no mínimo uma lavagem dupla com água corrente em contra fluxo.

Os banhos eletrolíticos para deposição de cobre e de bronze são comerciais, à base de cianetos. As condições operacionais referentes à densidade de corrente e tempo de deposição de 5 horas para o disco de cobre e 5,5 horas para o disco de bronze, são ajustadas por meio de controladores lógicos programáveis. Horner [18] cita a boa aderência dos depósitos produzidos pelos eletrólitos cianídricos de cobre com deposição direta sobre aço-carbono, ligas de zinco, ligas de cobre e ligas de alumínio. O autor exemplifica o uso do banho de cobre na produção das moedas americanas de US\$ 0,01 com substrato de zinco. Também ressalta o brilho do revestimento após a cunhagem do disco e o bom desempenho da moeda quanto à corrosão no meio circulante.

Finalmente os discos passam por uma lavagem tripla com água corrente em contra fluxo e secos com jatos de ar quente e sabugos de milho em uma máquina centrífuga. O controle da espessura de camada eletrodepositada ( $35\text{ }\mu\text{m}$ ) é realizado pelo método de pesagem que permite estimar a espessura obtida na eletrodeposição [19]. A análise química da camada é feita por um espectrômetro de absorção de massa com padrão para o cobre (100%Cu) e para o bronze (88%Cu, 12%Sn).

## **II.6.2- TRATAMENTO TÉRMICO DOS DISCOS**

Os discos eletrodepositados seguem para o tratamento térmico de recozimento em fornos de esteira com atmosfera controlada. O objetivo do tratamento térmico é reduzir a dureza do depósito e do substrato, bem como formar uma camada de difusão substrato/revestimento. A importância do tratamento térmico é verificada no aumento da vida útil das ferramentas e das máquinas de cunhagem, bem como melhoria nas



propriedades mecânicas para obtenção dos relevos cunhados e a garantia de aderência do revestimento. No caso das moedas de R\$0,05 e R\$0,25 há uma redução da dureza superficial de aproximadamente 70 HR30T (discos sem tratamento térmico) para cerca de 47 HR30T após tratamento térmico. O tratamento térmico dos discos é feito à temperatura de aproximadamente 800°C para os discos de cobre e de 900°C para os discos de bronze, com duração em torno de 10 minutos.

### **II.6.3- POLIMENTO E INSPEÇÃO DOS DISCOS**

Após tratamento térmico os discos passam por operações de limpeza para retirada de rebarbas e de polimento, resultando em rugosidade máxima de 0,4 µm. Também são removidas as manchas, sujeiras e oxidações superficiais, tornando os discos orlados calibrados e com menor atrito para alimentação nas máquinas de cunhagem. Finalmente 100% dos discos passam por máquinas selecionadoras para verificação da altura de orla e do diâmetro para aprovação final. Parte da produção é avaliada por um sistema de inspeção ótica automática para avaliação de defeitos superficiais e dimensionais.

### **II.6.4- CUNHAGEM DAS MOEDAS**

A produção de uma prensa de cunhagem é de 400 moedas por minuto, usando um ferramental para cunhagem composto por um par de cunhos e uma virola. Na virola o disco é posicionado e recebe a transferência dos relevos gravados por intermédio de altas cargas mecânicas. O ajuste entre a virola e o par de cunhos determina a altura da orla e do diâmetro, bem como o tipo de borda.

### **II.7- CORROSÃO E DESGASTE DAS MOEDAS**

O Brasil apresenta extensão continental, com atividades econômicas presentes em todo território nacional. O clima é variado e as moedas estão sujeitas a meios com agressividade variada, dependendo do local como regiões do litoral, interior, se é quente ou frio e se é úmido ou seco. Adicionalmente, as moedas em circulação estão sujeitas ao desgaste que por sua vez é afetado pelo tipo de material da moeda, densidade, projeto, dimensões e atmosfera do meio circulante.

De acordo citação de Gentil [21], Hudson classificou as atmosferas de acordo com a localização e as atividades econômicas desenvolvidas pelo homem, sendo elas: 1) Rural; 2) Marinha; 3) Industrial-marinha; 4) Industrial; e 5) Fortemente poluída.

As cidades do Rio de Janeiro e Niterói, onde foram coletadas as moedas utilizadas no presente trabalho, possuem uma atmosfera mista urbana/marinha e clima tropical. Segundo Kutzelnigg [19] a atmosfera urbana contém partículas em suspensão e anidrido sulfuroso, enquanto que a atmosfera marinha é geralmente úmida e fortemente salina, favorecendo a corrosão.

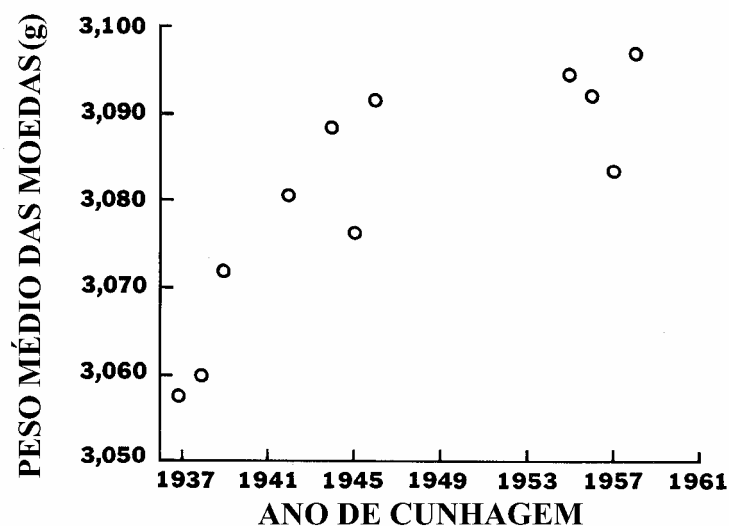
O cobre e suas ligas formam filmes de óxidos/hidróxidos que resulta na alteração da cor inicial do metal. Estudos teóricos com bases termodinâmicas foram desenvolvidos por Pourbaix [20] os quais mostram as possibilidades de corrosão, não corrosão e de formação de pátinas protetoras do cobre na presença de diferentes atmosferas, a 25°C, em função do potencial de eletrodo e do pH do meio. Estudando o sistema Cu-H<sub>2</sub>O, o autor definiu os domínios de estabilidade termodinâmica dos óxidos Cu<sub>2</sub>O (vermelho), CuO (preto) e o hidróxido Cu(OH)<sub>2</sub> (azul). Para o sistema Cu-Cl-H<sub>2</sub>O (35 a 35 000 ppm Cl), além dos óxidos Cu<sub>2</sub>O e CuO, também apresentam estabilidade termodinâmica os sólidos CuCl e 3Cu(OH)<sub>2</sub>.CuCl<sub>2</sub>. Considerando o sistema Cu-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (4 400 ppm CO<sub>2</sub>), além dos óxidos Cu<sub>2</sub>O e CuO, são também estáveis as espécies sólidas CuCO<sub>3</sub>.Cu(OH)<sub>2</sub> e 2CuCO<sub>3</sub>.Cu(OH)<sub>2</sub>. Finalmente, para o sistema Cu-Cl-CO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O (22 ppm Cl, 229 ppm CO<sub>2</sub>, 46 ppm SO<sub>3</sub>) o autor indica os seguintes sólidos estáveis termodinamicamente: cuprita Cu<sub>2</sub>O, tenorita CuO, malachita CuCO<sub>3</sub>.Cu(OH)<sub>2</sub>, nantokita CuCl, brocantita CuSO<sub>4</sub>.3Cu(OH)<sub>2</sub> e antlerita CuSO<sub>4</sub>.2Cu(OH)<sub>2</sub>.

Segundo Gentil [21], filmes de óxidos e produtos de corrosão são formados sobre estruturas de cobre e suas ligas expostas à atmosfera. Inicialmente, forma o óxido Cu<sub>2</sub>O de cor marrom avermelhada, e com a continuidade da oxidação este óxido passa a CuO, de coloração preta. A perda de coloração do cobre e suas ligas em atmosfera marinha ocorre com a formação de atacamita ou cloreto básico de cobre - (CuCl<sub>2</sub>.3Cu(OH)<sub>2</sub>). Na atmosfera industrial poluída, contendo ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e

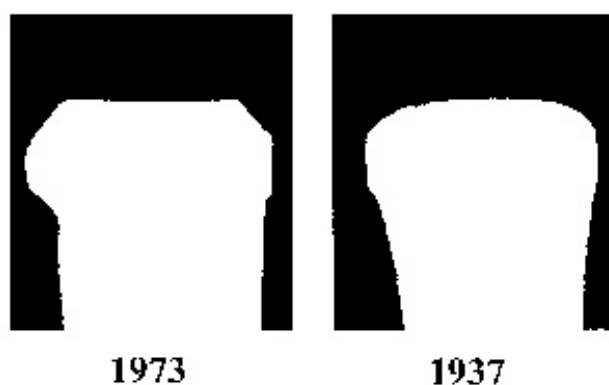
amônia ( $\text{NH}_3$ ), as espécies  $\text{Cu}_2\text{S}$  e  $\text{CuS}$  passam a sulfatos básicos insolúveis, de cor esverdeada como a brocantita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ), a anterita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) de cor negra e o produto  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$  de cor azulada.

Ruscoe [14] ao fazer uma análise histórica sobre desgaste de moedas, relatou o caso de moedas canadenses que estiveram em circulação por mais de 40 anos e apresentavam perda de massa 5 vezes menor para a liga de cupro-níquel em relação à liga de prata. Ainda, referente às moedas suíças com 85 anos em circulação, foi verificado que moedas de níquel apresentavam perda de massa 3 vezes menor do que as moedas de cupro-níquel. Ruscoe constatou que a perda de massa de moedas cunhadas em discos de aço baixo-carbono eletrodepositados com níquel foi similar em relação às moedas de níquel puro, porém, esta perda de massa foi 3 vezes menor em relação às moedas de cupro-níquel.

Numa análise sobre ensaios para avaliação da corrosão e do desgaste de moedas, Baboian [22] lembrou que o projeto da moeda, incluindo o tamanho e o desenho, pode ter um efeito importante sobre a taxa de desgaste do material. O autor citou um trabalho da literatura em que foi verificado um aumento da taxa de desgaste em função da quantidade de desgaste da moeda. No caso, a *figura II.1* representa a variação do peso médio de moedas americanas de US\$0,01 coletadas no meio circulante em 1973, com os respectivos anos de cunhagem de 1937 até 1961. Os resultados indicam que a variação de peso da moeda em circulação por mais de 25 anos é muito maior do que para as moedas com menos de 25 anos. A *figura II.2* permite comparar o desgaste nas áreas de maior relevo, diâmetro e orla, da moeda que ficou 35 anos em circulação em relação a uma moeda cunhada no mesmo ano mas que não entrou em circulação. A *figura II.2* mostra que a moeda em circulação sofreu um desgaste considerável na orla [22].



*Figura II.1.* Peso médio das moedas de US\$0,01 no meio circulante em função do ano de cunhagem. Avaliação em 1973 [22].



*Figura II.2.* Seção de corte de moedas de US\$0,01cunhadas em 1937. Direita: moeda que não entrou em circulação. Esquerda: moeda desgastada [22].

## **II.8.- PRINCIPAIS ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA CORROSÃO E DO DESGASTE DAS MOEDAS**

O programa de testes de laboratório para avaliação da corrosão e do desgaste de moedas desenvolvido pelo Laboratório de Corrosão da “Texas Instruments Incorporated” [22] serviu de referência na avaliação das moedas brasileiras. A seguir são indicados os ensaios propostos.

- 1-Imersão total em solução 5%NaCl;

- 2-Ensaio em câmara de névoa salina (ASTM B117-73);
- 3-Imersão cíclica em solução 5%NaCl e em solução de suor sintético;
- 4-Perda de coloração (“table top”), utilizando solução 5%NaCl e solução de suor sintético;
- 5-Desgaste em tambor;
- 6-Desgaste em tambor com ciclo de umidade (10 a 90%), em atmosfera marinha e poluída.

Os procedimentos de alguns ensaios indicados acima foram modificados e outros ensaios foram introduzidos com o propósito de atender as condições de clima e de uso das moedas no Brasil. Os estudos prévios de corrosão e de desgaste das moedas brasileiras foram desenvolvidos com parceria técnica da Casa da Moeda do Brasil, COPPE-UFRJ e CETEM-MCI. A seguir será apresentada uma breve descrição das modificações introduzidas no programa de ensaios indicado acima, e em alguns casos serão apresentados os resultados obtidos.

O ensaio de imersão total foi primeiramente realizado em solução 5%NaCl e em solução de suor sintético. Os resultados indicaram que as soluções são muito agressivas, sendo impróprias para avaliação de revestimentos de cobre e suas ligas. Atualmente, o ensaio é feito em solução 0,1 M NaCl de pH 7, com discos eletrorrevestidos, moedas e corpos-de-prova para medidas de potencial de eletrodo.

O ensaio em câmara de névoa salina foi realizado conforme a norma ASTM B117-73. Duas amostras de cada material são retiradas em tempo pré-determinado para avaliação do estado de superfície.

O ensaio de imersão cíclica exigia o desenvolvimento de dispositivos especiais, automáticos, para controle do tempo de imersão das moedas e da secagem com lâmpada infravermelha. Este ensaio foi substituído pelo método CEBELCOR - Centro Belga de Estudo da Corrosão - desenvolvido pelo Professor Marcel Pourbaix [20] para estudos da formação de óxidos/hidróxidos em aços patináveis nas atmosferas urbana, marinha, industrial e mista. Segundo o método, as amostras são fixadas em uma haste presa a um

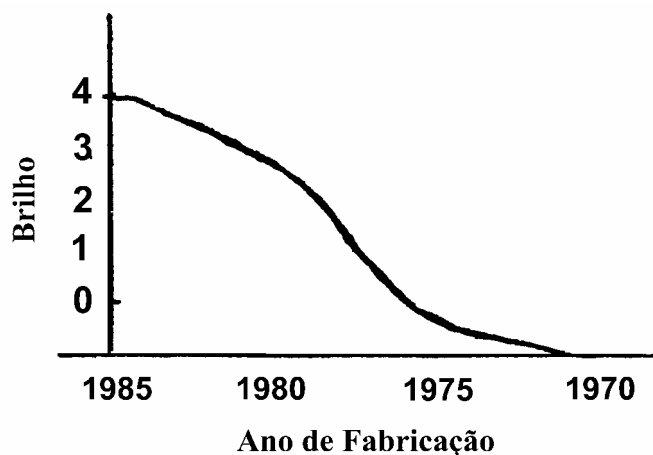
eixo que gira a uma rotação por hora, permitindo a imersão da amostra numa solução que simula a atmosfera de interesse, por 12 minutos, seguido de emersão e secagem sob lâmpada. Durante a imersão é feita medida de potencial de eletrodo em relação a um eletrodo de referência, e os resultados são examinados num diagrama potencial x pH de equilíbrios eletroquímicos, juntamente com as análises do filme formado na superfície das amostras. O tempo de ensaio depende do material e do meio e deve ser suficiente para estabilizar o potencial de eletrodo. No caso das moedas foram utilizados os meios água destilada (atmosfera rural), solução  $10^{-3}\text{M}$  NaCl (atmosfera marinha),  $10^{-4}\text{M}$   $\text{NaHSO}_3$  (atmosfera industrial) e suor sintético (solução de ácido lático 1,1g/l, uréia 0,2g/l e NaCl 4g/l). O ensaio teve duração de 38 dias.

O ensaio de imersão-emersão pelo método CEBELCOR realizado com moedas de R\$0,05 e de R\$0,25 cunhadas em 1998 conduziu aos seguintes resultados. Em água destilada equivalente à atmosfera rural, os potenciais se estabilizaram em aproximadamente +30 mV x ECS (R\$0,05) e +80 mV x ECS (R\$0,25). Os filmes de superfície identificados por difração de raios-X foram cuprita  $\text{Cu}_2\text{O}$  e tenorita  $\text{CuO}$ . Na solução equivalente à atmosfera industrial, os potenciais foram de aproximadamente +15 mV x ECS (R\$0,05) e +135 mV x ECS (R\$0,25). O produto identificado foi brocantita  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ . No meio correspondente à atmosfera marinha, os potenciais foram -20 mV x ECS (R\$0,05) e entre -10 +25 mV x ECS (R\$0,25). Os produtos de corrosão na fase final do ensaio foram atacamita e paratacamita ( $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ). Finalmente, no meio suor sintético, todas as moedas sofreram forte corrosão com falha do revestimento e ataque ao metal de base. Os potenciais de eletrodo foram da ordem de -300 mV x ECS [23].

O ensaio de perda de coloração “Table Top” consistia em pingar gotas das soluções de suor sintético e da solução 5% NaCl sobre as moedas, esperando a completa evaporação para analisar os resultados. Além destas duas soluções, foram utilizadas outras soluções indicadas a seguir, acompanhadas dos resultados encontrados para as moedas de R\$0,05 e R\$0,25: a) ácido sulfúrico (0,5% v/v, pH 1,3), manchas marrons; b) água do mar (pH 8), produto esverdeado em ambas as moedas; c) hipoclorito de sódio (5% v/v, pH 8), manchas esverdeadas em ambas moedas; d) benzina (pH 9), nenhuma

mancha; e) detergente (solução, pH 6,6), nenhuma mancha; f) álcool etílico (94% v/v, pH 8), nenhuma mancha; g) hidróxido de amônio (5% v/v, pH 12), manchas azuladas em ambas moedas; h) soda cáustica (1% v/v, pH 12,5), manchas brancas em ambas moedas; i) leite (pH 6,9), mancha esverdeada no revestimento de cobre e nenhuma mancha no bronze; j) coca-cola (refrigerante, pH 2,2), mancha azulada em ambas moedas. A perda de coloração também foi avaliada com areia úmida do mar onde as moedas foram imersas por 10 dias, resultando na formação de manchas pontuais de coloração vermelha em ambos revestimentos das moedas [23].

Outro exemplo demonstrando a importância do ensaio de perda de coloração foi realizado na China com moedas de alumínio/magnésio (Al-5% Mg-0,4%Mn) da taxa de 5 Fen. Na *figura II.3* é apresentada a perda de coloração a partir da amostragem de 10 a 20 moedas de cada ano coletadas no meio circulante no período de 1970 até 1985. A perda de coloração foi baseada numa escala para avaliação do escurecimento e perda de brilho. O valor “4” foi estipulado para a cor original branca metálica do alumínio e o valor “0” para a cor cinza e isenta de brilho [24].



*Figura II.3* – Gráfico da perda de coloração da moeda de 5 Fen no período de 15 anos.[24]

O ensaio de desgaste em tambor, conhecido como “ensaio de abrasão em tecido de algodão”, foi realizado num tambor circular com 190mm de diâmetro e forrado internamente com tecido de algodão, com rotação de 30 rpm, durante 30 dias. A perda de massa de 5 moedas foi determinada pela diferença de peso antes e após o término do ensaio, e o tecido de algodão foi avaliado quanto à descoloração produzida pela remoção dos óxidos e partículas metálicas das moedas.

O ensaio de desgaste abrasivo com ciclo de umidade foi realizado por Baboian [20] em um aparelho automatizado, específico para moedas. Entretanto, como alternativa para as moedas do real, foi proposto o ensaio de “corrosão-abrasão” que utiliza um tambor de plástico perfurado, com 160 mm de diâmetro, com ressalto internos para virar as moedas a cada rotação e promover os choques mecânicos. O tambor foi parcialmente imerso em uma solução de suor sintético e a sua velocidade de rotação foi de 30 rpm. O tempo de ensaio foi de 6 dias. O ensaio foi descartado para as moedas eletrodepositadas devido a alta agressividade constatada em apenas 24 horas, com perda de massa de 126 mg/dia para a moeda de R\$0,05 e 122 mg/dia para a moeda de R\$0,10 de mesmo substrato e revestimento da moeda de R\$ 0,25 [23].

Os ensaios de desgaste em tambor e de desgaste em tambor com ciclo de umidade (10 a 90%), em atmosfera marinha e poluída, foram substituídos pelo ensaio para avaliação do desgaste de moedas utilizado pela empresa alemã DEUTSCHE NICKEL A.G., cujos procedimentos experimentais estão descritos no capítulo de Materiais e Métodos. A descrição do ensaio é acompanhada de gráfico “Perda de Massa por Moeda x Tempo de Funcionamento do Tambor a 50 rpm”, com duas curvas de referência. Uma curva representa o desgaste de uma moeda maciça de bronze (Cu-2,5%Zn-0,5%Sn) e a outra de uma moeda eletrorevestida de níquel. De acordo com o método, 200 horas de funcionamento do tambor corresponde a 15 anos de vida útil da moeda no meio circulante, e, para os materiais de referência, a moeda niquelada teria perdido 20 mg e a de bronze 55 mg.

No período de 1998 a 2003, o laboratório de corrosão da COPPE/UFRJ realizou quatro ensaios de desgaste com moedas de R\$0,05 e R\$0,25 utilizando os procedimentos de ensaio da DEUTSCHE NICKEL A.G. Os resultados obtidos estão indicados nas *figuras II.4 e II.5* para as moedas de R\$0,05 e R\$0,25, respectivamente. Conforme pode ser verificado nas figuras, as curvas não são coincidentes, mostrando um desvio de comportamento das moedas de ensaio para ensaio, de acordo com os diferentes lotes de fabricação testado na época. No tempo de 200 horas, a perda de massa variou de 7,9 a 15,5 mg, com valor médio de 11,4 mg, no caso das moedas de R\$0,05. Para a moeda de R\$0,25, a variação foi de 4,8 a 9,3 mg e o valor médio da perda de massa foi de 6,6 mg/moeda.



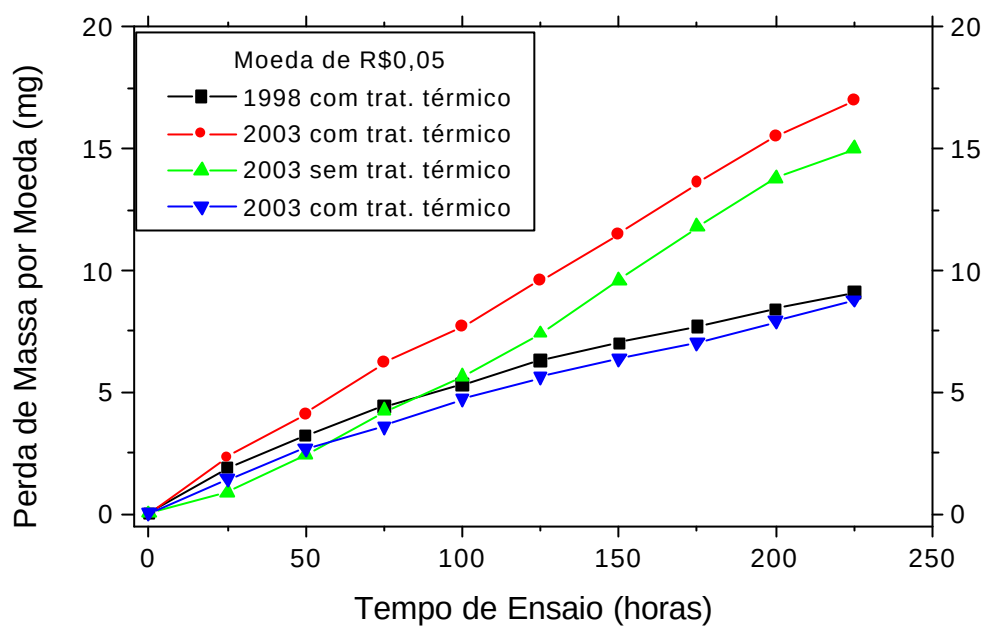


Figura II.4. Variação da perda de massa das moedas de R\$0,05 no ensaio de desgaste.

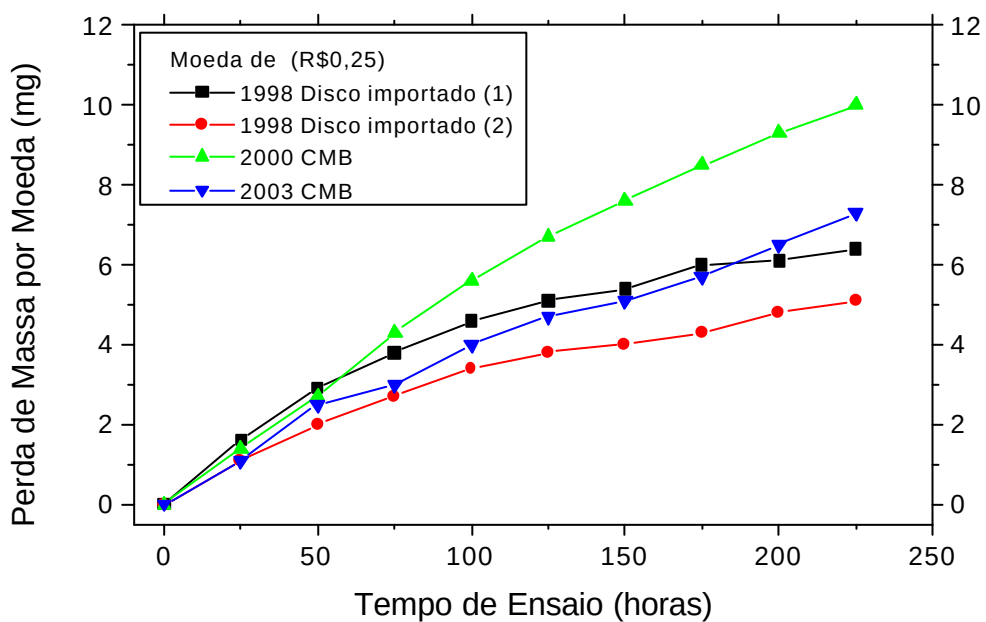
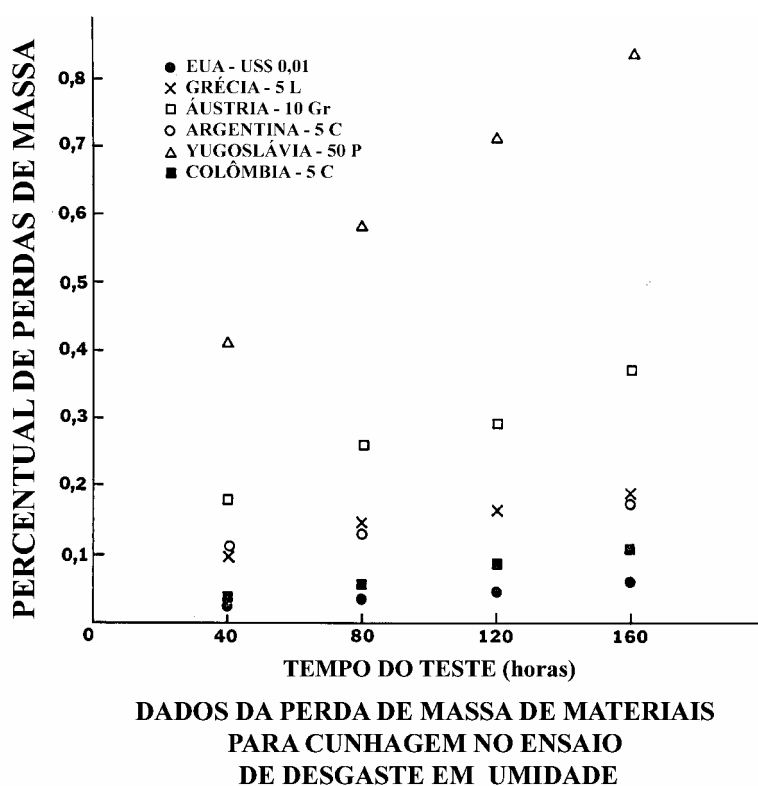


Figura II.5. Variação da perda de massa das moedas de R\$0,25 no ensaio de desgaste.

Baboian [22] avaliou o efeito da composição de 4 ligas de alumínio em ensaios de desgaste associado à corrosão em ambiente úmido, em comparação com moedas de liga maciça e cladeada. As moedas são dos seguintes países: Estados Unidos US\$0,01 (Cu-5%Sn); Grécia 5L (Al-5%Mg); Áustria 10 Gr (Al-1,5%Mg); Argentina 5C (Al-4%Ni); Iugoslávia 50P (100%Al); Colômbia 5C (Cu/aço/Cu). Os resultados apresentados na *figura II.6* mostram a forte influência da composição da liga de alumínio sobre a perda de massa da moeda. Somente com adição de 4% de Ni ou 5% de Mg ao alumínio é que ocorre uma redução apreciável na taxa de desgaste. Por outro lado, a menor perda de massa foi observada para a moeda maciça de Cu-5%Sn.



*Figura II.6.* Ensaio de desgaste associado à umidade com 6 moedas de diferentes países[22].

A empresa coreana Poongsan Corporation também realizou ensaios para avaliação da resistência à corrosão e à abrasão em moedas [25], testando 16 materiais para cunhagem de moedas. Os materiais avaliados foram: 7 discos maciços nas ligas de cobre [ 1) Cu-25%Ni, 2) Cu-2%Ni-6%Al, 3) Cu-5%Zn-15%Al-1%Sn, 4) Cu-35%Zn, 5) Cu-12%Ni-18%Zn, 6) Cu-5%Ni-20%Zn, 7) Cu-16%Ni ]; 2 discos em ligas de aço

inoxidável [ 8) STS430 e 9) STS304 ]; 1 disco de alumínio [ 10) 100%Al ]; 2 discos cladeados [ 11) cupro-níquel externo e Ni interno; 12) cronifer1710 ] e 3 discos eletrodepositados [ 13) aço com revestimento de cobre, 14) zinco com revestimento de cobre e 15) aço com revestimento de níquel ] e, finalmente, o mais importante para avaliação da corrosão que foi um disco de titânio [16) 100% Ti ] usado como corpo-de-prova padrão em relação aos demais materiais.

Os resultados do ensaio de resistência à corrosão por imersão em solução de suor sintético indicaram a seguinte ordem decrescente de resistência: cronifer1710Cu > bronze alumínio > cupro-níquel > Cu-5%Ni-20%Zn > aço revestido com níquel > aço revestido com cobre. Por outro lado, os autores verificaram que os resultados dos testes de cunhagem estão relacionados com a dureza superficial dos materiais e as propriedades mecânicas dos discos, apresentando a seguinte ordem decrescente de valores de carga de cunhagem para obtenção de moedas com as mesmas medidas de relevo: aço inoxidável > aço eletrodepositado > bronze-alumínio > cupro-níquel > latão > alumínio. A carga de cunhagem para o material mais duro foi de 300 kgf e do mais macio foi de 60 kgf.

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **III.1. - MATERIAIS METÁLICOS**

Os materiais básicos testados foram as moedas de R\$0,05 e R\$0,25, bem como os discos orlados os quais recebem os gravados cunhados, tornando-se moedas propriamente ditas. Alguns ensaios exigem a utilização de discos lisos para avaliação do revestimento antes da cunhagem. Outros ensaios específicos utilizam as moedas para avaliar as condições de corrosão e de abrasão sobre superfícies irregulares resultantes da deformação permanente causada pela operação mecânica de cunhagem.

As moedas utilizadas no trabalho são identificadas conforme indicado a seguir:

- 1) MOEDAS CMB - provenientes da Casa da Moeda do Brasil (CMB). São moedas de R\$0,25 cunhadas no final do ano de 2003 e moedas de R\$0,05 cunhadas no início do ano de 2004.
- 2) MOEDAS USADAS - provenientes da coleta no meio circulante brasileiro no período de 1998 até 2003.
- 3) MOEDAS NOVAS. São moedas cunhadas em 1998 até 2002 que não foram postas em circulação ou que tiveram pouco tempo de uso.

As moedas escolhidas para estudo, por serem de baixa denominação, são de custo mais reduzido e possuem vida útil inferior em relação às moedas fabricadas com ligas homogêneas de mesmo material do revestimento. Nas moedas revestidas são imobilizados de 5 a 10% do peso de metal não ferroso como o cobre e a liga de bronze, que normalmente possui maiores preços em relação aos metais ferrosos como o aço baixo-carbono.

### III.1.1 – MOEDAS CMB

Os discos e as moedas denominadas CMB utilizados nos ensaios foram retirados diretamente da linha de fabricação de discos e da seção de cunhagem de moedas da Casa da Moeda do Brasil. As moedas de R\$ 0,05 apresentam coloração vermelha devido à camada de cobre que reveste o substrato de aço-carbono. Já as moedas de R\$ 0,25 utilizam o mesmo substrato mais sua camada é de bronze de coloração amarela.

Para os ensaios laboratoriais destrutivos e não destrutivos foram disponibilizados 400 discos e 400 moedas de R\$ 0,05 e de R\$ 0,25 totalizando 1600 peças. Os discos e as moedas estão de acordo com as especificações técnicas da Casa da Moeda do Brasil.

As principais características físicas e dimensionais analisadas nos discos e nas moedas foram: a) qualidade da superfície do disco e da gravura cunhada; b) diâmetro e altura da orla; c) espessura da camada de metal não ferroso; d) dureza superficial e microdureza na camada eletrorevestida.

A *tabela III.1* apresenta as principais características técnicas das moedas de R\$0,05 e R\$0,25 estabelecidas pela Casa da Moeda do Brasil.

*Tabela III.1-* Principais especificações técnicas das moedas de R\$ 0,05 e de R\$ 0,25.

| Descrição do item técnico         | Moeda de R\$ 0,05 | Moeda de R\$0,25      |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Substrato da moeda                | Aço SAE 1006/1008 | Aço SAE 1006/1008     |
| Camada revestida                  | Cobre             | Bronze (88%Cu-12 %Sn) |
| Espessura da camada (µm)          | 30 até 40         | 30 até 40             |
| Peso da moeda (g)                 | 3,93 até 4,27     | 7,23 até 7,87         |
| Diâmetro da moeda (mm)            | 21,90 até 22,10   | 24,95 até 25,15       |
| Altura da orla (mm)               | 1,52 até 1,78     | 2,12 até 2,28         |
| cor                               | Vermelha          | Amarela               |
| Dureza superficial (Rockwell 30T) | 43 até 57         | 43 até 57             |

Como informação adicional, as moedas de R\$0,05 e R\$0,25 apresentam as seguintes características de relevo: 100 µm na altura do algarismo “5”; 75 µm na altura da letra “V”; 63 µm na altura da “estrela”; 57 µm na altura das “linhas paralelas e inclinadas”.

### III.1.2 – MOEDAS USADAS.

A primeira questão considerada na avaliação da resistência à corrosão e ao desgaste das moedas em circulação foi definir um meio circulante que fosse representativo de condições relativamente agressivas para as moedas. Neste sentido, as cidades do Rio de Janeiro e de Niterói foram consideradas adequadas para o estudo das moedas em circulação por apresentar um número elevado de transações comerciais, o que resulta em maior desgaste mecânico por atrito, e por possuir atmosferas mistas marinha e urbana caracterizadas pela alta salinidade, umidade, presença de anidrido sulfuroso e de partículas sólidas em suspensão.

Para efeito de seleção e avaliação das moedas usadas que estão no meio circulante, as moedas recolhidas foram classificadas nos três grupos seguintes.

- **Moedas em perfeito estado de conservação.** São as moedas que foram utilizadas no trabalho para avaliação de perda de massa e perdas dimensionais, bem como de dureza. Estas moedas atendem os seguintes critérios: 1) boa aparência em relação à oxidação natural do cobre e do bronze; 2) desgaste regular dos relevos, da orla e do diâmetro; 3) ausência de danos como arranhões, marcas profundas, indentações e amassados e 4) ausência de corrosão aparente.
- **Moedas de circulação corrente.** São moedas que podem apresentar escurecimento natural devido ao tempo em circulação, pequenos danos como marcas, riscos e amassados e sinais leves de corrosão. As moedas do primeiro grupo fazem parte das moedas de circulação corrente.
- **Moedas rejeitadas.** São moedas que apresentam grandes danos na orla e no diâmetro, grandes perdas de massa, impossibilidade de identificar a denominação e ano de cunhagem e corrosão em estado avançado.

Com relação ao número de amostras, foram utilizadas nas avaliações 200 moedas de cada ano (1998 a 2003) para as denominações de R\$0,05 e R\$0,25. Para isso, foi necessário coletar uma quantidade superior de moedas de forma a atender os critérios de aceitação indicados acima. Assim, para formar 6 lotes de 200 moedas selecionadas de cada taxa, número considerado ideal para os cálculos da perda de massa e das perdas dimensionais, foi necessário manusear no meio circulante cerca de 15.000 moedas. O total de moedas em perfeito estado de conservação é 2.400 unidades, sendo 1.200 de cada material, com peso aproximado de 4,860Kg para as moedas de R\$0,05 e 9,070Kg para as moedas de R\$0,25.

### **III.1.3 – MOEDAS NOVAS**

Para avaliar as perdas de massa e de dimensões (diâmetro e altura da orla) das moedas usadas, foi necessária a obtenção de moedas novas ou com pouco desgaste e excelente aparência, para cada ano considerado no estudo. Infelizmente, não foi possível obter moedas novas na Casa da Moeda do Brasil e em quantidade suficiente para todos os anos de cunhagem. Então, a solução encontrada foi utilização de moedas que foram usadas em outros trabalhos técnicos, bem como a utilização de acervo de colecionadores, e finalmente o uso das próprias moedas coletadas que puderam ser consideradas como novas segundo os critérios de conservação adotados no trabalho.

## **III.2 - MÉTODOS EXPERIMENTAIS**

### **III.2.1 – AVALIAÇÃO DAS MOEDAS USADAS**

As moedas provenientes do meio circulante foram coletadas nos meses de junho e julho de 2004, e após limpeza elas foram avaliadas quanto ao seu estado de superfície, perda de massa, perdas dimensionais, dureza e desgaste. A seguir são descritas as etapas envolvidas no processo.

### **III.2.1.1. – COLETA DE MOEDAS USADAS**

A coleta de amostras de moeda no meio circulante teve por objetivo avaliar o efeito do meio sobre o desgaste das moedas, bem como danos produzidos por mau uso da moeda. Conforme indicado anteriormente, foram coletadas mais de 200 moedas de cada taxa e de cada ano (1998 a 2003), pois foram descartadas as moedas que apresentavam defeitos mecânicos como amassados, indentações e aranhões, bem como defeitos resultantes de corrosão localizada.

O primeiro passo para a coleta das moedas foi a compra de moedas novas de mesma taxa em uma agência bancária como forma de facilitar a troca por moedas usadas. O principal local de troca foi a rede de pequenos comércios próximos das áreas litorâneas de Icaraí e Ingá, bem como no Centro de Niterói, Campos Universitário da UFRJ, Jardim Botânico, Santa Cruz e o Centro do Rio de Janeiro.

Os principais colaboradores na troca das moedas foram: vendedores ambulantes, bares, quiosques, jornaleiros, padarias, lojas de cópias reprográficas, locadoras de filmes e pequenos mercados. Neste tipo de comércio as moedas estão em constante circulação e sujeitas à atmosfera agressiva que acarreta elevadas taxas de corrosão e de desgaste mecânico. As moedas coletadas foram posteriormente selecionadas segundo os critérios de aceitação indicados em III.1.2.

Além das 200 moedas selecionadas para avaliação das perdas por desgaste, também foram consideradas no estudo as moedas que apresentavam problemas técnicos de desgaste, corrosão excessiva, e mau uso por parte da população.

### **III.2.1.2 – LIMPEZA DAS MOEDAS USADAS**

Após coleta e seleção, as moedas passaram por processos de limpeza para retirada de gordura e poeira aderidas na superfície. Para isso, as moedas foram colocadas em um recipiente de plástico contendo água destilada com detergente neutro, à temperatura ambiente. Após aproximadamente 10 minutos de molho na solução de limpeza, as moedas foram esfregadas levemente com luvas de borracha, em seguida



enxaguadas com água destilada corrente, seguido de imersão em álcool etílico e finalmente secadas com jato de ar aquecido.

Concluída a limpeza, uma nova triagem para avaliação do estado de conservação das moedas foi realizada, sendo que as moedas passaram a ser manipulada com auxílio de luvas ou de pinças.

### **III.2.2. – PESAGEM DAS MOEDAS**

A pesagem das moedas foi realizada no Laboratório de Corrosão da COPPE/UFRJ e no Laboratório para análise de papéis da Casa da Moeda do Brasil. Na COPPE/UFRJ, foi utilizada uma balança analítica AG 200 da GEHAKA, enquanto na Casa da Moeda do Brasil a pesagem foi feita numa balança analítica AE 200 da METTLER. Para a pesagem das moedas usadas, cada lote de 200 moedas foi dividido em 20 lotes com 10 moedas. Em seguida foi calculado o peso de cada lote e dividido por 10 para obter o peso unitário. Finalmente foi calculado o peso médio final das moedas e os valores do desvio padrão para cada ano de moeda cunhada. Para verificar a validade da metodologia descrita acima, o peso individual de 50 moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, para cada ano de emissão, foi determinado. Os resultados da pesagem foram concordantes. As moedas novas foram pesadas individualmente, considerando o baixo número de amostras disponíveis.

As perdas de massa das moedas usadas foram calculadas pela diferença dos pesos médios das moedas novas e moedas usadas.

### **III.2.3. – AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DAS MOEDAS**

As medidas de diâmetro e da altura da orla das moedas foram realizadas no Laboratório de Metrologia da Casa da Moeda do Brasil, utilizando um micrômetro milesimal eletrônico –Micromaster IP54 da TESA.

Foram feitas medidas do diâmetro e da altura da orla de 150 amostras de moedas CMB, de 150 amostras de moedas usadas e todas as moedas denominadas novas que

são em quantidades inferiores a 25 (R\$0,05) e 41 (R\$0,25), no período considerado. Com os resultados obtidos, foram então calculadas as médias e os desvios padrão das moedas, para cada ano de emissão.

As perdas dimensionais referentes ao diâmetro e à altura da orla foram calculadas pela diferença dos valores encontrados para as moedas novas e as moedas usadas.

### **III.2.4 – DETERMINAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL**

A dureza superficial foi medida no medidor de dureza superficial ROCKWELL da WILSON INSTRUMENTS do Laboratório de Metrologia da Casa da Moeda, utilizando a escala de dureza Rockwell superficial 30T com penetrador de esfera de aço com diâmetro de 1/16 da polegada e carga principal de 30 kg.

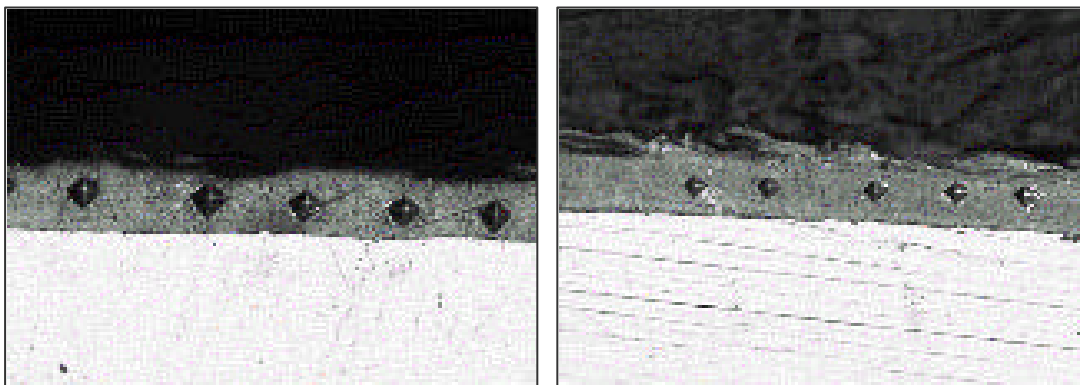
As medidas foram efetuadas em 10 amostras de discos e moedas para cada ano de emissão. Nos discos lisos foram efetuadas medidas em 4 pontos localizados no centro e na extremidade dos discos. Nas moedas foram efetuadas medidas em dois pontos localizados no algarismo 5 e no fundo do gravado das moedas de R\$0,05 e R\$0,25. A partir dos valores obtidos nas medidas foram calculadas as durezas médias para cada ano de emissão das moedas.

### **III.2.5.- DETERMINAÇÃO DA MICRODUREZA**

Para determinar a dureza de camadas de revestimento é recomendado o ensaio de microdureza Vickers ou microdureza Knoop que utiliza um penetrador de diamante com geometria piramidal e valores de carga aplicada variando de 1 até 1000 gramas. O penetrador é forçado contra a superfície do corpo-de-prova e a impressão resultante é observada ao microscópio e medida com auxílio de uma escala; essa medição é então convertida em um número índice de dureza.

No presente trabalho, a dureza das camadas de revestimento foi determinada pela técnica Vickers num microdurímetro Leitz Durimet 2 que utiliza um penetrador de

pirâmide de diamante, com base quadrada. O aumento da área de observação foi de 400 X e a carga aplicada foi de 25g. As medidas de dureza foram feitas na seção de corte de amostras de moedas, polidas até a pasta de diamante de 1 $\mu$ m. Foram efetuadas 5 determinações de dureza para cada amostra. A *figura III.1* mostra, a título de exemplo, as seções de corte de amostras de moedas de R\$0,05 e R\$0,25 onde podem ser vistas as impressões do penetrador na camada do revestimento.



A. Moeda de R\$0,05

B. Moeda de R\$0,25

*Figura III.1* - Vista da seção de corte de uma moeda de R\$0,05 e de R\$0,25. Impressões do penetrador utilizado na determinação da dureza Vickers da camada de revestimento.

### **III.2.6.- ENSAIO DE DESGASTE EM TAMBOR ROTATIVO**

O ensaio de desgaste em tambor rotativo foi inicialmente desenvolvido pelo Laboratório de Corrosão da Texas Instruments, para avaliação do desgaste e corrosão de moedas de ligas homogêneas.

Em 1995, a Casa da Moeda do Brasil recebeu da Empresa DEUTSCHE NICKEL A.G. um procedimento de ensaio de desgaste próprio para avaliação de revestimentos de discos eletrorevestidos e do desgaste de moedas maciças, utilizando um tambor de seção hexagonal, de diâmetro de 220 mm e comprimento 110 mm. O procedimento experimental fornece um padrão de desgaste tal que para 200 horas de ensaio com o tambor a 50 rpm corresponde a uma vida útil da moeda de 15 anos em circulação. As curvas de referência se referem ao desgaste de moedas eletrorevestidas de níquel e de moedas de liga homogênea de bronze (Cu-2,5%Zn-0,5%Sn). Os valores

da perda de massa no final de 200 horas foram de aproximadamente 20 mg para a moeda de aço revestida de níquel e de 55 mg para a liga de bronze.

A carga do tambor é constituída de: a) 250 gramas de milho triturado; b) 10 moedas do material que será avaliado; c) 10 moedas nas dimensões e de material similar ao material da moeda de teste para calibrar os resultados; d) 90 discos lisos do material que será avaliado; e) duas polegadas quadradas de tecido.

A COPPE/UFRJ, em acordo com a Casa da Moeda do Brasil, encomendou um tambor rotativo com as características técnicas indicadas acima e passou a utilizá-lo nos ensaios de desgaste de ligas como latão, bronze, discos eletrorevestidos com uma camada de depósito ou de múltiplas camadas, aço inoxidável, cupro-níquel e alpaca. Em todos ensaios já realizados, intencionalmente não foram incluídos os 2 pedaços de tecido na carga do tambor, pois eram desejadas condições mais agressivas de ensaio.

Antes de iniciar o ensaio de desgaste, as 10 moedas de teste foram pesadas numa balança analítica. Durante o ensaio, a cada 24 ou 25 horas o tambor é esvaziado de sua carga total e as 10 moedas de teste são lavadas de acordo com o método descrito no item III.2.1.2 e em seguida pesadas para determinação da perda de massa no tempo correspondente de ensaio. O tempo total de ensaio é de 200 ou 225 horas. Com os resultados de perda de massa, levanta-se então uma curva num gráfico “Perda de Massa por Moeda x Tempo de Ensaio”.

Após o ensaio de desgaste, as moedas foram observadas para verificação do estado de superfície relativo às perdas dos detalhes cunhados, da altura da borda e do diâmetro. Concluído o exame de superfície, as moedas foram cortadas, embutidas, polidas e finalmente levadas ao microscópio ótico e eletrônico de varredura para verificação da extensão do desgaste do revestimento.

No presente trabalho foram realizados dois ensaios ao mesmo tempo, uma vez que o tambor utilizado possui 3 compartimentos idênticos. Num compartimento foram colocadas moedas CMB de R\$ 0,05 cunhadas em 2004, com moedas usadas de R\$ 0,05 cunhadas em 1998. No segundo compartimento foram colocadas moedas de R\$ 0,25 cunhadas em 2003, com moedas usadas de R\$ 0,25 cunhadas em 1998. Com isso foi

possível determinar a curva de desgaste de moedas novas e também a curva de desgaste de moedas que já estavam 6 anos no meio circulante.

### **III.2.7.- ENSAIO EM CÂMARA DE UMIDADE.**

O ensaio em câmara de umidade foi realizado num equipamento fechado que permite manter a umidade relativa em 100% e a temperatura em 35°C. As amostras foram fixadas a um suporte de acrílico, em posição vertical, e colocadas a 15 cm acima da superfície da água. Os tempos de retirada das amostras, em duplicata, foram de 24, 48, 72, 144, 216, 264, 336 e 550 horas.

### **III.2.8.- ENSAIO EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA**

O ensaio em câmara de névoa salina foi realizado segundo a Norma Técnica ASTM B 117-73 (NBR 8094). O meio corrosivo é uma névoa produzida pela passagem de ar comprimido numa solução 5% de NaCl de pH igual a 7,0. O interior da câmara foi mantido à temperatura de 35°C e as moedas e os discos foram fixados em um suporte de PVC. Os tempos de retirada das amostras, em duplicata, foram de 24, 48, 72, 120, 168, 216, 264, 336, 408, 500 e 696 horas.

### **III.2.9.- ENSAIO DE IMERSÃO TOTAL**

O ensaio de imersão total consistiu na imersão das amostras de moedas numa solução 0,1M NaCl de pH igual a 7,0, por um período de 22 dias. O ensaio permite a avaliação da superfície da amostra quanto à forma de corrosão e também a determinação do potencial de eletrodo. No caso da avaliação da superfície, as amostras são montadas num dispositivo isolante, apoiadas em três pontos da borda, e colocadas num recipiente contendo 3,7 litros da solução de estudo. A avaliação é feita em tempos intermediários e no final do ensaio, utilizando recursos de microscopia ótica e/ou eletrônica. Para realizar medidas eletroquímicas, as amostras são preparadas de forma a

permitir um contato elétrico por meio de um fio condutor, isolado, e que ao mesmo tempo serve para sustentação da amostra no meio. Usualmente, são feitas medidas de potencial de eletrodo em função do tempo de ensaio, embora outras determinações eletroquímicas possam ser realizadas.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

No presente capítulo serão apresentados, inicialmente, os resultados da avaliação das moedas usadas retiradas do meio circulante. Em seguida serão apresentados os resultados do ensaio de desgaste realizado em tambor rotativo. Finalmente, serão apresentados os resultados dos ensaios de corrosão.

#### **IV.1.- AVALIAÇÃO DAS MOEDAS USADAS**

Conforme indicado no item **III.1.2.**, foram manuseadas no meio circulante um total de aproximadamente 15.000 moedas das taxas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 cunhadas no período de 1998 a 2003. As moedas foram selecionadas, lavadas e classificadas nos seguintes grupos:

- Moedas em perfeito estado de conservação;
- Moedas enegrecidas e moedas com coloração alterada;
- Moedas rejeitadas.

A seguir será apresentada a avaliação do estado de superfície das moedas pertencentes a cada grupo indicado acima e, posteriormente, as avaliações relativas às perdas de massa e de dimensões, bem como as características de dureza e de relevo das moedas.

##### **IV.1.1.- AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SUPERFÍCIE DAS MOEDAS USADAS**

As moedas consideradas em perfeito estado de conservação apresentam apenas alteração de coloração decorrente de um processo natural da interação do revestimento com o meio atmosférico. As moedas de R\$ 0,05 perderam parcialmente ou totalmente a cor vermelha do cobre, adquirindo coloração marrom-avermelhado. As moedas de R\$ 0,25 perderam parcialmente ou totalmente a cor amarela do bronze, adquirindo coloração amarelo-escuro. As moedas deste grupo (1200 de R\$ 0,05 e 1200 de R\$ 0,25) foram utilizadas nas avaliações de desgaste por perda de massa e por perdas dimensionais.

As tabelas IV.1 e IV.2 resumem as observações feitas nas moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, quanto à coloração e ao estado do revestimento. O exame de superfície foi realizado com auxílio de uma lupa, com aumento de 12 vezes.

*Tabela IV.1.- Avaliação de 150 moedas de R\$ 0,05 usadas, consideradas em perfeito estado de conservação.*

| Ano de Cunhagem | Avaliação – Moeda de R\$ 0,05                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1998            | A coloração predominante é marrom-avermelhado, com poucos traços da cor do cobre metálico, inclusive nos baixos relevos. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                             |
| 1999            | A coloração predominante é marrom-avermelhado, com poucos traços da cor do cobre metálico, inclusive nos baixos relevos. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                             |
| 2000            | A cor original do cobre metálico ainda pode ser vista nos baixos relevos da moeda; também apresenta tonalidade da cor marrom-avermelhado mais claro. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades. |
| 2001            | A cor original do cobre metálico é vista nas áreas de alto e baixo relevo. A superfície apresenta coloração avermelhada. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                             |
| 2002            | A cor original do cobre metálico é vista nas grandes áreas da moeda; a superfície apresenta tonalidade vermelho-clara. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                               |
| 2003            | A cor do cobre metálico é vista na quase totalidade da área da moeda. As partes oxidadas possuem tonalidade vermelho-clara. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                          |



*Tabela IV.2.- Avaliação de 150 moedas de R\$ 0,25 usadas, consideradas em perfeito estado de conservação.*

| Ano de<br>Cunhagem | <i>Avaliação – Moeda de R\$ 0,25</i>                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1998               | A coloração predominante é amarelo-escuro. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                                                                                                                          |
| 1999               | A coloração predominante é amarelo-escuro. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                                                                                                                          |
| 2000               | A cor original amarela do bronze metálico ainda pode ser vista nos relevos mais baixos da moeda; Também apresenta tonalidade de cor amarelo-escurecido, mais claro. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades. |
| 2001               | A cor original do bronze metálico pode ser vista nos relevos mais baixos da moeda. Superfície com tonalidade amarela-clara. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                                         |
| 2002               | A cor original do bronze metálico é vista nas áreas de alto e baixo relevo. A superfície apresenta coloração amarela. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                                               |
| 2003               | A cor original do bronze metálico (amarelo metálico) é vista nas grandes áreas da moeda. Depósito uniforme e com brilho, sem exposição do aço e ausência de bolhas, deslocamentos, inclusões e porosidades.                                                                            |

As figuras IV.1 e IV.2 mostram o aspecto das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, coletadas no meio circulante e consideradas em perfeito estado de conservação.

| Moedas R\$ 0,05 em Perfeito Estado de Conservação                                 |                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1998                                                                              | 1999                                                                              | 2000                                                                               |
|  |  |  |
| 2001                                                                              | 2002                                                                              | 2003                                                                               |
|  |  |  |

Figura IV.1.- Aspecto da superfície de moedas usadas de R\$ 0,05.

| Moedas R\$ 0,25 em Perfeito Estado de Conservação                                   |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1998                                                                                | 1999                                                                                | 2000                                                                                 |
|  |  |  |
| 2001                                                                                | 2002                                                                                | 2003                                                                                 |
|  |  |  |

Figura IV.2.- Aspecto da superfície de moedas usadas de R\$ 0,25.

As moedas pertencentes ao grupo de enegrecidas e de coloração alterada são moedas que foram expostas a meios mais agressivos, por um determinado tempo. As moedas têm tendência ao escurecimento pela formação de um óxido de cobre, de cor preta. O enegrecimento ocorre mais rapidamente em ambiente úmido, principalmente nas moedas de R\$ 0,05 nas áreas de baixo relevo, justamente onde há maior retenção de água.

Algumas moedas apresentavam manchas esverdeadas e outras colorações avermelhadas com tons de lilás. Estas manchas são produtos de corrosão do cobre geralmente formados na presença de cloreto. Isto ocorre quando a moeda entra em contato com água do mar, areia da praia e água sanitária.

A *figura IV.3* mostra exemplos de moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 com a superfície enegrecida e esverdeada.

| Aspecto da Superfície de Moedas Usadas |                                                                                     |                                                                                      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Cor da Mancha                          | R\$ 0,05                                                                            | R\$ 0,25                                                                             |
| Esverdeada                             |  |  |
| Negra                                  |  |  |

*Figura IV.3.-* Aspecto da superfície de moedas de R\$ 0,05 usadas, com mudanças de coloração

As moedas consideradas rejeitadas são aquelas que apresentam defeitos graves, que as tornam inaceitáveis por parte do usuário ou impróprias para uso em máquinas automáticas. São moedas descaracterizadas, de difícil identificação. Incluem também no grupo as moedas que apresentam alteração de peso, de dimensões, empeno, amassado, perfuração e corrosão do substrato. Das moedas selecionadas, algumas apresentavam danos provocados pelo usuário como perfuração com broca, marcas de martelo e desgaste com lima. As *figuras IV.4 e IV.5* mostram exemplos de moedas com defeitos, sendo que em alguns casos a moeda seria considerada imprópria para permanecer em circulação.

| Moedas Rejeitadas de R\$ 0,05                                                       |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
|  |  |  |

*Figura IV.4.- Aspecto da superfície de moedas de R\$ 0,05 rejeitadas.*



| Moedas Rejeitadas de R\$ 0,25                                                      |                                                                                    |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                      |
|   |   |   |
|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                      |
|  |  |  |

*Figura IV.5.- Aspecto da superfície de moedas de R\$ 0,25 rejeitadas.*

#### **IV.2.- AVALIAÇÃO DO DESGASTE DAS MOEDAS EM CIRCULAÇÃO**

O desgaste das moedas em estudo foi avaliado com relação à perda de massa e às perdas dimensionais referentes ao diâmetro e à altura da orla da moeda. As moedas selecionadas para avaliação pertencem aos lotes de 200 unidades de cada ano de emissão retiradas do meio circulante. Foram utilizadas 200 moedas para pesagem e 150 moedas para avaliação dimensional, de cada ano, sendo pesadas e medidas conforme descrito em materiais e métodos. Nos ANEXOS contidos no Capítulo IX, estão indicados os resultados dos pesos e das dimensões das orlas e dos diâmetros das moedas de R\$0,05 e de R\$0,25.

Para determinar o desgaste das moedas é necessário conhecer o seu peso inicial e as suas dimensões no ano de emissão, e o seu peso e as suas dimensões após o tempo

em circulação, de interesse. O peso e as dimensões das moedas novas são determinados na Casa da Moeda do Brasil como procedimento de controle de processo e de produção industrial. Entretanto, por razões operacionais, as moedas são pesadas em grandes quantidades e isso dificulta a obtenção de dados precisos necessários ao cálculo da perda de massa por moeda, que é da ordem da unidade ou de poucas dezenas de miligramas. Adicionalmente, toda produção da Casa da Moeda do Brasil é colocada no meio circulante, não ficando em reserva amostras de moeda de cada ano de emissão, para eventual avaliação futura. Isto colocou uma certa dificuldade na determinação do peso e das dimensões iniciais, com precisão. O problema foi contornado graças à obtenção de algumas moedas utilizadas em estudos na COPPE/UFRJ e no CETEM/MCI, e de moedas que puderam ser consideradas novas tendo em vista o seu bom estado de conservação. Assim, as amostragens de moedas novas são diferentes das moedas usadas, e o número de moedas utilizadas em cada caso está indicado nas tabelas no ANEXO IX.

Com relação às moedas em circulação, a amostragem para avaliação do desgaste teve como critério a escolha de moedas sem defeitos aparentes e a exclusão daquelas que apresentavam desvios excessivos de peso ou de dimensões. Com isso foi possível definir um número maior de moedas que foram pesadas e medidas. A *tabela IV.1* apresenta os pesos médios das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 dos anos de emissão de 1998 a 2003.

*Tabela IV.1. Peso médio das moedas (Moedas usadas coletadas em junho/julho de 2004).*

| Ano de Emissão | Característica | Peso médio (g)    |                   |
|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
|                |                | Moeda de R\$ 0,05 | Moeda de R\$ 0,25 |
| 1998           | Nova           | 4,1027 ± 0,0028   | 7,5553 ± 0,0260   |
|                | Usada          | 4,0856 ± 0,0093   | 7,5419 ± 0,0108   |
| 1999           | Nova           | 4,1316 ± 0,0289   | 7,5931 ± 0,0549   |
|                | Usada          | 4,1172 ± 0,0125   | 7,5819 ± 0,0176   |
| 2000           | Nova           | 4,1178 ± 0,0305   | 7,5874 ± 0,0386   |
|                | Usada          | 4,1065 ± 0,0089   | 7,5780 ± 0,0123   |
| 2001           | Nova           | 4,1204 ± 0,0305   | 7,5748 ± 0,0465   |
|                | Usada          | 4,1120 ± 0,0197   | 7,5674 ± 0,0158   |
| 2002           | Nova           | 4,1066 ± 0,0244   | 7,5625 ± 0,0674   |
|                | Usada          | 4,1017 ± 0,0115   | 7,5574 ± 0,0197   |
| 2003           | Nova           | 4,1070 ± 0,0279   | 7,5651 ± 0,0482   |
|                | Usada          | 4,1047 ± 0,0111   | 7,5614 ± 0,0146   |

Conforme pode ser verificado na tabela acima, os pesos das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 de 1998 novas foram  $4,1027 \pm 0,0028$  e  $7,5553 \pm 0,0260$  g, respectivamente. Estes valores são inferiores aos pesos das moedas emitidas nos anos seguintes, que tiveram variações médias de 4,1066 a 4,1316 g para as moedas de R\$ 0,05 e de 7,5625 a 7,5931 g para as moedas de R\$ 0,25. A tabela mostra ainda que o desvio padrão relativo ao peso das moedas novas foi maior em relação ao das moedas usadas devido ao número limitado de moedas disponíveis para seleção e avaliação.

A *tabela IV.2* e as *figuras IV.6* e *IV.7* mostram as perdas de massa das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, calculadas a partir dos dados da *tabela IV.1*. Conforme indica a tabela, as perdas de massa das moedas de R\$ 0,05 são superiores às perdas encontradas para as moedas de R\$ 0,25, exceto para o ano de emissão 2003.

Tabela IV.2. Perda de massa das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25

| Ano de Emissão | Perda de Massa (mg) |                   |
|----------------|---------------------|-------------------|
|                | Moeda de R\$ 0,05   | Moeda de R\$ 0,25 |
| 1998           | 17,1                | 13,4              |
| 1999           | 14,4                | 11,2              |
| 2000           | 11,3                | 9,4               |
| 2001           | 8,4                 | 7,4               |
| 2002           | 4,9                 | 5,1               |
| 2003           | 2,3                 | 3,7               |

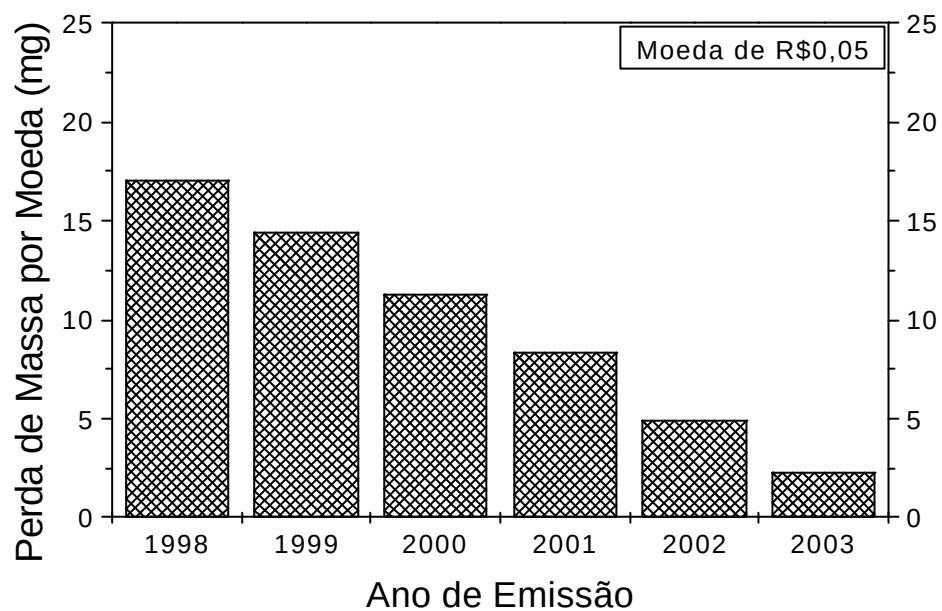


Figura IV.6. Representação gráfica da perda de massa da moeda de R\$ 0,05.



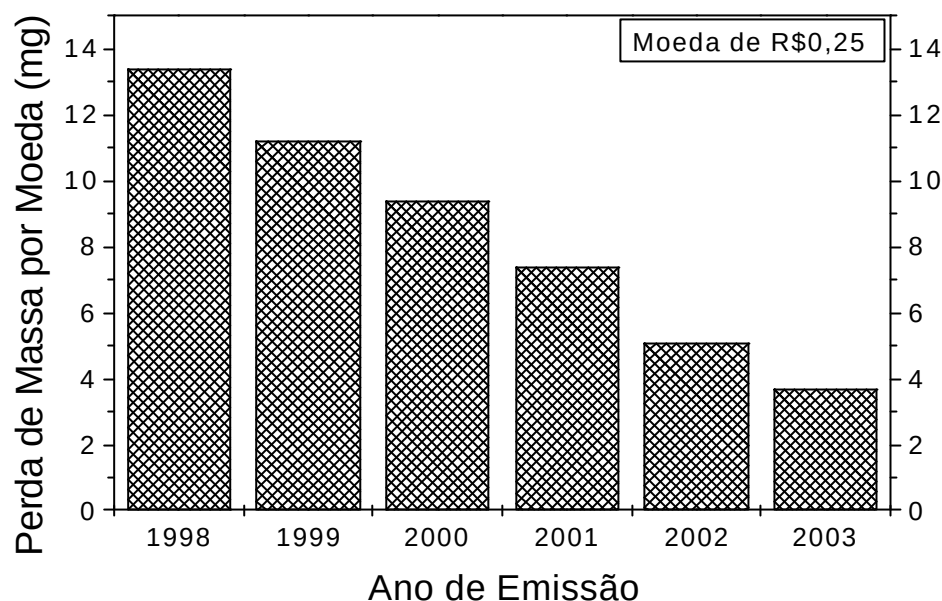


Figura IV.7. Representação gráfica da perda de massa da moeda de R\$ 0,25.

Considerando que as moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 não sofreram alterações com relação à natureza dos materiais, e admitindo que os procedimentos técnicos de produção das moedas foram os mesmos para os anos de emissão analisados, foi então possível fazer uma representação da perda de massa em função do tempo da moeda em circulação, conforme indicado nas *figuras IV.8 e IV.9*. Nas figuras, os pontos representativos das perdas de massa foram unidos por linhas pontilhadas para indicar que a curva resultante se refere a dados obtidos de forma isolada, porém com amostras semelhantes. Os resultados revelam uma relação linear entre a perda de massa e o tempo de uso da moeda. A linha contínua representada na figura foi obtida por regressão linear e a equação resultante indica que a velocidade de desgaste das moedas de R\$ 0,05 é superior àquela das moedas de R\$ 0,25.

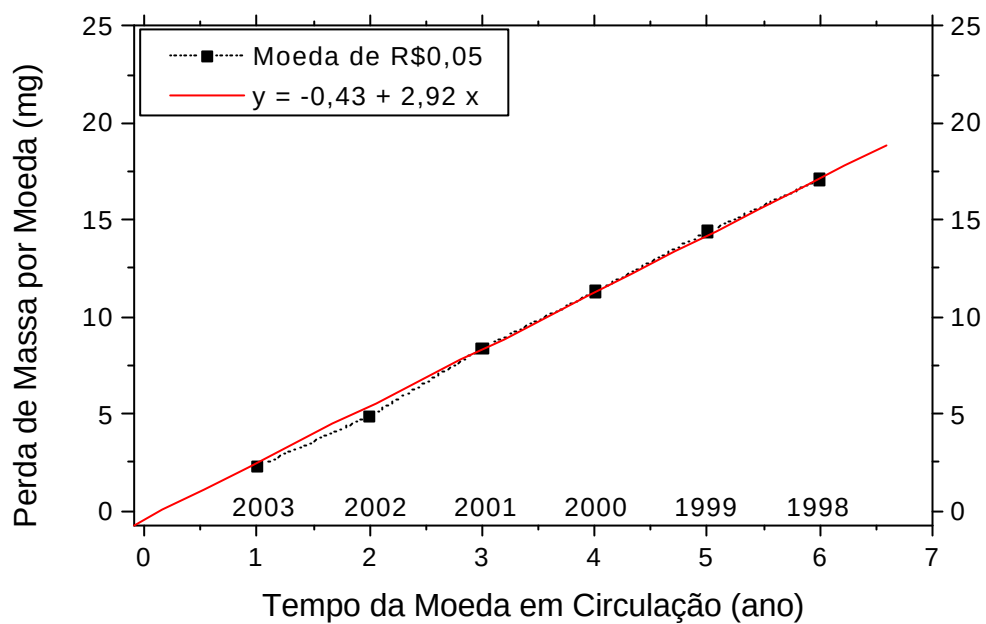


Figura IV.8. Variação da perda de massa com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,05 (Coeficiente de correlação = 0.9988).

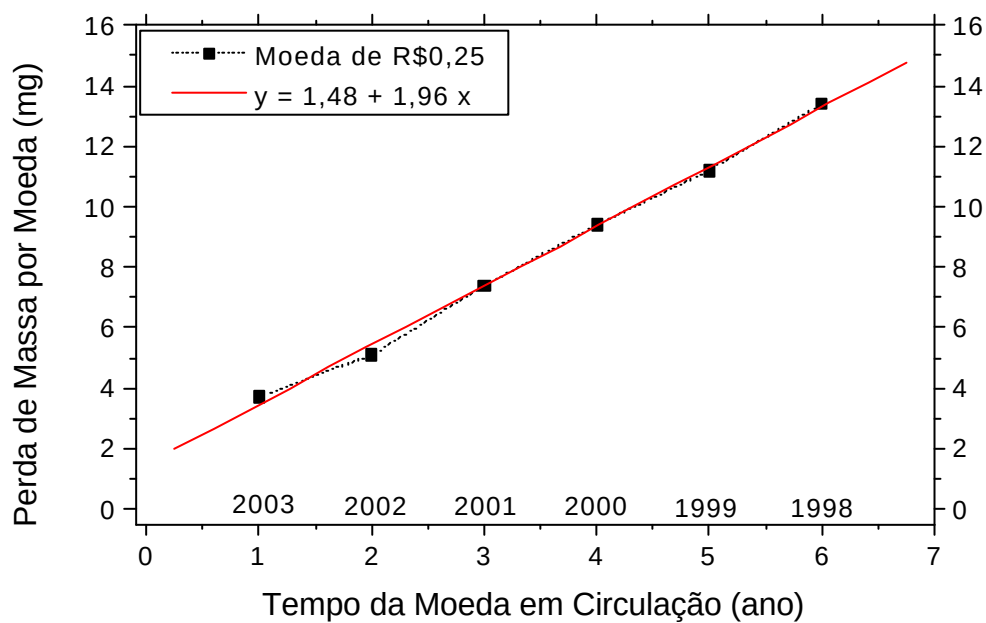


Figura IV.9. Variação da perda de massa com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,25 (Coeficiente de correlação = 0.9985).

As tabelas IV.32 e IV.4 mostram os valores médios das medidas de diâmetro e da altura da orla das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente.

*Tabela IV.3. Diâmetro e altura da orla das moedas de R\$ 0,05*

| Ano de Emissão | Característica | Diâmetro (mm)  | Altura da Orla (mm) |
|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| 1998           | Nova           | 22,055 ± 0,005 | 1,642 ± 0,016       |
|                | Usada          | 22,022 ± 0,049 | 1,613 ± 0,038       |
| 1999           | Nova           | 22,071 ± 0,026 | 1,656 ± 0,018       |
|                | Usada          | 22,042 ± 0,060 | 1,630 ± 0,035       |
| 2000           | Nova           | 22,014 ± 0,037 | 1,657 ± 0,018       |
|                | Usada          | 21,989 ± 0,042 | 1,635 ± 0,036       |
| 2001           | Nova           | 22,037 ± 0,048 | 1,656 ± 0,024       |
|                | Usada          | 22,015 ± 0,051 | 1,636 ± 0,034       |
| 2002           | Nova           | 22,040 ± 0,044 | 1,646 ± 0,015       |
|                | Usada          | 22,020 ± 0,052 | 1,628 ± 0,039       |
| 2003           | Nova           | 22,021 ± 0,039 | 1,634 ± 0,022       |
|                | Usada          | 22,006 ± 0,041 | 1,622 ± 0,030       |

*Tabela IV.4. Diâmetro e altura da orla das moedas de R\$ 0,25*

| Ano de Emissão | Característica | Diâmetro (mm)  | Altura da Orla (mm) |
|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| 1998           | Nova           | 25,045 ± 0,011 | 2,282 ± 0,029       |
|                | Usada          | 25,010 ± 0,040 | 2,244 ± 0,042       |
| 1999           | Nova           | 25,027 ± 0,013 | 2,301 ± 0,032       |
|                | Usada          | 24,997 ± 0,048 | 2,267 ± 0,046       |
| 2000           | Nova           | 25,087 ± 0,022 | 2,286 ± 0,035       |
|                | Usada          | 25,060 ± 0,079 | 2,255 ± 0,049       |
| 2001           | Nova           | 25,025 ± 0,016 | 2,272 ± 0,025       |
|                | Usada          | 25,002 ± 0,043 | 2,245 ± 0,039       |
| 2002           | Nova           | 25,095 ± 0,039 | 2,279 ± 0,021       |
|                | Usada          | 25,075 ± 0,074 | 2,253 ± 0,054       |
| 2003           | Nova           | 25,147 ± 0,024 | 2,248 ± 0,020       |
|                | Usada          | 25,130 ± 0,061 | 2,226 ± 0,052       |

Conforme indica a *tabela IV.3* referente às moedas de R\$ 0,05, o diâmetro médio da moeda nova variou de 22,014 mm (2000) a 22,071 mm (1999) e a altura da orla variou de 1,634 mm (2003) a 1,657 mm (2000). Com relação às moedas novas de R\$ 0,25, a *tabela IV.4* indica que a variação do diâmetro foi de 25,025 mm (2001) a 25,147 mm (2003) e a variação da altura da orla foi de 2,248 mm (2003) a 2,301 mm (1999). A *tabela IV.5* e as *figuras IV.10* e *IV.11* mostram as perdas dimensionais das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, calculadas a partir dos dados das *tabelas IV.3* e *IV.4*.

*Tabela IV.5.* Perdas dimensionais das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25

| Ano de Emissão | Perdas Dimensionais (µm) |                |                   |                |
|----------------|--------------------------|----------------|-------------------|----------------|
|                | Moeda de R\$ 0,05        |                | Moeda de R\$ 0,25 |                |
|                | Diâmetro                 | Altura da orla | Diâmetro          | Altura da orla |
| 1998           | 33                       | 29             | 35                | 38             |
| 1999           | 29                       | 26             | 30                | 34             |
| 2000           | 25                       | 22             | 27                | 31             |
| 2001           | 22                       | 20             | 23                | 27             |
| 2002           | 20                       | 18             | 20                | 26             |
| 2003           | 15                       | 12             | 17                | 22             |

Conforme indica a tabela acima, a perda dimensional referente ao diâmetro da moeda de R\$ 0,05 foi superior à perda referente à altura da orla. Ao contrário, a perda no diâmetro foi maior do que a perda na altura da orla no caso da moeda de R\$ 0,25.

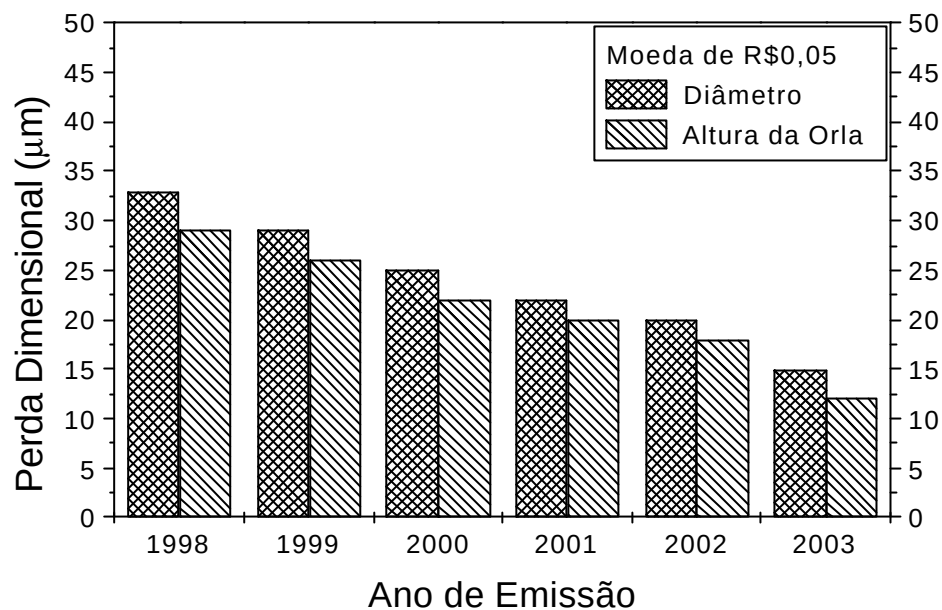


Figura IV.10. Representação gráfica das perdas dimensionais da moeda de R\$ 0,05.

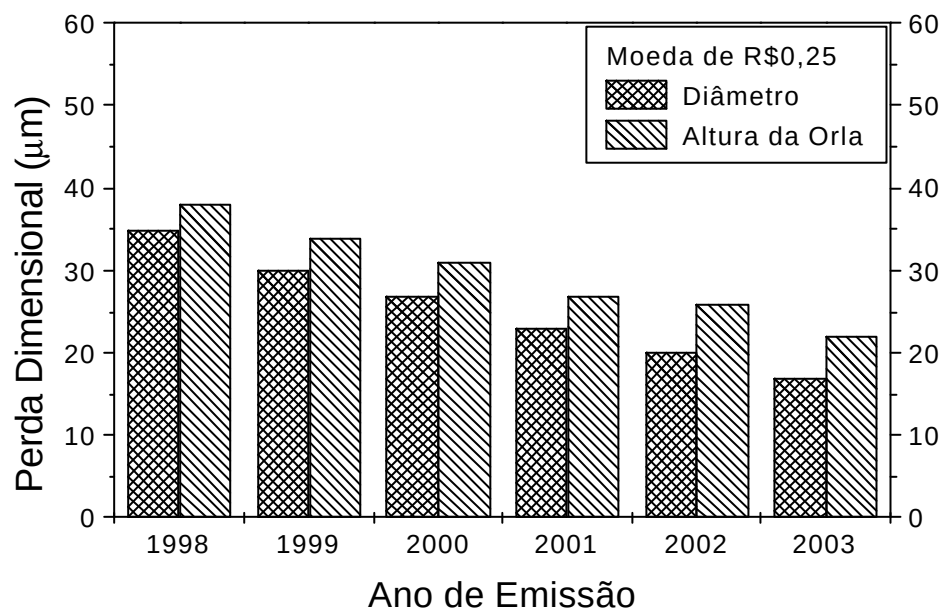
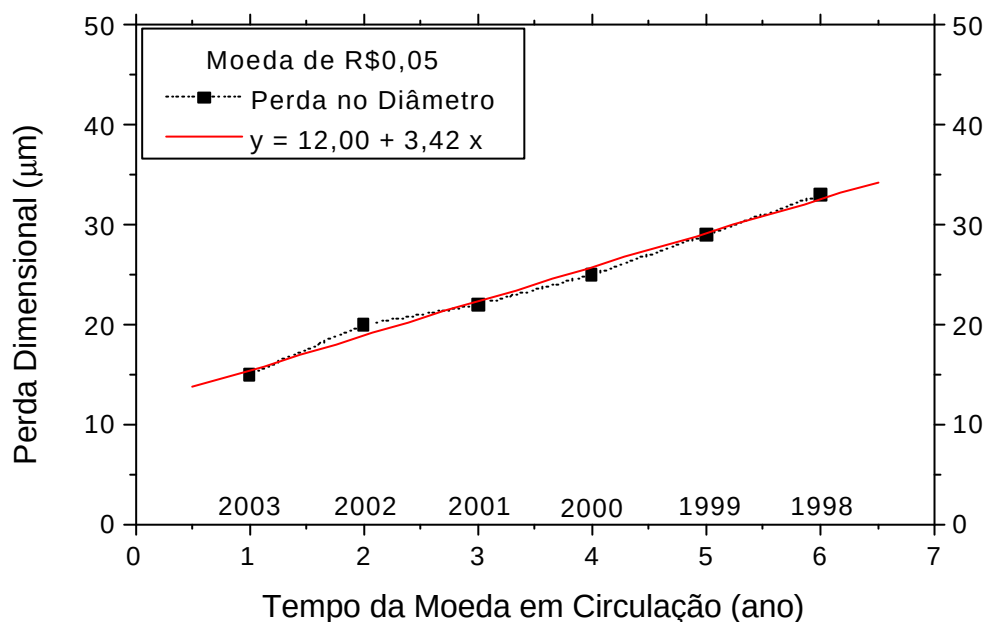


Figura IV.11. Representação gráfica das perdas dimensionais da moeda de R\$ 0,25.

As perdas dimensionais foram também representadas em função do tempo da moeda em circulação, à semelhança dos resultados de perda de massa indicados acima. Assim, as *figuras IV.12 e IV.13* mostram as perdas no diâmetro e na altura da orla, respectivamente, em função do tempo para as moedas de R\$ 0,05. Semelhantemente, as *figuras IV.14 e IV.15* mostram as perdas no diâmetro e na altura da orla, respectivamente, em função do tempo para as moedas de R\$ 0,25. Conforme pode ser observado nas *figuras IV.12 a IV.15*, as perdas dimensionais apresentaram crescimento aproximadamente linear com o tempo da moeda em circulação, no período examinado que foi de julho de 1998 a junho de 2003.



*Figura IV.12.* Variação de perda no diâmetro com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,05 (Coeficiente de correlação = 0.9944).

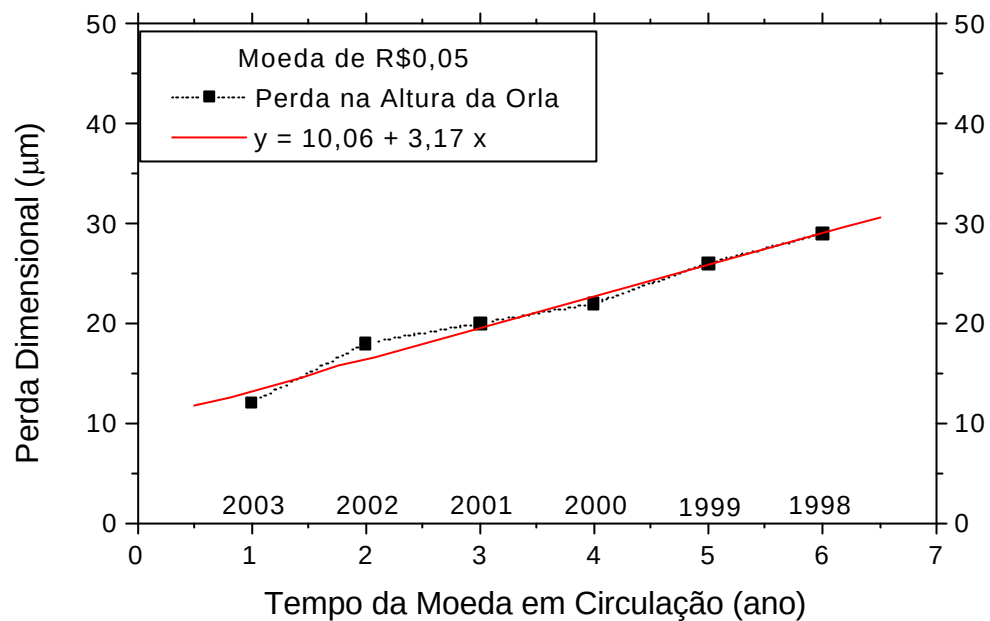


Figura IV.13. Variação de perda na altura da orla com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,05 (Coeficiente de correlação = 0.9865).

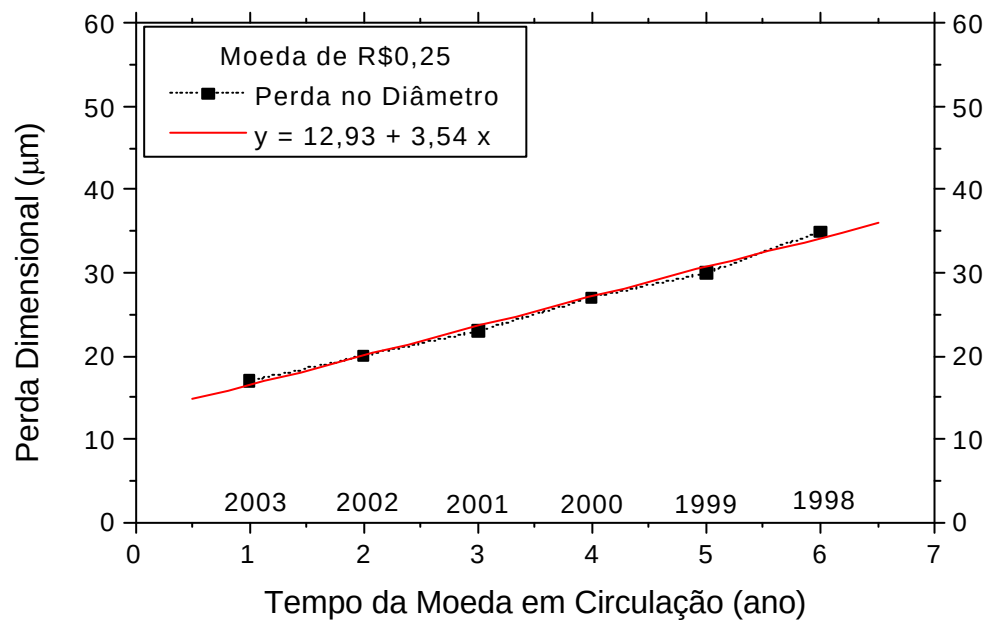
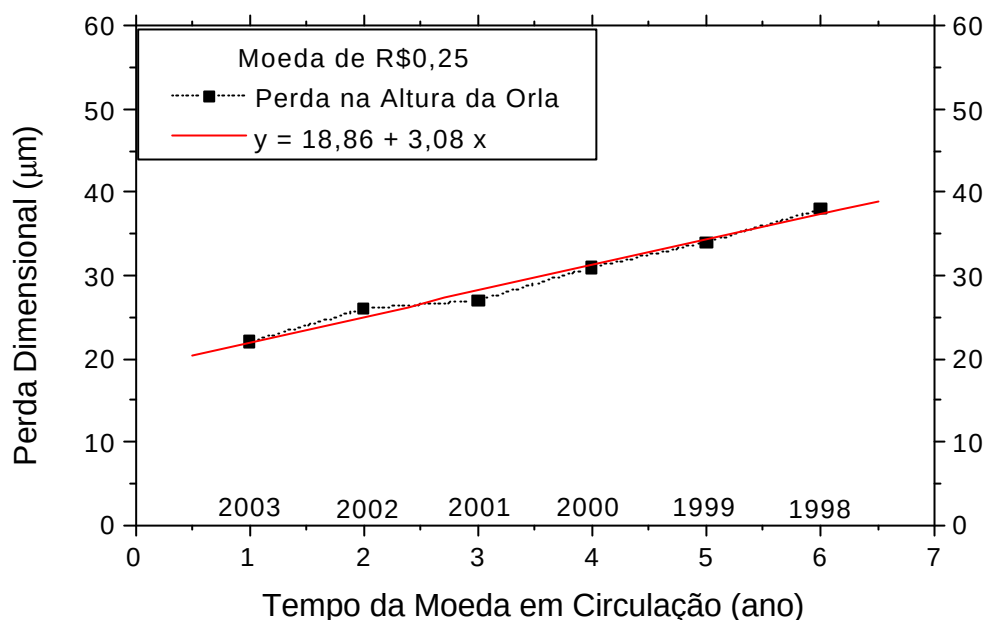


Figura IV.14. Variação de perda no diâmetro com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,25 (Coeficiente de correlação = 0.9962).



*Figura IV.15.* Variação de perda na altura da orla com o tempo, referente à moeda de R\$ 0,25 (Coeficiente de correlação = 0.9962).

Nas figuras acima, as expressões que relacionam as perdas dimensionais com o tempo da moeda em circulação indicam que a velocidade de desgaste da moeda é maior no diâmetro, em relação à altura da orla. Isto é, os coeficientes angulares das retas obtidas por regressão linear são maiores para os resultados de perdas no diâmetro.

A *figura IV.16* mostra os resultados das perdas dimensionais das moedas estudadas, em conjunto, para facilitar a análise das informações obtidas. Conforme pode ser observado na figura, as moedas de R\$ 0,05 apresentaram maior perda no diâmetro, em relação à altura da orla. Ao contrário, a moeda de R\$ 0,25 apresentou maior perda na altura da orla, em relação ao diâmetro.



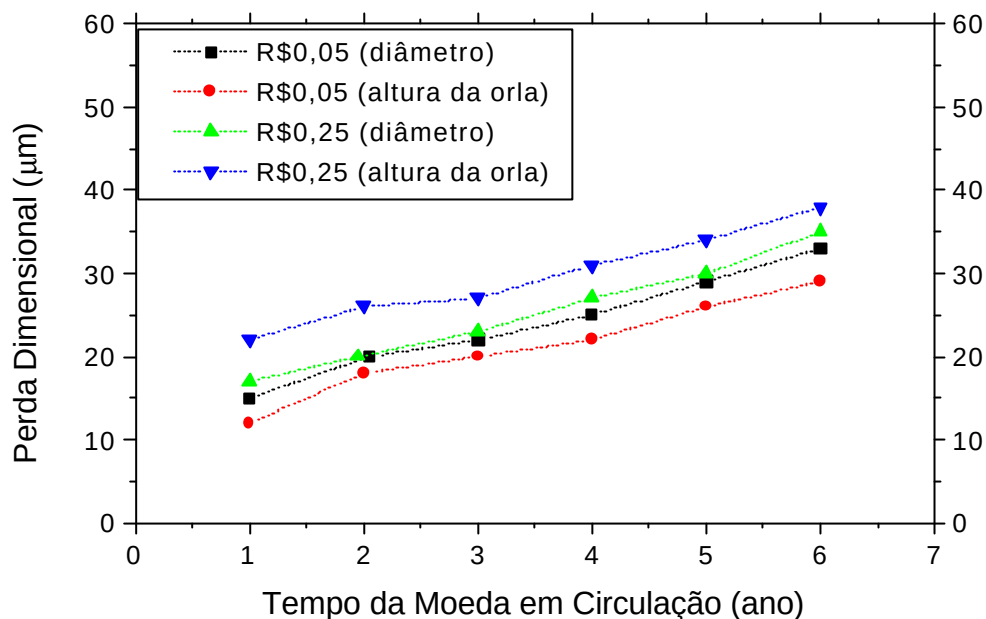


Figura IV.16. Variação de perdas dimensionais das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 em função do tempo em circulação.

### IV.3. – DUREZA SUPERFICIAL DAS MOEDAS

Antes da cunhagem, os discos eletrorrevestidos são recozidos para aumentar a aderência da camada depositada, por processo de difusão, e para melhorar o ganho dos relevos cunhados, bem como para aumentar a vida útil dos cunhos e dos componentes da máquina de cunhagem. Neste caso, a medida de dureza superficial constitui uma parte do processo que é adotada na Casa da Moeda do Brasil.

Os discos para as moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 apresentaram a mesma faixa de valores de dureza Rockwell superficial na escala 30T, que foi cerca de 47 HR30T. A *tabela IV.6* apresenta os valores médios da dureza superficial determinada num ponto de maior relevo e num ponto de baixo relevo das moedas estudadas, cunhadas nos anos de 1998 a 2003. Os valores individuais de dureza superficial estão contidos nas tabelas VIII.13. (R\$0,05) e VIII.14. (R\$0,25) do Capítulo VIII.

*Tabela IV.6 . Valores médios de dureza superficial das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25*

| Ano de emissão | Dureza Rockwell superficial -30T |              |                   |              |
|----------------|----------------------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                | Moeda de R\$ 0,05                |              | Moeda de R\$ 0,25 |              |
|                | Maior relevo                     | Baixo relevo | Maior relevo      | Baixo relevo |
| 1998           | 61,5                             | 60,0         | 59,0              | 62,6         |
| 1999           | 61,1                             | 61,5         | 60,5              | 61,7         |
| 2000           | 61,3                             | 60,8         | 57,6              | 63,3         |
| 2001           | 62,2                             | 62,2         | 60,2              | 64,5         |
| 2002           | 61,9                             | 62,6         | 59,7              | 63,5         |
| 2003           | 62,2                             | 62,5         | 58,3              | 62,9         |

Conforme pode ser verificado na tabela acima, as diferenças de dureza entre as medidas nos pontos de maior relevo e de baixo relevo são muito pequenas no caso das moedas de R\$ 0,05. Para as moedas de R\$ 0,25, os resultados indicam maior dureza nos pontos de baixo relevo, cerca de 2 a 9% superior. Com relação à dureza dos discos, o aumento de dureza resultante da operação de cunhagem foi de aproximadamente 28%, para as duas taxas.

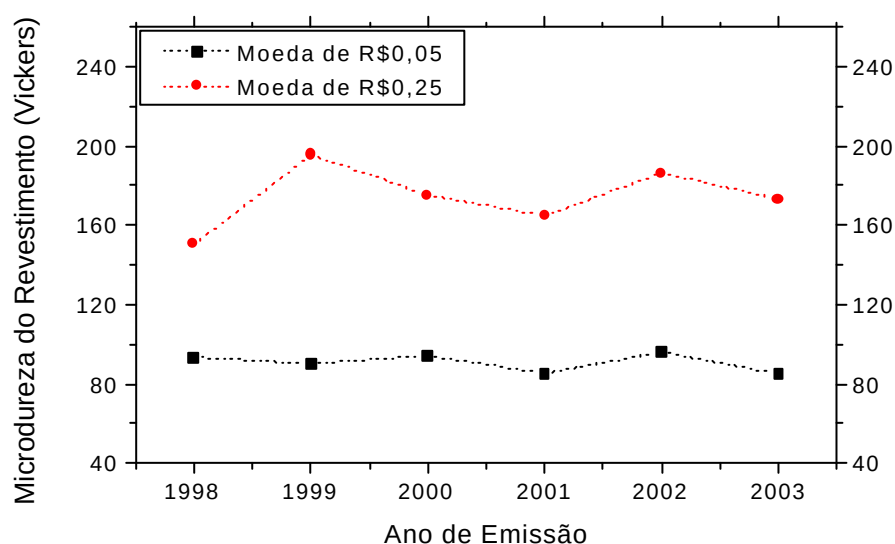
#### **IV.4.– MICRODUREZA DOS REVESTIMENTOS DAS MOEDAS**

Conforme indicado no item III.2.5, foi determinada a microdureza Vickers na seção de corte da camada de revestimento das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 usadas, e num disco liso para moeda, produzido em 2003. A *tabela IV.7* apresenta os valores médios resultantes das 5 determinações de cada amostra utilizada nas medidas. Os valores individuais de microdureza estão contidos nas tabelas VIII.15. (R\$0,05) e VIII.16. (R\$0,25) do Capítulo VIII.

*Tabela IV.7 . Valores médios de microdureza dos revestimentos das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25*

| Ano de Emissão | Microdureza Vickers |                   |
|----------------|---------------------|-------------------|
|                | Moeda de R\$ 0,05   | Moeda de R\$ 0,25 |
| 1998           | 93,3                | 150,2             |
| 1999           | 90,3                | 195,6             |
| 2000           | 94,3                | 175,4             |
| 2001           | 85,3                | 164,8             |
| 2002           | 96,1                | 186,4             |
| 2003           | 85,1                | 173,2             |
| Disco liso     | 80,0                | 151,0             |

Conforme mostra a tabela acima, a microdureza da camada de cobre das moedas de R\$ 0,05 variou de 85,1 a 96,1 HV, enquanto a camada do disco liso apresentou microdureza 80,0 HV. Com relação às moedas de R\$ 0,25, a variação de microdureza da camada de bronze foi de 150,2 a 195,6 HV e o valor da microdureza do revestimento do disco foi de 151,0. A *figura IV.17* permite visualizar os valores de microdureza dos revestimentos em função do ano de emissão da moeda.



*Figura IV.17 .Valores de microdureza em função do ano de emissão das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25.*

#### IV.5. - ENSAIO DE DESGASTE

O ensaio de desgaste foi realizado num tambor hexagonal com diâmetro de 220 mm e dividido em três compartimentos de 110 mm. Dois compartimentos foram utilizados para avaliação do desgaste das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, segundo os procedimentos de ensaio de desgaste estabelecidos pela Deutsche Nickel A.G. descritos no item III.2.6. A carga dos compartimentos foi preparada de forma a permitir a comparação do desgaste de moedas novas com moedas de 1998 retiradas do meio circulante. A seguir é indicada a carga do compartimento.

- 10 amostras da moeda a examinar, nova;
- 10 amostras de moeda de mesma taxa, emissão 1998, usada;
- 90 discos para moedas;
- 250 g de milho triturado.

A determinação da perda de massa ocorreu em intervalos de tempo preestabelecidos, num total de 200 horas de ensaio. Os resultados de perda de massa das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 novas e usadas estão representados na *tabela.IV.8* e na *figuraIV.18*.

*Tabela.IV.8.*Resultados de perda de massa das moedas no ensaio de desgaste.

| Tempo<br>(horas) | Perda de massa por moeda (mg) |            |           |            |
|------------------|-------------------------------|------------|-----------|------------|
|                  | R\$ 0,05                      |            | R\$ 0,25  |            |
|                  | 2004-nova                     | 1998-usada | 2003-nova | 1998-usada |
| 0                | 0                             | 0          | 0         | 0          |
| 16               | 0,6                           | 1,9        | 0,6       | 0,6        |
| 25               | 0,9                           | 2,2        | 0,7       | 0,8        |
| 50               | 1,8                           | 3,0        | 0,8       | 1,1        |
| 75               | 2,4                           | 3,6        | 1,0       | 1,2        |
| 100              | 3,1                           | 4,1        | 1,1       | 1,4        |
| 125              | 3,7                           | 4,6        | 1,2       | 1,6        |
| 150              | 4,4                           | 5,1        | 1,4       | 1,8        |
| 175              | 5,0                           | 5,6        | 1,5       | 1,9        |
| 200              | 5,7                           | 6,2        | 1,6       | 2,1        |

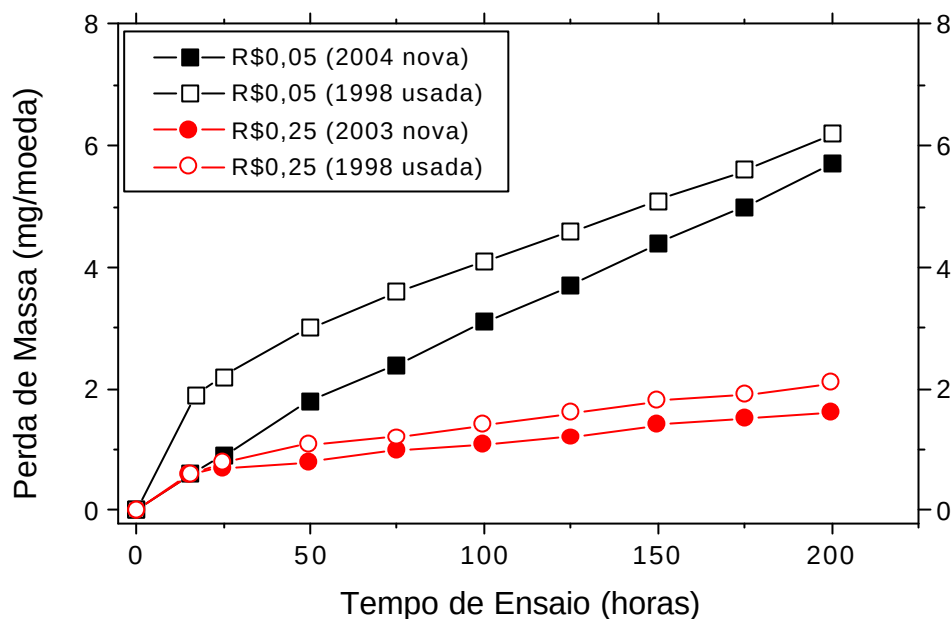


Figura IV.18. Variação da perda de massa das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 no ensaio de desgaste.

Conforme pode ser observado na *tabela IV.8* e na *figura IV.18*, a perda de massa das moedas de R\$ 0,05 usadas (emissão 1998) foi 1,3 superior à perda de massa das moedas novas (emissão 2004), no primeiro tempo de avaliação. A diferença diminuiu com o tempo de ensaio e no final de 200 horas a perda de massa total das moedas novas foi de 5,7 mg/moeda e a das moedas usadas foi de 6,2 mg/moeda. A perda de massa das moedas de R\$ 0,25 foi muito baixa, atingindo 1,6 mg/moeda para as moedas novas e 2,1 mg/moeda para as moedas usadas, no final do ensaio.

As *figuras IV.19* e *IV.20* mostram o aspecto das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, após o ensaio de desgaste. Conforme pode ser verificado nestas figuras, as moedas examinadas apresentaram excelente desempenho, sem qualquer perda de identificação no tempo de ensaio.

| Ensaio de Desgaste – 200 horas |                                                                                   |                                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| R\$ 0,05                       | Estado Inicial                                                                    | Estado Final                                                                       |
| 2004<br>Nova                   |  |  |
| 1998<br>Usada                  |  |  |

Figura IV.19. Aspecto das moedas de R\$ 0,05 após ensaio de desgaste.

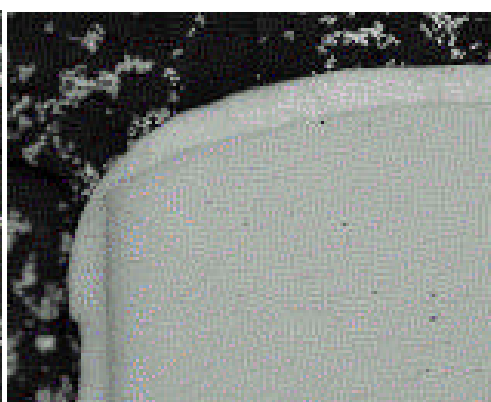
| Ensaio de Desgaste – 200 horas |                                                                                     |                                                                                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| R\$ 0,25                       | Estado Inicial                                                                      | Estado Final                                                                         |
| 2003<br>Nova                   |  |  |
| 1998<br>Usada                  |  |  |

Figura IV.20. Aspecto das moedas de R\$ 0,25 após ensaio de desgaste.

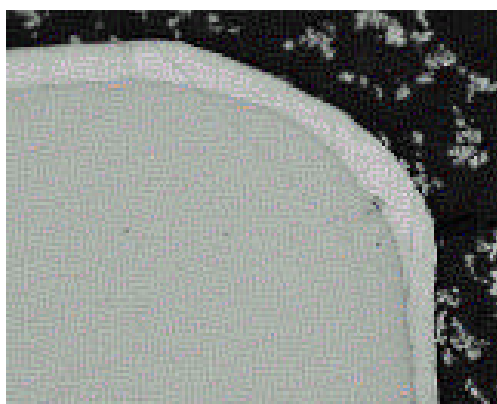
Após o exame de superfície, as moedas foram seccionadas para verificação do desgaste da camada de revestimento. As *figuras IV.21 e IV.22* mostram as seções de corte das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25 após ensaio no tambor rotativo. Conforme pode ser visto nas figuras, o desgaste dos revestimentos foi mínimo, o que está de acordo com os resultados de perda de massa apresentados na *tabela IV.8*.



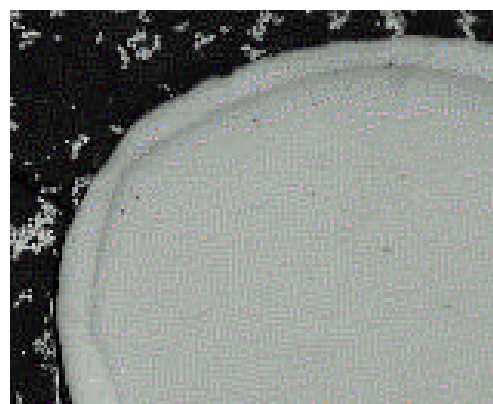
A. (1998) Antes do ensaio



B. (1998) Após ensaio

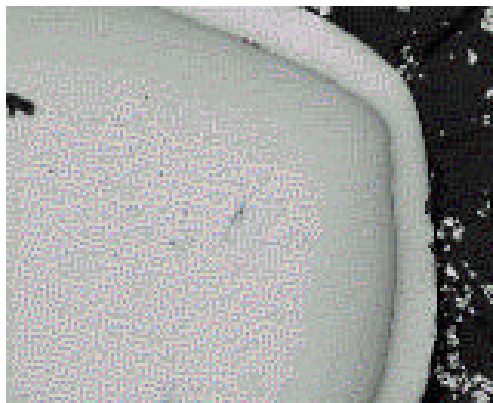


C. (2004) Antes do ensaio

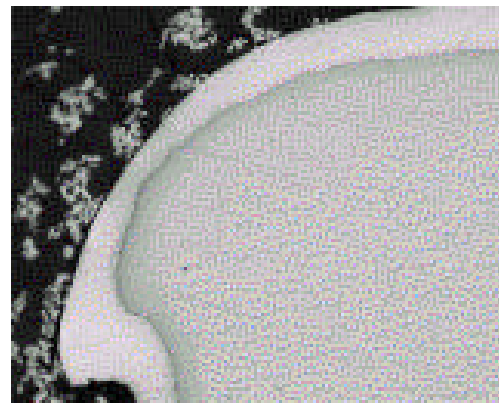


D. (2004) Após ensaio

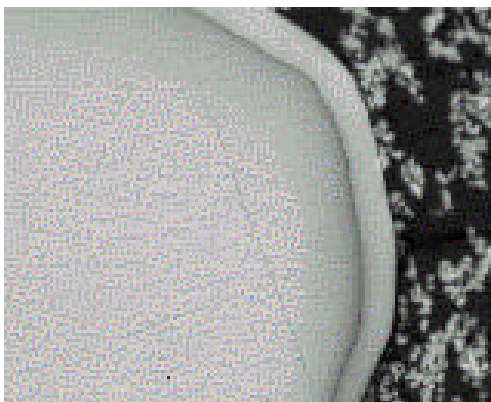
*Figura IV.21.* Micrografia da seção de corte transversal na orla da moeda de R\$ 0,05 antes e após ensaio de desgaste em tambor rotativo (aumento 100X).



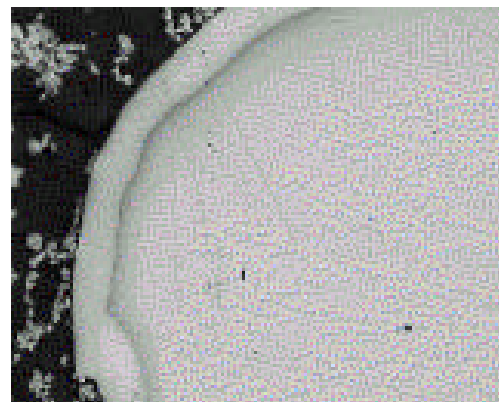
A. (1998) Antes do ensaio



B. (1998) Após ensaio



C. (2003) Antes do ensaio



D. (2003) Após ensaio

*Figura IV.22.* Micrografia da seção de corte transversal da orla da moeda de R\$ 0,25 antes e após ensaio de desgaste em tambor rotativo (aumento de 100X).



## IV.6. – ENSAIOS DE CORROSÃO

### IV.6.1. – ENSAIO EM CÂMARA DE UMIDADE

Conforme descrito em Materiais e Métodos, no ensaio em câmara de umidade as amostras ficam expostas a um meio atmosférico de umidade 100% e à temperatura de 35°C. Em tempos pré-determinados são retiradas duas amostras de cada material para avaliação. As *tabelas IV.9 e IV.10* resumem os resultados encontrados para as moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente.

*Tabela IV.9.* Observações referentes ao ensaio em câmara de umidade.  
Moeda de R\$ 0,05

| Tempo (horas) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,05 – Câmara de umidade                                            |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 24            | Formação de manchas marrom-escuras. Revestimento sem danos.                                                   |
| 48            | Aumento das manchas marrom-escuras. Revestimento sem danos.                                                   |
| 72            | Aumento das manchas marrom-escuras. Revestimento sem danos.                                                   |
| 144           | Formação de manchas negras e dificuldade de identificação das moedas. Revestimento sem danos.                 |
| 216           | As manchas negras dificultando a identificação das moedas. Revestimento sem danos.                            |
| 264           | Formação de manchas lilás-foscas e negras. Identificação das moedas fica prejudicada. Revestimento sem danos. |
| 336           | Moeda totalmente recoberta por oxidação negra, não permitindo a sua identificação.                            |
| 550           | Moeda totalmente recoberta por oxidação negra, não permitindo a sua identificação.                            |

*Tabela IV.10. Observações referentes ao ensaio em câmara de umidade.  
Moeda de R\$ 0,25*

| Tempo (horas) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,25 – Câmara de umidade                                                                |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 24            | Formação de pequenas manchas amarelas. Revestimento sem danos.                                                                    |
| 48            | Aparecimento de manchas avermelhadas (lilás) principalmente nas áreas das linhas paralelas. Revestimento sem danos.               |
| 72            | Crescimento das manchas avermelhadas (lilás), sendo que algumas apresentando mudanças para marrom-escuro. Revestimento sem danos. |
| 144           | Aumento das manchas marrons. Sinais de corrosão vermelha nas áreas da borda serrilhada e linhas paralelas inclinadas.             |
| 216           | Aumento das manchas marrons. Sinais de corrosão vermelha nas áreas da borda serrilhada e linhas paralelas inclinadas.             |
| 264           | Manchas marrons e início de formação de manchas azuladas. Sinais de corrosão vermelha nas bordas e linhas paralelas.              |
| 336           | Manchas marrons e início de formação de manchas azuladas. Sinais de corrosão vermelha nas bordas e linhas paralelas.              |
| 550           | Manchas marrons e início de formação de manchas azuladas. Sinais de corrosão vermelha nas bordas e linhas paralelas.              |

Na ocasião do ensaio das moedas em câmara de umidade, foram introduzidos na câmara discos para as moedas com o objetivo de serem avaliados no final de 24 horas. Este procedimento constitui o que é conhecido por “Teste de água para avaliação de discos eletrodepositados”. Com relação aos discos para moeda de R\$ 0,05, os resultados indicaram formação de manchas marrom-escuras e ausência de danos no revestimento. No caso dos discos para moedas de R\$ 0,25, houve formação de pequenas manchas amarelas na superfície, sem danos no revestimento.

As figuras IV.23. e IV.24. mostram o aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, após o ensaio em câmara umidade.

| 24 h                                                                                | 48 h                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 72 h                                                                                | 144 h                                                                                |
|    |    |
| 216 h                                                                               | 264 h                                                                                |
|   |   |
| 336 h                                                                               | 550 h                                                                                |
|  |  |

*Figura IV.23.* Aspecto da superfície das moedas de R\$0,05 após ensaio na câmara de umidade.

| 24 h                                                                                | 48 h                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 72 h                                                                                | 144 h                                                                                |
|    |    |
| 216 h                                                                               | 264 h                                                                                |
|   |   |
| 336 h                                                                               | 550 h                                                                                |
|  |  |

*Figura IV.24.* Aspecto da superfície das moedas de R\$0,25 após ensaio na câmara de umidade.

#### IV.6.2. – ENSAIO EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA

No ensaio em câmara de névoa salina as amostras ficam expostas a uma névoa produzida pela passagem de ar comprimido numa solução 5% de cloreto de sódio, a 35°C. Duas amostras de cada material foram retiradas para avaliação, em tempos pré-determinados, e os resultados estão apresentados nas *tabelas IV.11. e IV.12.* para as moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente.

*Tabela IV.11.* Observações referentes ao ensaio em câmara de névoa salina.- R\$ 0,05

| Tempo (horas) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,05 – Câmara de névoa salina                                                                                                                           |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 24            | Coloração vermelha e com pequenas manchas vermelhas e verdes. Revestimento sem danos.                                                                                                             |
| 48            | Coloração vermelha e aparição de manchas verdes. Revestimento sem danos.                                                                                                                          |
| 72            | Coloração vermelha com pequenas manchas verdes. Indícios de corrosão vermelha nas áreas das linhas paralelas e do fundo onde tem cunhado o ano de emissão.                                        |
| 120           | Coloração vermelho-escura e pontos esverdeados principalmente nas áreas de baixo relevo onde há retenção de agentes corrosivos. Início de corrosão vermelha nas áreas citadas.                    |
| 168           | Coloração vermelha mais escura com tons lilás. Manchas verdes e vermelhas nas áreas de baixo relevo. Corrosão vermelha.                                                                           |
| 216           | Coloração vermelha com tons lilás e manchas verdes e vermelhas. Corrosão vermelha nas bordas e nas áreas das linhas paralelas finas.                                                              |
| 264           | Coloração lilás-fosca e presença de manchas verdes. Corrosão vermelha.                                                                                                                            |
| 336           | Coloração lilás-fosca e presença de manchas verdes. Corrosão vermelha.                                                                                                                            |
| 408           | Coloração lilás-fosca e presença de manchas verdes. Corrosão vermelha. Aumento de produtos de corrosão.                                                                                           |
| 500           | Retirados os discos revestidos que apresentavam coloração lilás-fosca, e manchas verdes, bem como corrosão vermelha. Desprendimento de produtos de corrosão.                                      |
| 696           | Dificuldades de identificação dos detalhes cunhados. Grande quantidade de corrosão vermelha e de manchas verdes. Tonalidade predominante lilás-fosca sem brilho. Aumento de produtos de corrosão. |

*Tabela IV.12. Observações referentes ao ensaio em câmara de névoa salina.- R\$ 0,25*

| Tempo (horas) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,25 – Câmara de névoa salina                                                                                                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 24            | Mudança de coloração do bronze para tonalidade amarelo-amarronzado. Sinais de corrosão vermelha nas áreas das bordas serrilhadas.                                                                                                |
| 48            | Coloração amarelo-amarronzada e presença de manchas verdes. Pequenas manchas vermelhas nas áreas das linhas paralelas.                                                                                                           |
| 72            | Aparecimento da coloração vermelha (lilás). Manchas verdes e corrosão vermelha nas áreas da borda serrilhada.                                                                                                                    |
| 120           | Coloração vermelha (lilás). Manchas verdes e vermelhas principalmente nas áreas das linhas paralelas próximas das bordas e na área serrilhada.                                                                                   |
| 168           | Coloração vermelha (lilás). Manchas verdes e vermelhas principalmente nas áreas das linhas paralelas próximas das bordas e na área serrilhada. Formação de produtos de corrosão.                                                 |
| 216           | Coloração vermelha (lilás). Manchas verdes e vermelhas principalmente nas áreas das linhas paralelas próximas das bordas e na área serrilhada. Corrosão vermelha principalmente nas áreas das linhas paralelas e do ano cunhado. |
| 264           | Coloração vermelha (lilás-fosca). Manchas verdes e vermelhas. Maior ataque corrosivo nas bordas serrilhadas.                                                                                                                     |
| 336           | Coloração vermelha (lilás-fosca). Manchas verdes e vermelhas. Maior ataque corrosivo nas bordas serrilhadas.                                                                                                                     |
| 408           | Coloração vermelha (lilás-fosca). Manchas verdes e vermelhas. Maior ataque corrosivo nas bordas serrilhadas e corrosão na forma de pite.                                                                                         |
| 500           | Retirados os discos revestidos que apresentavam coloração vermelha (lilás-fosca) , e manchas verdes, bem como corrosão vermelha. Desprendimento de produtos de corrosão.                                                         |
| 696           | Dificuldades de identificação dos detalhes cunhados. Grande quantidade de corrosão vermelha inclusive com desprendimento de produtos de corrosão e presença de manchas verdes. Tonalidade predominante vermelha (lilás-fosco).   |

As *figuras IV.25. e IV.26.* mostram o aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, após o ensaio em câmara de névoa salina.



| Ensaio em Câmara de Névoa Salina de R\$ 0,05                                        |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 24h                                                                                 | 48h                                                                                 | 72h                                                                                  |
|    |    |    |
| 120h                                                                                | 168h                                                                                | 216h                                                                                 |
|    |    |    |
| 264h                                                                                | 408h                                                                                | 696h                                                                                 |
|  |  |  |

*Figura IV.25. Aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,05 após ensaio na câmara de névoa salina.*

| Ensaio em Câmara de Névoa Salina de R\$ 0,25                                        |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 24h                                                                                 | 48h                                                                                 | 72h                                                                                  |
|    |    |    |
| 120h                                                                                | 168h                                                                                | 216h                                                                                 |
|    |    |    |
| 264h                                                                                | 408h                                                                                | 696h                                                                                 |
|  |  |  |

*Figura IV26. Aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,25 após ensaio na câmara de névoa salina.*

#### IV.6.3. – ENSAIO DE IMERSÃO TOTAL

Amostras de moedas e de discos revestidos foram imersos em solução 0,1 M NaCl (pH = 7,0) com o propósito de determinar o desempenho do revestimento e o potencial de eletrodo, em função do tempo de ensaio. As observações realizadas em 10 amostras e 8 discos conduziram às seguintes informações, resumidas nas tabelas IV.13 e IV.14 para as moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente.



*Tabela IV.13. Observações referentes ao ensaio de imersão total.- R\$ 0,05*

| Tempo (dias) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,05 – imersão total                                                             |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Manchas vermelhas (lilás brilhante). Corrosão vermelha na borda próximo da região das linhas paralelas.                    |
| 2            | Manchas vermelhas (lilás). Pequenos pontos de corrosão vermelha na borda do disco.                                         |
| 3            | Manchas vermelhas (lilás). Pequenos pontos de corrosão vermelha na borda do disco.                                         |
| 7            | Manchas vermelhas (lilás). Pequenos pontos de corrosão vermelha na borda do disco. Indícios de corrosão vermelha na borda. |
| 8            | Moeda com coloração vermelha (lilás). Ausência de corrosão.                                                                |
| 9            | Moeda com coloração vermelha (lilás). Pequenos pontos de corrosão vermelha.                                                |
| 14           | Disco com pontos de corrosão vermelha.                                                                                     |
| 21           | Disco com corrosão vermelha próximo da borda.                                                                              |

*Tabela IV.14 . Observações referentes ao ensaio de imersão total. - R\$ 0,25*

| Tempo (dias) | Ocorrências verificadas nas moedas de R\$ 0,25 – imersão total                                                                                                 |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Mudança de coloração de amarelo-claro para amarelo-esverdeado. Pontos de corrosão vermelha.                                                                    |
| 2            | Manchas marrom-clara. Corrosão vermelha na orla serrilhada.                                                                                                    |
| 3            | Disco com coloração amarelo-escura. Pontos de corrosão vermelha.                                                                                               |
| 7            | Moeda com coloração amarelo-escura e manchas verdes. Disco com pontos de corrosão vermelha na borda.                                                           |
| 8            | Moeda com coloração amarelo-escura e manchas verdes sem qualquer sinal de corrosão. Disco com pontos de corrosão vermelha na borda.                            |
| 9            | Moeda com coloração amarelo-escura e manchas verdes sem qualquer sinal de corrosão. Disco com pontos de corrosão vermelha na borda.                            |
| 14           | Moeda com coloração amarelo-escura e manchas verdes. Disco com pontos de corrosão vermelha na borda.                                                           |
| 21           | Moeda com coloração amarelo-escura e manchas verdes. Pontos de corrosão vermelha na área das linhas paralelas. Disco com corrosão vermelha na borda e na orla. |

As figuras IV.27. e IV.28. mostram a variação do potencial das cinco amostras de moedas de R\$ 0,05 e R\$ 0,25, respectivamente, em função do tempo de ensaio. Os valores de potencial dos corpos-de-prova estão representados nas tabelas VIII.17 (R\$0,05) e VIII.18 (R\$0,25) do Capítulo VIII.

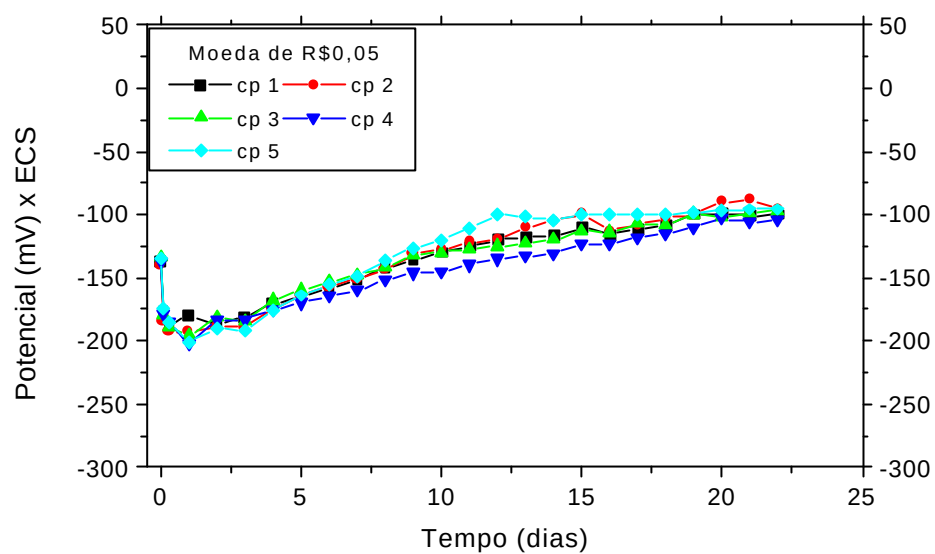


Figura IV.27. Variação do potencial das cinco amostras de moedas de R\$ 0,05 em função do tempo de ensaio.

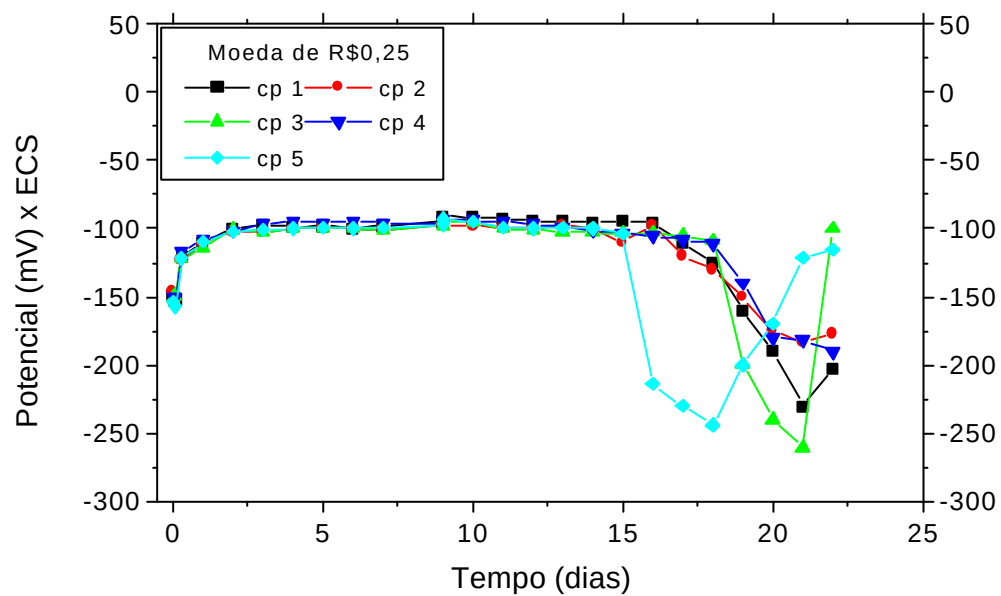
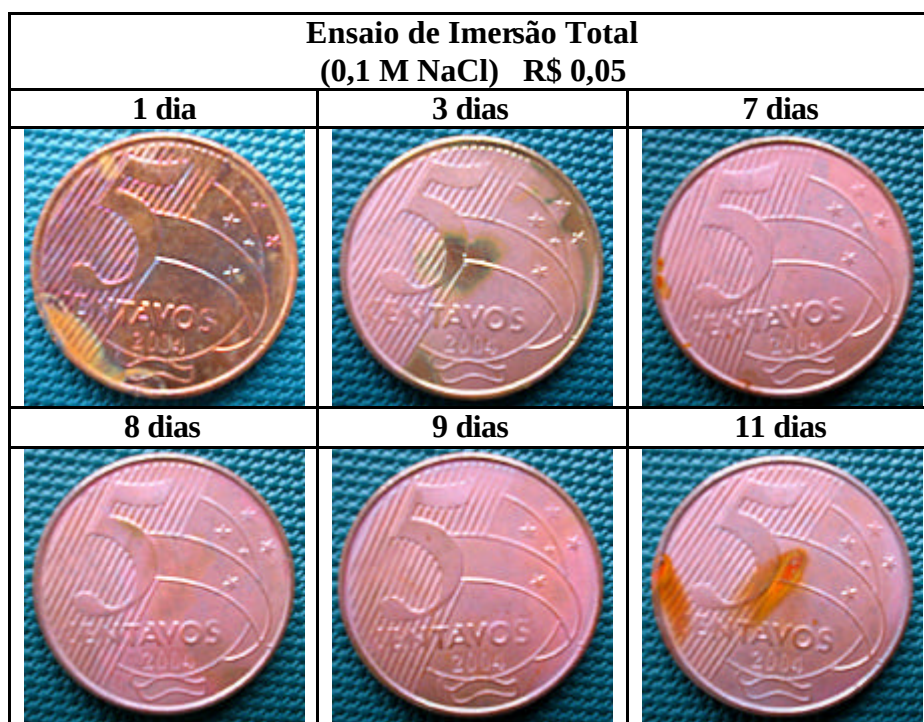


Figura IV.28. Variação do potencial das cinco amostras de moedas de R\$ 0,25 em função do tempo de ensaio.

Para as moedas de R\$ 0,05, o potencial inicial foi de aproximadamente  $-137$  mV x ECS. Em seguida, houve diminuição do potencial, atingindo valores de  $-195$  mV x ECS após 24 horas de ensaio. A partir deste tempo, o potencial aumentou lentamente e alcançou aproximadamente  $-100$  mV x ECS no final de 23 dias, sem queda de potencial que indicaria ataque do substrato.

As moedas de R\$ 0,25 apresentaram um potencial inicial de aproximadamente  $-150$  mV x ECS. Em seguida, houve aumento do potencial, atingindo cerca de  $-100$  mV x ECS após aproximadamente 16 dias de ensaio. A partir deste tempo, algumas amostras apresentaram queda de potencial, atingindo valores da ordem de  $-240$  mV x ECS, significando ataque do substrato com aparecimento de corrosão vermelha.

Nas figuras IV.29 e IV.30 estão representados os aspectos da superfície das moedas de R\$ 0,05 e de R\$ 0,25, respectivamente.



*Figura IV.29.* Aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,05 após ensaio de imersão total.

| Ensaio de Imersão Total<br>(0,1 M NaCl) R\$ 0,25                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 dia                                                                              | 2 dias                                                                             | 7 dias                                                                              |
|   |   |   |
| 8 dias                                                                             | 9 dias                                                                             | 14 dias                                                                             |
|  |  |  |

*Figura IV.30.* Aspecto da superfície das moedas de R\$ 0,25 após ensaio de imersão total.

## CAPÍTULO V

### DISCUSSÃO

O estudo sobre os equilíbrios eletroquímicos do sistema Cu-H<sub>2</sub>O em diagramas “Potencial x pH” realizado por Pourbaix [20] estabelece domínios em que o cobre é solúvel, principalmente sob a forma de íons  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{HCuO}_2^-$  ou  $\text{CuO}_2^{2-}$ , e domínios onde o metal é estável sob a forma de uma fase sólida, tal como o metal puro ou um de seus óxidos. Se o pH e o potencial de eletrodo na interface entre o metal e a solução são tais que correspondem ao domínio de estabilidade de um composto sólido (por exemplo Cu<sub>2</sub>O) é de se esperar que este composto se deposite sobre a superfície do metal e que este depósito assim formado constitua uma barreira contra a ação corrosiva da solução. Uma tal situação é chamada de passivação. As soluções neutras ou ligeiramente alcalinas contendo oxidantes e as atmosferas não poluídas passivam o metal pela formação de filmes de óxidos como Cu<sub>2</sub>O de cor vermelha e CuO de cor preta.

Nas soluções contendo cloreto e nas atmosferas marinhas o cobre pode sofrer corrosão por pite, sendo que nas condições de equilíbrio no fundo dos pites coexistem cobre (Cu), óxido de cobre vermelho (Cu<sub>2</sub>O) e cloreto de cobre branco (CuCl), segundo Pourbaix [20]. Em meio ácido oxidante contendo cloreto ( $10^{-2}$  íong Cl/l, pH < 5,40) o derivado do cobre estável é a paratacamita  $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 - \tilde{\text{a}}$ .

Um estudo sobre a composição de pátinas naturais formadas em alguns monumentos de bronze da cidade do Rio de Janeiro foi realizado por Lago et al. [26]. As pátinas são produtos de corrosão que se formam quando o cobre e suas ligas são expostos à atmosfera. As análises por difração de raios-X das pátinas formadas em 14 monumentos situados em diferentes logradouros da cidade revelaram a presença de cuprita Cu<sub>2</sub>O em praticamente todos os monumentos, uma predominância de atacamita e paratacamita  $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 - \tilde{\text{a}}$  nos monumentos localizados em regiões marinhas, e de brocantita  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$  nos monumentos situados em áreas urbanas. As pátinas apresentaram-se não uniforme, com coloração vermelha, marrom preta e verde.

Em ensaios de laboratório com simulação de diferentes micro-climas, os autores verificaram a formação dos mesmos produtos de corrosão observados nos monumentos, além de tenorita  $\text{CuO}$ , calcocianita  $\text{CuSO}_4$ , sulfatos de cobre II  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , calcantita  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , azurita  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , cassiterita  $\text{SnO}_2$  e romarquita  $\text{SnO}$ .

Do exposto acima relativo aos trabalhos teóricos de Pourbaix [20] sobre os sistemas  $\text{Cu-H}_2\text{O}$  e  $\text{Cu-Cl-H}_2\text{O}$  a  $25^\circ\text{C}$  e ao trabalho de Lago et al.[26] sobre as pátinas formadas em monumentos de bronze, e considerando que os meios usuais de circulação das moedas são oxidantes, uma moeda de cobre (ou bronze) estará sujeita à oxidação com formação de produtos que podem ser solúveis ou aderentes à superfície. Assim, as moedas recolhidas para estudo e apresentando coloração avermelhada, marrom-escura e escura são moedas que sofreram um processo natural de formação de filmes de superfície, com propriedades protetoras. Estes filmes devem ser constituídos dos óxidos  $\text{Cu}_2\text{O}$  (vermelho) e  $\text{CuO}$  (preto). Por outro lado, as moedas apresentando produtos de corrosão do substrato (corrosão vermelha) e produtos esverdeados paratacamita  $3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2$  ou brocantita  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$  ou malachita  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  são moedas que, possivelmente, estiveram expostas a meios contendo  $\text{Cl}^-$  ou  $\text{SO}_3$  ou  $\text{CO}_2$ .

O ensaio em câmara de umidade mostrou que as moedas de R\$0,05 apresentam manchas marrom-escuras, em 24 horas. A partir de 144 horas já se observava manchas negras e com 336 horas a moeda estava completamente escurecida, não permitindo sua identificação. As moedas de R\$0,25 apresentaram uma evolução de coloração inicialmente de manchas amarelas para manchas marrons e manchas azuladas. Com 144 horas algumas moedas apresentaram sinais de corrosão vermelha na borda serrilhada. Estes resultados estão de acordo com as avaliações feitas nas moedas usadas, conforme descrito no item IV.1.1. Isto é, o ensaio de laboratório permitiu reproduzir as condições de meio circulante em que predominam os efeitos da umidade na mudança de coloração das moedas R\$0,05 de marrom-avermelhada para enegrecida, e nas moedas de R\$0,25 de amarela para amarelo-escuro.

O ensaio em câmara de névoa salina apresenta a característica da agressividade do íon cloreto em meio úmido e fortemente aerado. As condições de corrosão são severas e podem provocar além de mudança de coloração, também falhas no

revestimento com conseqüente corrosão do substrato. As moedas de R\$0,05 apresentaram manchas vermelhas e verdes com 24 horas, e indícios de corrosão do substrato nas áreas das linhas paralelas, com 72 horas de ensaio. As moedas de R\$0,25 alteraram a coloração de amarelo-dourada para amarelo-amarronzada com 24 horas, e corrosão do substrato na borda serrilhada, com 72 horas de ensaio. Estes resultados estão também de acordo com o que foi observado do estado de superfície das moedas em circulação, conforme está indicado no item IV.1.1. Assim, pode-se dizer que o ensaio em câmara de névoa salina serviu para reproduzir satisfatoriamente as condições de exposição das moedas em atmosfera marinha onde predomina a agressividade dos íons cloreto com formação de manchas vermelhas, verdes e corrosão do substrato.

O ensaio de imersão total em solução 0,1 M NaCl de pH 7 permitiu avaliar a resistência do revestimento ao ataque localizado. A corrosão ocorre geralmente nos pontos da superfície onde o revestimento apresenta falhas de deposição ou defeitos gerados nas operações de cunhagem. No ensaio realizado, as amostras que falharam apresentaram corrosão nos relevos, sendo a maior incidência de falhas nas moedas de R\$0,25. Provavelmente, a deformação permanente produzida no relevo não só pode ter reduzido a espessura do revestimento como também provocado um aumento no nível de energia no local da deformação, tornando este local uma micro-área anódica em relação à superfície não deformada. Das moedas para medições do potencial de eletrodo, apenas as de R\$0,25 apresentaram ataque ao substrato. Entretanto, das amostras utilizadas para observações do estado da superfície, algumas apresentaram corrosão vermelha.

A avaliação do desgaste das moedas foi feita por perda de massa e por perdas dimensionais referentes ao diâmetro e à altura da orla da moeda. As perdas de massa estão indicadas na *tabela VI.2* e representadas nas *figuras IV.6* e *IV.7* por ano de emissão da moeda. A representação da perda de massa por tempo da moeda em circulação indicada nas *figuras IV.8* e *IV.9* conduziu às seguintes relações:

$$y_1 = -0,43 + 2,92x \quad (\text{Moeda de R\$0,05})$$

$$y_1 = 1,48 + 1,96x \quad (\text{Moeda de R\$0,25}),$$

onde  $y_1$  representa a perda de massa em mg/ano e  $x$  o tempo em anos.

As relações acima indicam uma taxa de perda de massa de 2,92mg/ano para as moedas de R\$0,05 e de 1,96mg/ano para as moedas de R\$0,25, o que significa maior desgaste para as moedas de R\$0,05 em relação às moedas de R\$0,25. Este fato é devido, provavelmente, à menor dureza do revestimento de cobre (85,1 a 96,1 HV) em relação ao revestimento de bronze (150,2 a 195,6 HV).

Os resultados da taxa de perda de massa para as moedas brasileiras avaliadas no período de 6 anos são inferiores àqueles apresentados por RUSCOE [14] para as moedas “cladeadas” de CuNi/aço/CuNi (18mg/ano), liga maciça Cu-23%Zn-12%Ni (12mg/ano) e moedas eletrodepositadas com 6%Ni e 16%Ni (4,5mg/ano) para um período de avaliação de 20 anos em circulação em EL Salvador.

A perda de massa no primeiro ano da moeda de R\$0,25 em circulação foi maior, conforme pode ser verificado na *tabela IV.2 e nas figuras IV.8 e IV.9*. Isto ocorreu porque a moeda apresenta o bordo serrilhado, o que torna a moeda mais sujeita ao desgaste, e ainda possui maior comprimento da circunferência (diâmetro de 25mm) e maior altura da orla (2,12 até 2,28mm) em relação à moeda de R\$ 0,05 de bordo liso e menor comprimento da circunferência (diâmetro de 22mm) e da altura da orla (1,52 até 1,78mm).

Com relação às perdas dimensionais, os resultados apresentados na *tabela IV.5 e nas figuras IV.12 a IV.15* conduziram as seguintes relações:

Moeda de R\$0,05

$$\text{Perda no diâmetro } (\mu\text{m}): \quad y_2 = 12,00 + 3,42x$$

$$\text{Perda na altura da orla } (\mu\text{m}): \quad y_2 = 10,06 + 3,17x$$

Moeda de R\$0,25

$$\text{Perda no diâmetro } (\mu\text{m}): \quad y_2 = 12,93 + 3,54x$$

$$\text{Perda na altura da orla } (\mu\text{m}): \quad y_2 = 18,86 + 3,08x,$$

onde  $y_2$  representa a perda dimensional em  $\mu\text{m/ano}$  e  $x$  o tempo em anos.



As relações acima permitem fazer algumas projeções de desgaste das moedas considerando, por exemplo, 15 anos de circulação para as moedas de R\$0,05 e R\$0,25. Abaixo estão os resultados obtidos.

| Moeda   | Tempo<br>(ano) | Perda Dimensional ( $\mu\text{m}$ ) |                |
|---------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|         |                | Diâmetro                            | Altura da Orla |
| R\$0,05 | 15             | 63,30                               | 57,61          |
| R\$0,25 | 15             | 66,03                               | 65,06          |

Admitindo um acréscimo de 60% na espessura do depósito nas extremidades do disco eletrodepositado, diâmetro e altura da orla, em relação à espessura nominal de  $35\mu\text{m}$  medida no centro do disco, a espessura do depósito nestas extremidades seria de  $56\mu\text{m}$ . Considerando as projeções de perdas dimensionais apresentadas acima, as moedas ainda teriam espessuras de revestimento nas extremidades de aproximadamente  $24\mu\text{m}$ . Este resultado indica o bom desempenho do revestimento quanto ao desgaste.

A *figura IV.16* mostra que a perda de diâmetro da moeda de R\$ 0,25 no primeiro ano foi maior do que a perda na altura na orla. Isto ocorreu devido ao desgaste das serrilhas, conforme discutido anteriormente no caso da perda de massa.

Os resultados do ensaio de desgaste apresentados na *tabela IV.8* mostram boa concordância dos valores entre moedas novas e usadas, exceto para a moeda usada de R\$ 0,05 que apresentou perdas maiores no início do ensaio. As observações da superfície e das seções de corte comprovam o bom desempenho dos revestimentos, mesmo nas moedas que permaneceram 6 anos no meio circulante (moedas usadas) e que foram submetidas ao ensaio de desgaste, no laboratório (*figuras IV.19, IV.20, IV.21, IV.22*).

A comparação dos resultados do presente trabalho com os levantamentos feitos nos períodos de 1998 a 2003 (*figuras II.4 e II.5*) mostra que os valores atuais são inferiores. Isto poderia ser explicado pela mudança na carga do tambor de ensaio, ao substituir as 10 moedas para calibração dos resultados de aço inoxidável por moedas de

mesmo material da moeda a examinar. Como é conhecida, a moeda de aço inoxidável apresenta dureza superior às moedas com revestimentos de cobre e bronze, tratadas termicamente, o que levaria a um maior desgaste das moedas a examinar, no ensaio de desgaste em tambor.

O ensaio de desgaste descrito pela Deutsche Nickel AG propunha que 200 horas de funcionamento do tambor rotativo a 50 rotações por minuto corresponderia a 15 anos da moeda em circulação, para moeda cunhada em disco maciço da liga Cu-2,5%Zn-0,5%Sn e em disco de aço baixo-carbono eletrodepositado com camada de níquel. Estas moedas perderam 55mg (liga maciça) e 20mg (disco eletrodepositado) nas 200 horas de ensaio.

As curvas de perda de massa do ensaio de desgaste obtidas para as moedas de R\$0,05 e R\$0,25, incluindo aquelas do período anterior (*figuras II.4 e II.5*), indicam perdas de massa inferior a 15,5mg (R\$0,05) e a 9,3mg (R\$0,25) para 200 horas de funcionamento do tambor. Entretanto, os resultados de perda de massa das moedas com 6 anos de circulação foram de 17,1mg (R\$0,05) e de 13,4mg (R\$0,25), conforme *tabela IV.2*. Isto é, com apenas 6 anos da moeda em circulação a perda de massa ultrapassou o valor obtido no ensaio de desgaste em tambor rotativo com 200 horas, que é o tempo que deveria corresponder a 15 anos da moeda em circulação de acordo com a proposta do método. Provavelmente isto ocorreu porque as moedas que estavam em circulação durante os 6 anos sofreram a ação simultânea do processo de corrosão e de abrasão. Portanto, o ensaio de desgaste em tambor deverá ser modificado de modo a permitir uma melhor correlação com as perdas de massa das moedas em circulação, principalmente na presença da atmosfera agressiva das cidades do Rio de Janeiro e de Niterói.

Após o término do ensaio de desgaste em tambor rotativo, as moedas foram examinadas na superfície, não apresentando nenhum problema de exposição do substrato de aço baixo-carbono. Observações ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) mostraram que as espessuras restantes nas áreas das bordas do revestimento de cobre estão na faixa de 37 $\mu$ m e de 34 $\mu$ m no revestimento de bronze das moedas usadas, sendo, portanto, suficientes para a continuidade das moedas no meio circulante.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSÕES**

A avaliação das moedas com revestimento de cobre (R\$0,05) e de bronze (R\$0,25) com 6 anos no meio circulante nas cidades do Rio de Janeiro e de Niterói, complementada com os ensaios de laboratório, conduziu às seguintes conclusões:

- As moedas de R\$0,05 em circulação apresentaram alteração da coloração de vermelha para avermelhada, marrom-clara e marrom-escuro. As moedas de R\$0,25 sofreram alterações da coloração de amarelo-claro para amarelo-escuro e marrom.
- As moedas de R\$0,05 e R\$0,25 expostas a meios agressivos apresentaram coloração não uniforme, com manchas avermelhadas, amarronzadas, esverdeadas, azuladas e negras, porém ainda próprias para uso em circulação.
- Um número significativamente reduzido de moedas mostrou-se impróprio para continuidade em circulação por apresentarem estado de corrosão acentuado, impossibilidade de identificação da taxa, perfuração e empenos.
- Os ensaios de laboratório em câmara de umidade, em câmara de névoa salina e de imersão total reproduziram satisfatoriamente as condições de mudança de coloração e corrosão das moedas em circulação.
- As avaliações das perdas de massa e dimensionais relativas ao diâmetro e a altura da orla das moedas em circulação por 6 anos indicaram excelente desempenho destes materiais.
- O ensaio de desgaste em tambor rotativo para simulação de 15 anos da moeda em circulação apresentou resultado de perda de massa inferior aos valores determinados com as moedas de R\$0,05 e R\$0,25 que estiveram por 6 anos em circulação.

## **CAPÍTULO VII**

### **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A análise das avaliações do estado de superfície e do desgaste das moedas de R\$0,05 e R\$0,25 com 6 anos em circulação, e dos ensaios de laboratório permite apresentar as seguintes sugestões:

- Adotar uma sistemática de recolhimento de amostras de moedas em circulação a cada ano para novas avaliações. Simultaneamente retirar amostras de moedas novas na produção para servir de referência para determinações futuras.
- Estender a sistemática de coleta de moedas para avaliação em outras localidades do país.
- Aprimorar os ensaios de laboratórios para reproduzir de forma mais representativa as condições de corrosão e de desgaste das moedas em circulação.

## **CAPÍTULO VIII**

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] CRIBB, J. ; Aventura Visual – Dinheiro ; Editora Globo; 1ª Edição ; São Paulo; 1990.
- [2] ASINS, C.A.; Tesoros Del Gabinete Numismatico ; 1ª Reedição ; Secretaria General Técnica – Ministerio de Educación, Cultura y Deportes de España ; Madrid, 2003.
- [3] HIELLE, I. ; The Coin History ; Metals Times ; Krupp VDM Gmbh ; Werdohl - Alemanha ; Julho 1992.
- [4] GONÇALVES, C.B.; Casa Da Moeda Do Brasil ; 2ª Edição ; Rio de Janeiro,1989.
- [5] SCHERPT, M.; Euro Coin Blanks Produced by the Billion ; Advanced Material & Processes ; Julho 2002.
- [6] WELDON, B.A.; Possible New Coinage Materials – Alternative Alloys Based on the Copper-Nickel Series ; Nickel Development Institute ; Toronto.
- [7] PATARINI ; Some Elements for the Chice of Coinage Alloys ; XVI Mint Director's Conference ; Londres,1990.
- [8] HEPBURN, I.; The Introduction of New Coinage (The New United Kingdom 5p and 10p Coins) ; XVI Mint Director's Conference ; Londres,1990.
- [9] WILTING, F.; Coinage From Melting Shop To Mint ; Metals Times ; Krupp VDM Gmbh ; Werdohl- Alemanha, Julho de 1992.
- [10] GREGER, H ; The Development of Clad Coinage ; Bayerisches Hauptmünzamt Germany ; XVI Mint Director's Conference ; Londres,1990.

- [11] GIGANTE, F. , Eurocoins – Monedas y Biletes Del Euro- 1ª Edição Editora Jano S.L; Madrid, 2003.
- [12] JACKE, H.; Electroplating of Coins Blanks - The Clad and Electroplated Low Carbon Steel Process. ; XX Mint Director's Conference ; África do Sul , 1998.
- [13] TELIEPS, A. K.; RINKE, H.; Entirely Nickel Coated Steel Coins ; Brochure N° 513/1991 da KRUPP/VDM ; Werdohl Alemanha, Outubro de 1991.
- [14] RUSCOE, M.; Coin Wear in Circulation ; 9<sup>th</sup> TEMAN Conference ; Singapura, 1999.
- [15] "Electroplated Coins"; In: Paper presented by the British Royal Mint ; XVI Mint Director's Conference ; Londres 1990.
- [16] KRAUSE, L. C.; MISCHLER, C. ; 1998 Standard Catalogue of World Coins ; Krause Publications ; EUA, 1998.
- [17] "Coins Blanks from VDM" ; Catálogo Técnico N 5085 86-08 da Vereinigte Deutsche Metallwerke AG ; Alemanha
- [18] HORNER, J.; Basic Information on Finishing Processes, Cyanide Copper Plating ; Plating & Surface Finishing ; EUA ; Agosto de 2003.
- [19] KUTZELNIGG, A.; Ensayo de Recubrimiento Metalicos; 1ª Edição; Editorial River; Madrid ; 1967.
- [20] POURBAIX, M.; Leçons en Corrosion Electrochimique ; Deuxième Edition ; Cebelcor ; Bruxelles ; 1975.
- [21] GENTIL, V. Corrosão ; 3ª Edição ; Livros Técnicos e Científicos Editora ; Rio de Janeiro ; 1996.

- [22] BABOAIN, R. ; Environmental Teste On Coinage Materials ; Texas Instruments Incorporated ; Attleboro Estados Unidos da América ;1974.
- [23] SATLHER, L; MARTINEZ, J. C. C; SOBRAL, L.G.S; SANTOS R.L.C; Avaliação da Resistência à Corrosão e à Abrasão de Moedas/Discos da Nova Família do Real; CETEM Relatório Técnico 06/99 ; Rio de Janeiro ; 1999.
- [24] CHINA MINT COMPANY ; Research And Use Of Aluminum Alloys In Making Coins Of Small Denomination ; Mint Director's Conference ; Dezembro de 1987.
- [25] POONGSAN CORPORATION ; Characteristic Superiority of Coinage Materials ; XXIII - Mint Director's Conference ; San Francisco – EUA ; Março de 2004.
- [26] LAGO, D. C. B ; MIRANDA, L. R. M.; SATHLER, L.; Aplicação de Pátinas Artificiais em Restauração ; 58º Congresso Anual da ABM ; Rio de Janeiro, julho de 2003.

## CAPÍTULO IX

### ANEXOS

A seguir é indicada a relação das tabelas que fazem parte do anexo da tese.

*Tabela VIII.01-* Peso das moedas de R\$0,05 usadas, de 1998 a 2003.

*Tabela VIII.02-* Peso das moedas de R\$0,25 usadas, de 1998 a 2003.

*Tabela VIII.03-* Peso das moedas de R\$0,05 novas, de 1998 a 2003.

*Tabela VIII.04-* Peso das moedas de R\$0,25 novas, de 1998 a 2003.

*Tabela VIII.05-* Medidas do diâmetro das moedas de R\$0,05 usadas

*Tabela VIII.06-* Medidas do diâmetro das moedas de R\$0,05 novas.

*Tabela VIII.07-* Medidas do diâmetro das moedas de R\$0,25 usadas.

*Tabela VIII.08-* Medidas do diâmetro das moedas de R\$0,25 novas

*Tabela VIII.09-* Medidas da altura da orla das moedas de R\$ 0,05 usadas.

*Tabela VIII.10-* Medidas da altura da orla das moedas de R\$0,05 novas.

*Tabela VIII.11-* Medidas da altura da orla das moedas de R\$0,25 usadas.

*Tabela VIII.12-* Medidas da altura da orla das moedas de R\$ 0,25 novas.

*Tabela VIII.13-* Dureza superficial das moedas de R\$0,05.

*Tabela VIII.14-* Dureza superficial das moedas de R\$0,25.

*Tabela VIII.15 –* Microdureza Vickers no revestimento de cobre (R\$0,05)

*Tabela VIII.16 –* Microdureza Vickers no revestimento de bronze (R\$0,25)

*Tabela VIII.17-* Potencial de eletrodo do ensaio de imersão total (Moeda de R\$0,05).

*Tabela VIII.18-* Potencial de eletrodo do ensaio de imersão total (moeda de R\$0,25).

Observação: Nas tabelas VIII. 01 até VIII.12 onde se lê Desvio significa Desvio Padrão (ó).



*Tabela VIII.01- Peso unitário das moedas de R\$0,05 usadas, determinado em lotes de 10 unidades (Coletas em junho/julho de 2004).*

| Item   | Peso das Moedas (g) |        |        |        |        |        |
|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 1998                | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1      | 4,0807              | 4,1153 | 4,1077 | 4,1074 | 4,1172 | 4,1186 |
| 2      | 4,0822              | 4,1429 | 4,1039 | 4,1003 | 4,0870 | 4,1022 |
| 3      | 4,0835              | 4,1316 | 4,0880 | 4,1012 | 4,0987 | 4,0899 |
| 4      | 4,0665              | 4,0921 | 4,1164 | 4,1101 | 4,1124 | 4,1170 |
| 5      | 4,0876              | 4,1122 | 4,1131 | 4,0825 | 4,1113 | 4,1136 |
| 6      | 4,0895              | 4,1210 | 4,1050 | 4,1308 | 4,0925 | 4,1029 |
| 7      | 4,0977              | 4,1152 | 4,1094 | 4,0954 | 4,1060 | 4,0831 |
| 8      | 4,0786              | 4,1193 | 4,1122 | 4,1172 | 4,1013 | 4,1079 |
| 9      | 4,0969              | 4,1128 | 4,1153 | 4,1150 | 4,0895 | 4,0947 |
| 10     | 4,0859              | 4,1244 | 4,0874 | 4,1088 | 4,0949 | 4,1002 |
| 11     | 4,1007              | 4,1079 | 4,1043 | 4,1107 | 4,1029 | 4,1202 |
| 12     | 4,0879              | 4,1041 | 4,1054 | 4,1062 | 4,0960 | 4,1173 |
| 13     | 4,0920              | 4,1358 | 4,1163 | 4,1080 | 4,1282 | 4,1040 |
| 14     | 4,0882              | 4,1173 | 4,1043 | 4,1211 | 4,1114 | 4,0874 |
| 15     | 4,0748              | 4,1007 | 4,1159 | 4,1073 | 4,0975 | 4,0950 |
| 16     | 4,0767              | 4,1114 | 4,1023 | 4,1244 | 4,1027 | 4,1106 |
| 17     | 4,0778              | 4,1184 | 4,0964 | 4,1799 | 4,1143 | 4,1032 |
| 18     | 4,0871              | 4,1074 | 4,1154 | 4,1043 | 4,0994 | 4,1208 |
| 19     | 4,0875              | 4,1380 | 4,0967 | 4,0981 | 4,0873 | 4,0999 |
| 20     | 4,1076              | 4,1090 | 4,1142 | 4,1093 | 4,0840 | 4,1054 |
| Média  | 4,0856              | 4,1172 | 4,1065 | 4,1120 | 4,1017 | 4,1047 |
| Desvio | 0,0093              | 0,0125 | 0,0089 | 0,0197 | 0,0115 | 0,0111 |

*Tabela VIII.02- Peso unitário das moedas de R\$0,25 usadas, determinado em lotes de 10 unidades (Coletas em junho/julho de 2004).*

| Item | Peso das Moedas (g) |        |        |        |        |        |
|------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 1998                | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1    | 7,5560              | 7,5763 | 7,5802 | 7,5704 | 7,5659 | 7,5812 |
| 2    | 7,5277              | 7,5842 | 7,5738 | 7,5782 | 7,5777 | 7,5354 |
| 3    | 7,5506              | 7,5834 | 7,5781 | 7,5707 | 7,5827 | 7,5452 |
| 4    | 7,5352              | 7,6058 | 7,5952 | 7,5881 | 7,5649 | 7,5640 |
| 5    | 7,5361              | 7,5602 | 7,5873 | 7,5659 | 7,5036 | 7,5300 |
| 6    | 7,5331              | 7,5973 | 7,5851 | 7,5591 | 7,5587 | 7,5731 |
| 7    | 7,5305              | 7,5951 | 7,5534 | 7,5566 | 7,5354 | 7,5730 |
| 8    | 7,5480              | 7,6009 | 7,5904 | 7,5653 | 7,5760 | 7,5602 |
| 9    | 7,5290              | 7,5752 | 7,5796 | 7,5627 | 7,5424 | 7,5442 |
| 10   | 7,5474              | 7,5692 | 7,5843 | 7,5419 | 7,5736 | 7,5744 |
| 11   | 7,5628              | 7,5529 | 7,5814 | 7,5798 | 7,5636 | 7,5623 |
| 12   | 7,5621              | 7,5712 | 7,5776 | 7,5556 | 7,5743 | 7,5635 |
| 13   | 7,5431              | 7,5827 | 7,5803 | 7,5854 | 7,5635 | 7,5850 |
| 14   | 7,5318              | 7,5827 | 7,5821 | 7,5228 | 7,5418 | 7,5450 |
| 15   | 7,5502              | 7,5438 | 7,5690 | 7,5827 | 7,5238 | 7,5660 |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16     | 7,5378 | 7,5694 | 7,6034 | 7,5645 | 7,5564 | 7,5721 |
| 17     | 7,5402 | 7,5937 | 7,5665 | 7,5659 | 7,5629 | 7,5653 |
| 18     | 7,5412 | 7,5939 | 7,5734 | 7,5689 | 7,5728 | 7,5679 |
| 19     | 7,5282 | 7,5877 | 7,5563 | 7,5868 | 7,5537 | 7,5603 |
| 20     | 7,5462 | 7,6126 | 7,5628 | 7,5759 | 7,5528 | 7,5607 |
| Média  | 7,5419 | 7,5819 | 7,5780 | 7,5674 | 7,5574 | 7,5614 |
| Desvio | 0,0108 | 0,0176 | 0,0123 | 0,0158 | 0,0197 | 0,0146 |

Tabela VIII.03- Peso das moedas novas de R\$0,05, determinado por unidade.

| Item   | Peso das Moedas (g) |        |        |        |        |        |
|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 1998                | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1      | 4,1043              | 4,113  | 4,072  | 4,1278 | 4,0867 | 4,1626 |
| 2      | 4,1196              | 4,1735 | 4,1204 | 4,1814 | 4,0527 | 4,1084 |
| 3      | 4,0868              | 4,1088 | 4,1503 | 4,1444 | 4,1030 | 4,1058 |
| 4      | 4,0996              | 4,1116 | 4,1533 | 4,0928 | 4,1124 | 4,1198 |
| 5      | 4,0958              | 4,1239 | 4,1093 | 4,1155 | 4,1307 | 4,0412 |
| 6      | 4,0935              | 4,096  | 4,1430 | 4,1048 | 4,1626 | 4,0787 |
| 7      | 4,0945              | 4,1426 | 4,1060 | 4,1295 | 4,1080 | 4,1319 |
| 8      | 4,1039              | 4,1153 | 4,1503 | 4,0719 | 4,1190 | 4,1255 |
| 9      | 4,1179              | 4,0942 | 4,1028 | 4,1048 | 4,0795 | 4,0840 |
| 10     | 4,0947              | 4,1293 | 4,1357 | 4,1295 | 4,0976 | 4,0999 |
| 11     | 4,0977              | 4,1246 | 4,1562 | 4,1593 | 4,0925 | 4,0850 |
| 12     | 4,1122              | 4,1742 | 4,0613 | 4,1620 | 4,1359 | 4,1045 |
| 13     | 4,0781              | 4,1425 | 4,0527 | 4,1020 | 4,1308 | 4,1309 |
| 14     | 4,0977              | 4,1533 | 4,0890 | 4,0829 | 4,0850 | 4,1092 |
| 15     | 4,1036              | 4,1427 | 4,1321 | 4,1155 | 4,1192 | 4,1140 |
| 16     | 4,1034              | 4,1385 | 4,1357 | 4,0829 | 4,0821 | 4,0834 |
| 17     | 4,0952              |        | 4,1032 | 4,1395 | 4,1357 | 4,0619 |
| 18     | 4,1107              |        | 4,1309 |        | 4,0895 | 4,1168 |
| 19     | 4,0818              |        | 4,1492 |        | 4,1105 | 4,0991 |
| 20     | 4,1242              |        | 4,1134 |        | 4,0870 | 4,1164 |
| 21     | 4,1178              |        | 4,1086 |        | 4,1165 | 4,1202 |
| 22     | 4,0880              |        |        |        | 4,1060 | 4,1211 |
| 23     | 4,1015              |        |        |        |        | 4,0820 |
| 24     | 4,0816              |        |        |        |        | 4,1625 |
| 25     | 4,0965              |        |        |        |        | 4,1516 |
| 26     | 4,1060              |        |        |        |        | 4,120  |
| 27     | 4,1366              |        |        |        |        | 4,0655 |
| 28     | 4,1205              |        |        |        |        | 4,1237 |
| 29     | 4,1165              |        |        |        |        | 4,0888 |
| 30     |                     |        |        |        |        | 4,0952 |
| Média  | 4,1027              | 4,1316 | 4,1178 | 4,1204 | 4,1066 | 4,1070 |
| Desvio | 0,0028              | 0,0289 | 0,0305 | 0,0305 | 0,0244 | 0,0279 |

Tabela VIII.04 Peso das moedas novas de R\$0,25, determinado por unidade.

| Item | Peso das Moedas (g) |        |        |        |        |        |
|------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 1998                | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1    | 7,5399              | 7,5003 | 7,5722 | 7,4810 | 7,5515 | 7,5289 |
| 2    | 7,5597              | 7,5827 | 7,5128 | 7,5778 | 7,5692 | 7,5166 |
| 3    | 7,5579              | 7,5479 | 7,5577 | 7,6448 | 7,6123 | 7,5959 |
| 4    | 7,5736              | 7,5843 | 7,6887 | 7,6028 | 7,5491 | 7,5945 |
| 5    | 7,5737              | 7,6613 | 7,5526 | 7,5757 | 7,7197 | 7,5519 |
| 6    | 7,6025              | 7,4970 | 7,5927 | 7,6090 | 7,5048 | 7,5619 |
| 7    | 7,5748              | 7,5200 | 7,5412 | 7,5962 | 7,5262 | 7,5618 |
| 8    | 7,5405              | 7,6392 | 7,5589 | 7,5324 | 7,5050 | 7,5278 |
| 9    | 7,5673              | 7,5882 | 7,6000 | 7,6368 | 7,5860 | 7,5296 |
| 10   | 7,5442              | 7,4707 | 7,5848 | 7,6058 | 7,5851 | 7,5856 |
| 11   | 7,6123              | 7,6311 | 7,5863 | 7,5091 | 7,5680 | 7,5403 |
| 12   | 7,5983              | 7,4653 | 7,6005 | 7,5344 | 7,5354 | 7,5739 |
| 13   | 7,5983              | 7,8008 | 7,5950 | 7,5816 | 7,5298 | 7,5154 |
| 14   | 7,5889              | 7,5645 | 7,6569 | 7,5987 | 7,6332 | 7,6026 |
| 15   | 7,5782              | 7,6325 | 7,6078 | 7,5810 | 7,5858 | 7,5857 |
| 16   | 7,5852              | 7,5499 | 7,5875 | 7,5365 | 7,6102 | 7,5320 |
| 17   | 7,5480              | 7,5871 | 7,5592 | 7,6138 | 7,4569 | 7,5047 |
| 18   | 7,5438              | 7,6066 | 7,5798 | 7,6272 | 7,6130 | 7,6481 |
| 19   | 7,5539              | 7,6270 | 7,5706 | 7,5770 | 7,5080 | 7,5232 |
| 20   | 7,5265              | 7,5971 | 7,6030 | 7,4746 | 7,4897 | 7,6604 |
| 21   | 7,5404              | 7,5449 | 7,6277 | 7,5618 | 7,5789 | 7,6601 |
| 22   | 7,5852              | 7,5926 |        | 7,5875 | 7,6264 |        |
| 23   | 7,5715              | 7,5713 |        | 7,5760 | 7,4970 |        |
| 24   | 7,5653              | 7,6243 |        |        | 7,5956 |        |
| 25   | 7,5559              | 7,6329 |        |        | 7,6407 |        |
| 26   | 7,5333              | 7,6048 |        |        | 7,5048 |        |
| 27   | 7,5270              | 7,6270 |        |        | 7,5020 |        |
| 28   | 7,5388              | 7,5989 |        |        | 7,5849 |        |
| 29   | 7,5451              | 7,5998 |        |        | 7,5262 |        |
| 30   | 7,5270              | 7,6414 |        |        | 7,5917 |        |
| 31   | 7,5510              | 7,6367 |        |        | 7,6248 |        |
| 32   | 7,5188              | 7,6125 |        |        | 7,5462 |        |
| 33   | 7,5104              | 7,6228 |        |        | 7,3206 |        |
| 34   | 7,5320              | 7,6159 |        |        | 7,5402 |        |
| 35   | 7,5895              | 7,6360 |        |        | 7,5973 |        |
| 36   | 7,5342              | 7,4751 |        |        | 7,6095 |        |
| 37   | 7,5104              | 7,6078 |        |        | 7,6189 |        |
| 38   | 7,5408              | 7,6119 |        |        | 7,6329 |        |
| 39   | 7,5583              | 7,6251 |        |        |        |        |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 40     | 7,5084 | 7,6027 |        |        |        |        |
| 41     | 7,5501 | 7,5989 |        |        |        |        |
| 42     | 7,5598 | 7,5589 |        |        |        |        |
| 43     | 7,5594 | 7,5395 |        |        |        |        |
| 44     |        | 7,5140 |        |        |        |        |
| Media  | 7,5553 | 7,5931 | 7,5874 | 7,5748 | 7,5625 | 7,5651 |
| Desvio | 0,0260 | 0,0549 | 0,0386 | 0,0465 | 0,0674 | 0,0482 |

*Tabela VIII.05- Medidas de diâmetro das moedas usadas de R\$0,05 (coletas em junho/ julho de 2004).*

| Item | Diâmetro |        |        |        |        |        |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 1998     | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 001  | 22,071   | 22,031 | 21,943 | 22,042 | 22,087 | 22,040 |
| 002  | 22,018   | 21,958 | 21,969 | 21,931 | 22,111 | 22,044 |
| 003  | 21,991   | 22,108 | 22,008 | 21,977 | 21,996 | 22,069 |
| 004  | 22,037   | 22,072 | 22,025 | 22,010 | 21,998 | 22,033 |
| 005  | 22,081   | 22,111 | 22,048 | 21,972 | 22,060 | 21,945 |
| 006  | 22,032   | 22,120 | 21,967 | 22,010 | 22,016 | 22,015 |
| 007  | 22,059   | 22,111 | 21,957 | 22,051 | 22,030 | 22,022 |
| 008  | 22,173   | 21,948 | 21,953 | 22,029 | 22,146 | 22,029 |
| 009  | 21,994   | 22,088 | 21,988 | 21,978 | 22,014 | 21,993 |
| 010  | 22,046   | 21,946 | 21,966 | 22,021 | 22,109 | 22,052 |
| 011  | 22,063   | 22,063 | 21,987 | 22,106 | 21,971 | 21,941 |
| 012  | 21,954   | 22,030 | 21,959 | 22,091 | 22,097 | 21,965 |
| 013  | 21,943   | 22,109 | 22,039 | 22,114 | 22,045 | 21,977 |
| 014  | 21,933   | 22,086 | 22,015 | 22,024 | 22,121 | 21,951 |
| 015  | 22,000   | 22,096 | 22,042 | 22,093 | 22,139 | 22,038 |
| 016  | 22,016   | 22,113 | 22,036 | 22,029 | 21,991 | 22,068 |
| 017  | 22,027   | 22,124 | 21,946 | 22,054 | 21,987 | 22,017 |
| 018  | 22,037   | 22,058 | 21,973 | 22,014 | 21,967 | 22,002 |
| 019  | 22,001   | 22,088 | 21,963 | 22,008 | 22,025 | 22,056 |
| 020  | 22,059   | 22,040 | 21,984 | 22,111 | 21,989 | 21,948 |
| 021  | 21,988   | 22,090 | 21,944 | 21,987 | 21,998 | 21,991 |
| 022  | 22,005   | 22,097 | 22,065 | 22,022 | 21,978 | 21,986 |
| 023  | 22,031   | 22,104 | 21,958 | 22,007 | 22,012 | 21,955 |
| 024  | 22,012   | 21,914 | 22,048 | 22,092 | 21,938 | 22,010 |
| 025  | 21,985   | 22,088 | 21,975 | 22,001 | 22,005 | 22,004 |
| 026  | 22,059   | 22,097 | 22,051 | 22,026 | 22,138 | 22,035 |
| 027  | 21,997   | 22,102 | 22,034 | 21,958 | 22,037 | 22,010 |
| 028  | 22,019   | 22,111 | 21,967 | 21,923 | 21,942 | 22,047 |
| 029  | 21,990   | 22,070 | 22,000 | 22,079 | 22,067 | 22,039 |
| 030  | 22,031   | 22,075 | 22,003 | 22,084 | 21,973 | 21,999 |
| 031  | 21,957   | 22,066 | 21,967 | 21,976 | 22,144 | 22,051 |
| 032  | 21,975   | 21,930 | 21,975 | 21,966 | 22,002 | 21,971 |

|     |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 033 | 22,058 | 22,090 | 22,032 | 22,001 | 21,976 | 21,973 |
| 034 | 22,157 | 22,119 | 21,986 | 22,074 | 22,019 | 21,995 |
| 035 | 22,036 | 21,910 | 21,982 | 21,938 | 22,002 | 21,984 |
| 036 | 22,014 | 22,033 | 21,958 | 21,985 | 21,976 | 22,049 |
| 037 | 21,987 | 22,059 | 21,957 | 22,051 | 21,993 | 22,116 |
| 038 | 22,063 | 21,980 | 22,037 | 22,004 | 22,031 | 21,964 |
| 039 | 22,045 | 21,976 | 22,010 | 22,021 | 21,968 | 21,967 |
| 040 | 22,032 | 22,116 | 22,015 | 21,979 | 22,057 | 22,036 |
| 041 | 22,065 | 21,982 | 21,948 | 22,010 | 21,989 | 21,968 |
| 042 | 21,970 | 21,976 | 21,989 | 22,034 | 22,004 | 21,990 |
| 043 | 21,945 | 21,952 | 22,040 | 22,071 | 21,989 | 22,034 |
| 044 | 21,949 | 22,100 | 21,974 | 21,966 | 21,982 | 21,989 |
| 045 | 22,041 | 22,037 | 22,081 | 21,974 | 21,968 | 22,098 |
| 046 | 22,047 | 22,073 | 21,973 | 21,912 | 21,974 | 22,037 |
| 047 | 22,047 | 21,947 | 22,026 | 21,948 | 22,076 | 22,036 |
| 048 | 21,937 | 22,103 | 22,027 | 21,977 | 21,991 | 21,956 |
| 049 | 21,940 | 21,963 | 22,046 | 22,037 | 22,007 | 21,937 |
| 050 | 22,054 | 22,095 | 22,012 | 22,006 | 22,003 | 21,990 |
| 051 | 22,054 | 21,996 | 21,998 | 21,962 | 22,023 | 22,075 |
| 052 | 22,006 | 21,980 | 22,033 | 21,952 | 22,005 | 22,014 |
| 053 | 22,040 | 22,041 | 22,093 | 22,058 | 21,993 | 22,043 |
| 054 | 21,987 | 22,038 | 22,013 | 22,042 | 21,995 | 21,968 |
| 055 | 22,009 | 22,100 | 21,979 | 21,976 | 22,166 | 22,109 |
| 056 | 22,006 | 21,969 | 21,970 | 22,021 | 22,128 | 21,950 |
| 057 | 22,059 | 22,023 | 21994  | 22,002 | 21,981 | 22,009 |
| 058 | 22,030 | 22,069 | 22,005 | 21,987 | 21,980 | 22,059 |
| 059 | 21,983 | 22,099 | 21,977 | 22,027 | 21,999 | 22,004 |
| 060 | 21,976 | 22,106 | 21,968 | 22,145 | 21,967 | 22,041 |
| 061 | 22,012 | 22,039 | 21,933 | 21,974 | 21,980 | 22,099 |
| 062 | 21,943 | 21,973 | 21,977 | 22,076 | 21,981 | 21,985 |
| 063 | 22,045 | 22,113 | 22,089 | 21,982 | 21,991 | 21,953 |
| 064 | 21,976 | 22,019 | 21,939 | 22,113 | 22,138 | 21,949 |
| 065 | 21,923 | 22,114 | 21,998 | 21,922 | 22,015 | 21,986 |
| 066 | 22,120 | 22,084 | 21,999 | 21,944 | 22,094 | 21,951 |
| 067 | 22,041 | 21,912 | 21,957 | 21,991 | 22,007 | 21,926 |
| 068 | 21,979 | 22,100 | 22,081 | 22,114 | 22,095 | 22,027 |
| 069 | 21,966 | 22,015 | 21,925 | 22,000 | 22,143 | 22,060 |
| 070 | 22,053 | 22,027 | 21,956 | 22,043 | 22,019 | 22,020 |
| 071 | 22,050 | 22,093 | 22,004 | 22,030 | 22,004 | 22,049 |
| 072 | 21,992 | 22,090 | 22,041 | 22,061 | 21,988 | 21,977 |
| 073 | 21,964 | 21,972 | 21,974 | 21,981 | 22,039 | 22,034 |
| 074 | 22,096 | 22,096 | 22,024 | 22,035 | 22,019 | 22,011 |
| 075 | 22,063 | 22,029 | 22,012 | 21,960 | 22,013 | 22,050 |
| 076 | 21,963 | 22,031 | 21,974 | 22,067 | 21,982 | 22,035 |
| 077 | 22,094 | 22,087 | 21,982 | 22,055 | 22,062 | 22,031 |
| 078 | 22,003 | 22,068 | 21,941 | 22,005 | 21,976 | 22,045 |
| 079 | 22,088 | 22,113 | 21,999 | 21,978 | 22,146 | 21,989 |
| 080 | 22,012 | 22,076 | 21,923 | 22,126 | 22,030 | 21,938 |

|     |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 081 | 22,023 | 22,029 | 21,920 | 21,928 | 21,965 | 21,980 |
| 082 | 21,987 | 21,919 | 22,016 | 22,070 | 22,016 | 21,976 |
| 083 | 21,987 | 22,023 | 21,980 | 22,021 | 22,043 | 22,032 |
| 084 | 22,114 | 21,921 | 21,999 | 22,041 | 21,975 | 22,066 |
| 085 | 22,109 | 21,969 | 21,938 | 21,949 | 22,129 | 22,005 |
| 086 | 21,943 | 22,088 | 21,953 | 21,941 | 21,990 | 21,997 |
| 087 | 22,001 | 22,007 | 22,029 | 21,997 | 22,052 | 22,012 |
| 088 | 22,003 | 21,934 | 21,967 | 21,958 | 22,091 | 22,043 |
| 089 | 21,979 | 22,100 | 22,013 | 22,045 | 22,033 | 21,946 |
| 090 | 22,041 | 22,034 | 21,978 | 22,082 | 22,042 | 21,956 |
| 091 | 22,110 | 22,012 | 21,994 | 22,010 | 21,922 | 22,065 |
| 092 | 22,042 | 22,024 | 21,984 | 22,016 | 21,966 | 21,987 |
| 093 | 22,073 | 22,118 | 21,967 | 22,024 | 21,991 | 22,021 |
| 094 | 21,954 | 22,115 | 22,008 | 21,946 | 22,123 | 22,013 |
| 095 | 22,004 | 22,075 | 21,996 | 22,066 | 22,057 | 21,985 |
| 096 | 22,148 | 22,066 | 21,930 | 22,031 | 21,947 | 21,989 |
| 097 | 22,130 | 22,027 | 22,032 | 21,947 | 22,049 | 22,064 |
| 098 | 21,976 | 21,981 | 21,834 | 22,028 | 22,039 | 21,990 |
| 099 | 22,025 | 22,085 | 21,969 | 21,953 | 22,133 | 21,952 |
| 100 | 22,001 | 22,025 | 22,039 | 22,079 | 21,986 | 22,011 |
| 101 | 22,040 | 21,969 | 22,010 | 21,998 | 21,990 | 22,070 |
| 102 | 21,995 | 22,032 | 22,040 | 21,990 | 22,051 | 21,951 |
| 103 | 22,087 | 21,919 | 21,956 | 22,012 | 22,006 | 21,950 |
| 104 | 22,092 | 21,945 | 21,998 | 21,949 | 21,974 | 21,972 |
| 105 | 22,032 | 22,039 | 21,958 | 21,990 | 22,016 | 21,952 |
| 106 | 21,988 | 21,969 | 21,984 | 22,070 | 21,971 | 21,966 |
| 107 | 22,036 | 22,095 | 21,982 | 22,032 | 22,001 | 22,053 |
| 108 | 22,007 | 21,973 | 21,921 | 22,028 | 21,960 | 22,015 |
| 109 | 21,986 | 22,109 | 21,971 | 21,994 | 22,004 | 21,985 |
| 110 | 22,041 | 21,947 | 21,946 | 22,018 | 22,027 | 22,042 |
| 111 | 22,003 | 21,930 | 21,957 | 22,090 | 22,060 | 21,967 |
| 112 | 21,990 | 22,102 | 21,959 | 21,983 | 21,965 | 21,924 |
| 113 | 22,055 | 22,096 | 21,978 | 21,961 | 22,031 | 21,974 |
| 114 | 22,070 | 22,049 | 22,093 | 22,012 | 22,042 | 22,000 |
| 115 | 22,010 | 22,103 | 22,031 | 22,022 | 22,002 | 22,019 |
| 116 | 21,983 | 22,078 | 22,008 | 22,015 | 22,110 | 21,978 |
| 117 | 22,057 | 22,072 | 21,924 | 21,923 | 21,967 | 22,051 |
| 118 | 22,067 | 21,997 | 21,972 | 21,984 | 22,071 | 22,053 |
| 119 | 22,056 | 22,065 | 22,012 | 22,092 | 21,926 | 22,003 |
| 120 | 21,990 | 22,116 | 22,032 | 21,948 | 21,990 | 22,100 |
| 121 | 21,970 | 22,082 | 21,939 | 21,954 | 21,940 | 22,057 |
| 122 | 21,984 | 22,029 | 21,982 | 22,022 | 22,019 | 22,003 |
| 123 | 22,063 | 21,943 | 21,951 | 22,022 | 22,024 | 21,991 |
| 124 | 21,988 | 21,995 | 22,037 | 22,000 | 22,009 | 21,982 |
| 125 | 21,958 | 22,058 | 21,952 | 21,945 | 22,011 | 22,042 |
| 126 | 22,044 | 22,101 | 21,990 | 22,107 | 22,016 | 22,004 |
| 127 | 22,081 | 22,023 | 21,999 | 21,962 | 22,013 | 22,029 |
| 128 | 21,983 | 21,916 | 21,956 | 22,018 | 22,040 | 21,971 |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 129    | 22,009 | 21,969 | 22,125 | 21,999 | 21,968 | 21,994 |
| 130    | 21,988 | 22,039 | 21,964 | 22,021 | 22,047 | 21,990 |
| 131    | 22,034 | 22,076 | 22,079 | 21,955 | 22,103 | 21,981 |
| 132    | 22,134 | 22,066 | 22,036 | 21,983 | 21,938 | 22,001 |
| 133    | 22,032 | 22,090 | 21,935 | 21,991 | 22,075 | 22,017 |
| 134    | 21,968 | 21,993 | 21,970 | 22,046 | 21,972 | 21,991 |
| 135    | 22,097 | 22,100 | 21,946 | 22,034 | 21,982 | 22,036 |
| 136    | 22,006 | 22,081 | 21,978 | 22,108 | 21,970 | 21,927 |
| 137    | 22,073 | 22,112 | 21,988 | 21,990 | 22,004 | 22,034 |
| 138    | 22,018 | 22,027 | 21,958 | 22,107 | 21,993 | 21,982 |
| 139    | 21,968 | 21,975 | 21,993 | 21,944 | 22,042 | 21,927 |
| 140    | 22,002 | 22,085 | 21,925 | 22,048 | 21,989 | 22,010 |
| 141    | 22,017 | 22,107 | 21,955 | 21,967 | 21,987 | 21,985 |
| 142    | 22,105 | 22,092 | 22,065 | 22,036 | 21,961 | 21,991 |
| 143    | 21,950 | 21,992 | 21,971 | 22,053 | 21,988 | 21,947 |
| 144    | 22,028 | 21,947 | 21,986 | 22,102 | 22,030 | 22,097 |
| 145    | 21,971 | 22,004 | 21,964 | 22,112 | 21,976 | 22,004 |
| 146    | 22,032 | 22,032 | 21,988 | 21,983 | 22,079 | 22,027 |
| 147    | 21,927 | 22,066 | 22,010 | 22,041 | 22,006 | 22,006 |
| 148    | 22,015 | 22,034 | 21,917 | 22,101 | 22,039 | 21,989 |
| 149    | 22,048 | 22,084 | 21,970 | 21,923 | 22,012 | 22,019 |
| 150    | 21,950 | 21,973 | 22,027 | 22,044 | 22,015 | 21,968 |
| Média  | 22,022 | 22,042 | 21,989 | 22,015 | 22,020 | 22,006 |
| Desvio | 0,049  | 0,060  | 0,042  | 0,051  | 0,052  | 0,041  |

*Tabela VIII.06- Medidas de diâmetro das moedas novas de R\$0,05.*

| Item | Diâmetro (mm) |        |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 1998          | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1    | 22,045        | 22,084 | 21,988 | 22,119 | 22,175 | 22,020 |
| 2    | 22,055        | 22,087 | 21,993 | 22,017 | 22,078 | 22,006 |
| 3    | 22,061        | 22,097 | 21,987 | 22,049 | 22,037 | 22,052 |
| 4    | 22,060        | 22,031 | 22,014 | 21,966 | 22,067 | 22,042 |
| 5    | 22,054        | 22,056 | 22,084 | 22,126 | 22,061 | 22,008 |
| 6    | 22,060        | 22,104 | 22,012 | 22,011 | 22,040 | 22,113 |
| 7    | 22,048        | 22,078 | 22,042 | 21,998 | 22,010 | 21,985 |
| 8    | 22,057        | 22,037 | 21,998 | 22,023 | 21,997 | 21,996 |
| 9    | 22,054        | 22,096 | 22,020 | 22,014 | 21,987 | 22,042 |
| 10   | 22,056        | 22,084 | 21,985 | 22,035 | 22,054 | 21,993 |
| 11   | 22,059        | 22,037 | 22,085 | 22,047 | 22,052 | 21,982 |
| 12   | 22,049        | 22,093 | 22,066 |        | 22,054 | 22,028 |
| 13   | 22,051        | 22,076 | 21,975 |        | 22,037 | 22,021 |
| 14   | 22,060        | 22,031 | 21,985 |        | 22,030 | 22,007 |
| 15   | 22,045        |        | 21,980 |        | 22,025 | 22,018 |
| 16   | 22,057        |        |        |        | 21,987 | 22,031 |
| 17   | 22,065        |        |        |        | 21,992 | 22,015 |
| 18   | 22,054        |        |        |        |        |        |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 19     | 22,063 |        |        |        |        |        |
| 20     | 22,060 |        |        |        |        |        |
| 21     | 22,048 |        |        |        |        |        |
| 22     | 22,045 |        |        |        |        |        |
| 23     | 22,055 |        |        |        |        |        |
| 24     | 22,057 |        |        |        |        |        |
| 25     | 22,054 |        |        |        |        |        |
| Média  | 25,055 | 22,071 | 22,014 | 22,037 | 22,040 | 22,021 |
| Desvio | 0,005  | 0,026  | 0,037  | 0,048  | 0,044  | 0,039  |

*Tabela VIII.07- Medidas de diâmetro das moedas usadas de R\$0,25 (coletas em junho/ julho de 2004).*

| Item | Diâmetro(mm) |        |        |        |        |        |
|------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2000         | 1998   | 1999   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 001  | 25,093       | 24,989 | 24,984 | 25,015 | 25,018 | 25,125 |
| 002  | 25,133       | 24,978 | 25,029 | 25,019 | 24,956 | 25,114 |
| 003  | 24,925       | 25,033 | 24,968 | 25,131 | 25,130 | 25,135 |
| 004  | 24,939       | 24,932 | 25,049 | 24,995 | 25,201 | 25,092 |
| 005  | 25,114       | 25,072 | 24,970 | 25,054 | 25,096 | 25,139 |
| 006  | 24,940       | 24,982 | 24,960 | 24,991 | 25,073 | 25,141 |
| 007  | 25,125       | 24,927 | 24,986 | 25,032 | 25,027 | 25,191 |
| 008  | 24,953       | 24,954 | 24,976 | 24,987 | 25,186 | 25,096 |
| 009  | 25,070       | 25,048 | 25,184 | 24,992 | 24,982 | 25,159 |
| 010  | 25,120       | 24,991 | 24,939 | 25,015 | 25,069 | 25,127 |
| 011  | 25,120       | 25,056 | 25,008 | 25,047 | 25,157 | 25,228 |
| 012  | 24,941       | 24,992 | 24,940 | 24,987 | 25,002 | 25,038 |
| 013  | 24,906       | 25,008 | 25,051 | 24,927 | 25,080 | 25,170 |
| 014  | 25,020       | 25,015 | 25,008 | 24,992 | 25,213 | 25,124 |
| 015  | 24,981       | 24,995 | 24,964 | 24,915 | 25,190 | 25,159 |
| 016  | 25,105       | 25,036 | 25,035 | 25,041 | 25,059 | 25,120 |
| 017  | 25,161       | 25,080 | 24,941 | 24,950 | 24,963 | 25,022 |
| 018  | 24,941       | 25,065 | 24,954 | 24,965 | 25,223 | 25,114 |
| 019  | 24,921       | 25,015 | 24,934 | 24,954 | 24,999 | 25,077 |
| 020  | 25,138       | 25,033 | 24,930 | 25,048 | 25,104 | 25,146 |
| 021  | 25,126       | 25,042 | 25,003 | 25,063 | 25,019 | 25,104 |
| 022  | 25,095       | 25,075 | 25,072 | 24,920 | 25,009 | 25,121 |
| 023  | 24,951       | 24,989 | 24,922 | 25,031 | 25,180 | 25,151 |
| 024  | 25,037       | 24,983 | 24,995 | 25,067 | 25,089 | 25,166 |
| 025  | 24,939       | 24,998 | 24,993 | 25,016 | 25,059 | 25,115 |
| 026  | 25,140       | 24,959 | 25,103 | 24,959 | 24,993 | 25,195 |
| 027  | 24,959       | 24,995 | 25,036 | 25,062 | 25,069 | 25,085 |
| 028  | 25,104       | 24,968 | 25,112 | 24,919 | 24,987 | 25,184 |
| 029  | 24,968       | 24,996 | 24,972 | 24,956 | 25,096 | 25,089 |
| 030  | 25,103       | 25,023 | 24,955 | 25,032 | 25,054 | 25,133 |
| 031  | 25,047       | 25,005 | 24,976 | 25,016 | 24,990 | 25,165 |
| 032  | 25,113       | 25,019 | 25,030 | 25,038 | 25,124 | 25,191 |
| 033  | 25,128       | 25,025 | 25,021 | 25,076 | 25,258 | 25,100 |
| 034  | 25,134       | 24,971 | 24,964 | 24,947 | 25,017 | 25,033 |



|     |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 035 | 25,102 | 24,989 | 24,985 | 24,991 | 25,171 | 25,062 |
| 036 | 25,125 | 25,089 | 25,007 | 25,026 | 25,032 | 25,159 |
| 037 | 24,959 | 25,012 | 24,990 | 25,008 | 25,033 | 25,140 |
| 038 | 25,090 | 24,992 | 24,939 | 25,004 | 25,186 | 25,116 |
| 039 | 25,095 | 25,049 | 24,946 | 24,987 | 25,178 | 25,124 |
| 040 | 25,100 | 25,012 | 24,942 | 24,980 | 25,071 | 25,107 |
| 041 | 24,944 | 25,106 | 25,000 | 24,969 | 25,038 | 25,083 |
| 042 | 24,939 | 24,981 | 24,934 | 24,966 | 25,083 | 25,189 |
| 043 | 25,103 | 25,019 | 24,998 | 25,070 | 25,242 | 25,081 |
| 044 | 25,120 | 25,037 | 24,945 | 24,951 | 25,238 | 25,208 |
| 045 | 25,100 | 25,031 | 24,948 | 25,006 | 25,102 | 25,041 |
| 046 | 25,147 | 25,051 | 25,008 | 24,972 | 25,004 | 25,027 |
| 047 | 24,998 | 24,989 | 24,974 | 25,050 | 24,986 | 25,009 |
| 048 | 25,140 | 25,017 | 24,949 | 24,952 | 24,973 | 25,124 |
| 049 | 25,142 | 25,016 | 25,169 | 24,971 | 25,125 | 25,224 |
| 050 | 25,108 | 25,026 | 25,026 | 25,014 | 25,107 | 25,207 |
| 051 | 25,132 | 24,982 | 25,004 | 24,964 | 25,044 | 25,071 |
| 052 | 25,086 | 24,975 | 25,021 | 25,060 | 25,145 | 25,168 |
| 053 | 25,086 | 25,028 | 25,049 | 24,992 | 25,085 | 25,134 |
| 054 | 25,139 | 24,914 | 24,909 | 25,026 | 25,187 | 25,141 |
| 055 | 25,104 | 24,983 | 24,964 | 24,925 | 25,142 | 24,978 |
| 056 | 25,077 | 25,048 | 25,001 | 25,034 | 25,123 | 25,130 |
| 057 | 25,031 | 25,014 | 25,021 | 25,009 | 25,020 | 25,183 |
| 058 | 25,088 | 25,044 | 24,957 | 24,966 | 25,057 | 25,205 |
| 059 | 25,153 | 24,991 | 25,129 | 24,989 | 25,060 | 25,145 |
| 060 | 25,125 | 24,968 | 24,981 | 24,972 | 25,083 | 25,201 |
| 061 | 25,103 | 25,013 | 25,058 | 24,937 | 25,114 | 25,182 |
| 062 | 25,135 | 24,938 | 25,041 | 25,018 | 24,991 | 25,132 |
| 063 | 24,979 | 25,025 | 25,016 | 25,006 | 25,007 | 25,154 |
| 064 | 25,112 | 25,015 | 24,990 | 24,968 | 25,138 | 25,161 |
| 065 | 24,928 | 25,004 | 24,963 | 24,949 | 25,061 | 25,166 |
| 066 | 25,141 | 25,000 | 25,003 | 25,041 | 25,111 | 25,065 |
| 067 | 24,950 | 25,037 | 25,054 | 24,990 | 25,062 | 25,106 |
| 068 | 25,145 | 25,046 | 25,054 | 24,995 | 25,054 | 25,057 |
| 069 | 25,141 | 24,969 | 24,964 | 25,015 | 25,005 | 25,067 |
| 070 | 25,132 | 25,035 | 25,004 | 24,925 | 25,206 | 25,175 |
| 071 | 24,970 | 25,056 | 24,988 | 25,034 | 25,076 | 25,031 |
| 072 | 25,115 | 25,011 | 25,033 | 25,024 | 25,063 | 25,038 |
| 073 | 25,112 | 24,994 | 24,946 | 24,995 | 24,980 | 25,111 |
| 074 | 24,951 | 25,138 | 25,019 | 25,016 | 25,022 | 25,200 |
| 075 | 25,034 | 25,117 | 25,020 | 24,937 | 24,965 | 25,189 |
| 076 | 24,954 | 24,965 | 24,969 | 25,025 | 25,044 | 25,162 |
| 077 | 24,934 | 25,049 | 24,992 | 25,075 | 25,034 | 25,122 |
| 078 | 25,091 | 24,997 | 25,051 | 25,100 | 25,021 | 25,150 |
| 079 | 25,112 | 25,017 | 24,962 | 24,978 | 25,191 | 25,047 |
| 080 | 25,110 | 25,109 | 25,026 | 25,009 | 25,229 | 25,187 |
| 081 | 24,905 | 24,988 | 24,970 | 25,047 | 25,033 | 25,056 |
| 082 | 24,983 | 24,977 | 25,072 | 25,037 | 24,964 | 25,164 |

|     |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 083 | 24,943 | 25,006 | 25,038 | 25,019 | 25,035 | 25,170 |
| 084 | 25,101 | 25,017 | 24,995 | 25,041 | 25,174 | 25,100 |
| 085 | 25,108 | 25,015 | 24,957 | 24,934 | 24,987 | 25,114 |
| 086 | 24,920 | 24,987 | 25,037 | 25,024 | 25,062 | 25,103 |
| 087 | 25,139 | 25,073 | 24,973 | 25,034 | 25,029 | 25,000 |
| 088 | 25,061 | 25,020 | 24,979 | 25,000 | 25,063 | 25,142 |
| 089 | 24,953 | 24,999 | 24,948 | 24,982 | 25,072 | 25,092 |
| 090 | 25,154 | 24,973 | 25,010 | 25,016 | 25,140 | 25,224 |
| 091 | 25,116 | 24,996 | 25,056 | 24,924 | 25,166 | 25,170 |
| 092 | 25,056 | 25,019 | 24,969 | 25,037 | 25,165 | 25,032 |
| 093 | 25,137 | 24,971 | 24,976 | 24,943 | 25,035 | 25,183 |
| 094 | 25,110 | 25,000 | 25,049 | 25,019 | 25,162 | 25,135 |
| 095 | 25,061 | 24,988 | 24,987 | 25,041 | 25,085 | 25,059 |
| 096 | 24,964 | 24,988 | 24,999 | 25,069 | 25,168 | 25,143 |
| 097 | 25,107 | 25,040 | 25,018 | 24,948 | 24,980 | 25,189 |
| 098 | 25,118 | 25,016 | 25,026 | 25,004 | 25,035 | 25,018 |
| 099 | 25,110 | 25,007 | 24,924 | 24,962 | 25,080 | 25,107 |
| 100 | 25,118 | 24,973 | 24,928 | 25,077 | 24,956 | 24,937 |
| 101 | 25,119 | 25,020 | 24,951 | 24,931 | 25,035 | 25,093 |
| 102 | 25,063 | 25,040 | 25,037 | 25,027 | 24,978 | 25,233 |
| 103 | 24,938 | 24,960 | 24,988 | 24,975 | 25,056 | 25,146 |
| 104 | 25,173 | 24,979 | 25,031 | 25,003 | 25,043 | 24,981 |
| 105 | 25,073 | 25,025 | 25,007 | 25,037 | 25,018 | 25,189 |
| 106 | 25,099 | 24,979 | 24,975 | 25,034 | 25,145 | 25,200 |
| 107 | 25,099 | 25,050 | 24,973 | 25,018 | 24,937 | 25,150 |
| 108 | 25,127 | 24,993 | 25,036 | 25,008 | 25,157 | 25,180 |
| 109 | 25,150 | 25,041 | 24,999 | 24,986 | 25,017 | 25,174 |
| 110 | 24,958 | 24,968 | 24,944 | 25,056 | 24,984 | 25,137 |
| 111 | 24,968 | 25,060 | 24,997 | 25,023 | 25,072 | 25,213 |
| 112 | 24,941 | 25,000 | 25,137 | 24,957 | 24,984 | 25,146 |
| 113 | 25,150 | 25,018 | 24,936 | 24,953 | 25,038 | 25,188 |
| 114 | 24,929 | 25,050 | 25,018 | 25,005 | 25,090 | 25,024 |
| 115 | 25,056 | 25,059 | 24,964 | 25,019 | 24,994 | 25,171 |
| 116 | 25,093 | 25,034 | 24,983 | 24,981 | 25,110 | 25,105 |
| 117 | 25,083 | 25,004 | 24,953 | 24,998 | 25,051 | 25,111 |
| 118 | 24,910 | 25,016 | 25,071 | 24,976 | 25,046 | 25,162 |
| 119 | 25,109 | 25,019 | 24,993 | 24,949 | 25,210 | 25,154 |
| 120 | 25,119 | 24,997 | 24,950 | 24,991 | 25,106 | 25,116 |
| 121 | 25,009 | 24,983 | 24,955 | 24,969 | 25,200 | 25,203 |
| 122 | 25,111 | 25,005 | 24,943 | 25,023 | 25,067 | 25,145 |
| 123 | 25,165 | 25,010 | 24,982 | 24,990 | 25,171 | 25,140 |
| 124 | 25,161 | 25,005 | 25,054 | 24,925 | 25,218 | 25,103 |
| 125 | 25,131 | 25,136 | 25,101 | 25,003 | 25,028 | 25,142 |
| 126 | 25,092 | 24,943 | 24,991 | 25,003 | 25,017 | 25,070 |
| 127 | 25,037 | 24,986 | 24,975 | 24,996 | 25,031 | 25,207 |
| 128 | 24,943 | 24,952 | 25,027 | 25,010 | 25,085 | 25,239 |
| 129 | 25,126 | 25,001 | 25,052 | 24,974 | 24,988 | 25,190 |
| 130 | 25,131 | 24,987 | 24,974 | 25,032 | 25,173 | 25,188 |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 131    | 25,117 | 25,089 | 25,022 | 25,110 | 25,067 | 25,187 |
| 132    | 24,936 | 24,982 | 24,967 | 25,037 | 25,171 | 25,063 |
| 133    | 25,113 | 24,991 | 25,098 | 25,057 | 25,190 | 25,066 |
| 134    | 24,958 | 25,021 | 24,960 | 24,998 | 25,034 | 24,987 |
| 135    | 25,127 | 25,051 | 24,979 | 24,997 | 25,035 | 25,188 |
| 136    | 25,074 | 25,042 | 25,000 | 24,965 | 25,061 | 25,036 |
| 137    | 24,904 | 24,983 | 24,955 | 24,951 | 25,029 | 25,205 |
| 138    | 25,062 | 24,997 | 24,994 | 25,030 | 25,073 | 25,220 |
| 139    | 25,088 | 24,945 | 25,032 | 25,030 | 24,972 | 25,157 |
| 140    | 25,103 | 24,953 | 24,980 | 25,049 | 24,983 | 25,189 |
| 141    | 25,151 | 24,966 | 24,971 | 24,954 | 24,946 | 25,127 |
| 142    | 24,914 | 25,048 | 24,974 | 24,956 | 25,049 | 25,222 |
| 143    | 25,137 | 24,934 | 25,048 | 25,085 | 25,143 | 25,152 |
| 144    | 25,138 | 24,920 | 25,034 | 24,970 | 25,018 | 25,007 |
| 145    | 25,001 | 24,989 | 24,915 | 25,058 | 25,105 | 25,178 |
| 146    | 25,073 | 25,046 | 24,986 | 24,951 | 25,180 | 25,149 |
| 147    | 25,111 | 25,007 | 24,969 | 25,068 | 25,120 | 25,187 |
| 148    | 25,032 | 24,960 | 24,954 | 24,938 | 25,042 | 25,173 |
| 149    | 24,919 | 25,079 | 24,965 | 25,021 | 25,054 | 25,173 |
| 150    | 24,994 | 25,009 | 24,948 | 25,024 | 25,008 | 25,136 |
| Média  | 25,060 | 25,010 | 24,997 | 25,002 | 25,075 | 25,130 |
| Desvio | 0,0795 | 0,0403 | 0,0488 | 0,0430 | 0,0740 | 0,0610 |

*Tabela VIII.08.- Medidas do diâmetro das moedas novas de R\$ 0,25.*

| Item | Diâmetro (mm) |        |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 1998          | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| 1    | 25,055        | 25,051 | 25,112 | 25,014 | 25,075 | 25,125 |
| 2    | 25,046        | 25,014 | 25,080 | 25,015 | 25,063 | 25,142 |
| 3    | 25,057        | 25,046 | 25,063 | 25,027 | 25,178 | 25,175 |
| 4    | 25,031        | 25,043 | 25,130 | 25,002 | 25,196 | 25,162 |
| 5    | 25,057        | 25,018 | 25,137 | 25,031 | 25,103 | 25,200 |
| 6    | 25,040        | 25,044 | 25,108 | 25,042 | 25,059 | 25,150 |
| 7    | 25,021        | 25,058 | 25,085 | 24,998 | 25,086 | 25,187 |
| 8    | 25,047        | 25,045 | 25,095 | 25,042 | 25,095 | 25,107 |
| 9    | 25,051        | 25,022 | 25,083 | 25,027 | 25,099 | 25,136 |
| 10   | 25,052        | 25,012 | 25,063 | 25,027 | 25,044 | 25,142 |
| 11   | 25,043        | 25,028 | 25,081 | 25,049 | 25,069 | 25,114 |
| 12   | 25,038        | 25,033 | 25,075 |        | 25,095 | 25,139 |
| 13   | 25,047        | 25,026 | 25,085 |        | 25,101 | 25,143 |
| 14   | 25,029        | 25,049 | 25,073 |        | 25,088 | 25,150 |
| 15   | 25,050        | 25,001 | 25,080 |        | 25,065 | 25,125 |
| 16   | 25,025        | 25,019 | 25,075 |        | 25,084 | 25,155 |
| 17   | 25,057        | 25,022 | 25,063 |        | 25,122 | 25,142 |
| 18   | 25,043        | 25,038 |        |        |        |        |
| 19   | 25,052        | 25,032 |        |        |        |        |
| 20   | 25,058        | 25,039 |        |        |        |        |

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21     |        | 25,022 |        |        |        |        |
| 22     |        | 25,007 |        |        |        |        |
| 23     |        | 25,027 |        |        |        |        |
| 24     |        | 25,037 |        |        |        |        |
| 25     |        | 25,040 |        |        |        |        |
| 26     |        | 25,041 |        |        |        |        |
| 27     |        | 25,009 |        |        |        |        |
| 28     |        | 25,009 |        |        |        |        |
| 29     |        | 25,028 |        |        |        |        |
| 30     |        | 25,029 |        |        |        |        |
| 31     |        | 25,022 |        |        |        |        |
| 32     |        | 25,009 |        |        |        |        |
| 33     |        | 25,026 |        |        |        |        |
| 34     |        | 25,017 |        |        |        |        |
| 35     |        | 25,021 |        |        |        |        |
| 36     |        | 25,018 |        |        |        |        |
| 37     |        | 25,009 |        |        |        |        |
| 38     |        | 25,013 |        |        |        |        |
| 39     |        | 25,035 |        |        |        |        |
| 40     |        | 25,023 |        |        |        |        |
| 41     |        | 25,030 |        |        |        |        |
| Média  | 25,045 | 25,027 | 25,087 | 25,025 | 25,095 | 25,147 |
| Desvio | 0,011  | 0,013  | 0,022  | 0,016  | 0,039  | 0,024  |

*Tabela VIII.09- Medida da altura da orla das moedas usadas de R\$ 0,05 (coletas em junho e julho de 2004).*

| Item | Altura da Orla (mm) |       |       |       |       |       |
|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 1998                | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| 001  | 1,624               | 1,651 | 1,669 | 1,616 | 1,719 | 1,590 |
| 002  | 1,614               | 1,578 | 1,597 | 1,663 | 1,652 | 1,676 |
| 003  | 1,584               | 1,595 | 1,640 | 1,687 | 1,573 | 1,573 |
| 004  | 1,617               | 1,645 | 1,601 | 1,670 | 1,589 | 1,591 |
| 005  | 1,626               | 1,599 | 1,693 | 1,661 | 1,674 | 1,676 |
| 006  | 1,614               | 1,625 | 1,617 | 1,631 | 1,627 | 1,595 |
| 007  | 1,597               | 1,662 | 1,645 | 1,680 | 1,625 | 1,608 |
| 008  | 1,655               | 1,561 | 1,647 | 1,691 | 1,622 | 1,591 |
| 009  | 1,596               | 1,697 | 1,667 | 1,703 | 1,637 | 1,631 |
| 010  | 1,585               | 1,616 | 1,638 | 1,625 | 1,623 | 1,624 |
| 011  | 1,532               | 1,599 | 1,584 | 1,630 | 1,578 | 1,670 |
| 012  | 1,705               | 1,651 | 1,611 | 1,602 | 1,585 | 1,673 |
| 013  | 1,618               | 1,629 | 1,655 | 1,603 | 1,622 | 1,605 |
| 014  | 1,634               | 1,612 | 1,708 | 1,614 | 1,599 | 1,642 |
| 015  | 1,638               | 1,643 | 1,712 | 1,616 | 1,656 | 1,589 |
| 016  | 1,587               | 1,613 | 1,605 | 1,639 | 1,626 | 1,643 |
| 017  | 1,556               | 1,678 | 1,683 | 1,635 | 1,620 | 1,645 |
| 018  | 1,640               | 1,650 | 1,636 | 1,637 | 1,600 | 1,604 |

|     |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 019 | 1,536 | 1,649 | 1,690 | 1,603 | 1,619 | 1,631 |
| 020 | 1,594 | 1,649 | 1,640 | 1,677 | 1,656 | 1,650 |
| 021 | 1,590 | 1,592 | 1,579 | 1,611 | 1,616 | 1,653 |
| 022 | 1,671 | 1,651 | 1,678 | 1,627 | 1,582 | 1,637 |
| 023 | 1,587 | 1,580 | 1,636 | 1,641 | 1,590 | 1,625 |
| 024 | 1,561 | 1,659 | 1,636 | 1,593 | 1,641 | 1,663 |
| 025 | 1,585 | 1,628 | 1,637 | 1,633 | 1,608 | 1,579 |
| 026 | 1,609 | 1,594 | 1,602 | 1,689 | 1,701 | 1,626 |
| 027 | 1,610 | 1,678 | 1,615 | 1,542 | 1,612 | 1,604 |
| 028 | 1,592 | 1,634 | 1,603 | 1,598 | 1,589 | 1,556 |
| 029 | 1,632 | 1,667 | 1,606 | 1,697 | 1,653 | 1,659 |
| 030 | 1,626 | 1,608 | 1,604 | 1,681 | 1,623 | 1,647 |
| 031 | 1,618 | 1,588 | 1,642 | 1,603 | 1,605 | 1,653 |
| 032 | 1,566 | 1,643 | 1,577 | 1,673 | 1,545 | 1,654 |
| 033 | 1,575 | 1,564 | 1,619 | 1,712 | 1,618 | 1,557 |
| 034 | 1,587 | 1,599 | 1,655 | 1,678 | 1,592 | 1,699 |
| 035 | 1,561 | 1,633 | 1,695 | 1,681 | 1,593 | 1,605 |
| 036 | 1,615 | 1,652 | 1,616 | 1,572 | 1,614 | 1,591 |
| 037 | 1,563 | 1,639 | 1,594 | 1,629 | 1,668 | 1,636 |
| 038 | 1,625 | 1,590 | 1,685 | 1,583 | 1,631 | 1,600 |
| 039 | 1,665 | 1,631 | 1,689 | 1,646 | 1,645 | 1,644 |
| 040 | 1,621 | 1,798 | 1,677 | 1,617 | 1,647 | 1,621 |
| 041 | 1,622 | 1,631 | 1,689 | 1,647 | 1,688 | 1,586 |
| 042 | 1,589 | 1,597 | 1,618 | 1,623 | 1,629 | 1,599 |
| 043 | 1,670 | 1,647 | 1,676 | 1,592 | 1,646 | 1,646 |
| 044 | 1,658 | 1,604 | 1,637 | 1,670 | 1,621 | 1,636 |
| 045 | 1,625 | 1,650 | 1,661 | 1,609 | 1,636 | 1,603 |
| 046 | 1,624 | 1,620 | 1,628 | 1,687 | 1,625 | 1,617 |
| 047 | 1,650 | 1,604 | 1,612 | 1,624 | 1,638 | 1,639 |
| 048 | 1,664 | 1,655 | 1,625 | 1,647 | 1,635 | 1,579 |
| 049 | 1,622 | 1,650 | 1,608 | 1,634 | 1,603 | 1,593 |
| 050 | 1,610 | 1,579 | 1,642 | 1,627 | 1,707 | 1,637 |
| 051 | 1,611 | 1,609 | 1,596 | 1,653 | 1,657 | 1,625 |
| 052 | 1,667 | 1,622 | 1,610 | 1,603 | 1,692 | 1,557 |
| 053 | 1,616 | 1,692 | 1,635 | 1,604 | 1,630 | 1,619 |
| 054 | 1,590 | 1,640 | 1,602 | 1,617 | 1,716 | 1,584 |
| 055 | 1,565 | 1,628 | 1,617 | 1,632 | 1,651 | 1,651 |
| 056 | 1,614 | 1,659 | 1,685 | 1,652 | 1,673 | 1,640 |
| 057 | 1,547 | 1,613 | 1,625 | 1,642 | 1,696 | 1,580 |
| 058 | 1,649 | 1,607 | 1,604 | 1,656 | 1,647 | 1,656 |
| 059 | 1,585 | 1,672 | 1,610 | 1,659 | 1,591 | 1,549 |
| 060 | 1,611 | 1,642 | 1,652 | 1,651 | 1,554 | 1,628 |
| 061 | 1,625 | 1,627 | 1,652 | 1,577 | 1,682 | 1,644 |
| 062 | 1,589 | 1,645 | 1,600 | 1,657 | 1,687 | 1,627 |
| 063 | 1,588 | 1,618 | 1,642 | 1,633 | 1,599 | 1,591 |
| 064 | 1,581 | 1,674 | 1,536 | 1,610 | 1,644 | 1,627 |
| 065 | 1,603 | 1,637 | 1,641 | 1,627 | 1,639 | 1,636 |
| 066 | 1,625 | 1,628 | 1,622 | 1,596 | 1,611 | 1,659 |

|     |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 067 | 1,661 | 1,640 | 1,599 | 1,691 | 1,608 | 1,568 |
| 068 | 1,567 | 1,652 | 1,707 | 1,611 | 1,659 | 1,577 |
| 069 | 1,675 | 1,606 | 1,686 | 1,673 | 1,642 | 1,626 |
| 070 | 1,602 | 1,644 | 1,588 | 1,631 | 1,648 | 1,577 |
| 071 | 1,604 | 1,613 | 1,641 | 1,635 | 1,685 | 1,645 |
| 072 | 1,619 | 1,632 | 1,572 | 1,630 | 1,615 | 1,585 |
| 073 | 1,640 | 1,622 | 1,688 | 1,626 | 1,616 | 1,605 |
| 074 | 1,552 | 1,616 | 1,626 | 1,596 | 1,641 | 1,622 |
| 075 | 1,609 | 1,610 | 1,633 | 1,560 | 1,560 | 1,597 |
| 076 | 1,645 | 1,608 | 1,608 | 1,640 | 1,579 | 1,621 |
| 077 | 1,568 | 1,659 | 1,657 | 1,621 | 1,692 | 1,641 |
| 078 | 1,606 | 1,629 | 1,685 | 1,612 | 1,609 | 1,628 |
| 079 | 1,632 | 1,584 | 1,609 | 1,619 | 1,588 | 1,646 |
| 080 | 1,587 | 1,624 | 1,634 | 1,619 | 1,731 | 1,677 |
| 081 | 1,727 | 1,611 | 1,610 | 1,610 | 1,636 | 1,641 |
| 082 | 1,637 | 1,613 | 1,627 | 1,621 | 1,640 | 1,597 |
| 083 | 1,642 | 1,619 | 1,582 | 1,693 | 1,693 | 1,629 |
| 084 | 1,572 | 1,640 | 1,601 | 1,678 | 1,681 | 1,632 |
| 085 | 1,583 | 1,648 | 1,657 | 1,635 | 1,562 | 1,579 |
| 086 | 1,602 | 1,602 | 1,671 | 1,707 | 1,641 | 1,631 |
| 087 | 1,614 | 1,639 | 1,689 | 1,632 | 1,657 | 1,688 |
| 088 | 1,617 | 1,575 | 1,620 | 1,688 | 1,642 | 1,657 |
| 089 | 1,619 | 1,662 | 1,658 | 1,579 | 1,576 | 1,648 |
| 090 | 1,548 | 1,656 | 1,610 | 1,580 | 1,635 | 1,654 |
| 091 | 1,632 | 1,650 | 1,575 | 1,659 | 1,657 | 1,615 |
| 092 | 1,541 | 1,562 | 1,638 | 1,670 | 1,603 | 1,631 |
| 093 | 1,634 | 1,638 | 1,594 | 1,563 | 1,607 | 1,581 |
| 094 | 1,617 | 1,616 | 1,591 | 1,584 | 1,614 | 1,619 |
| 095 | 1,620 | 1,655 | 1,605 | 1,624 | 1,636 | 1,614 |
| 096 | 1,591 | 1,635 | 1,615 | 1,641 | 1,597 | 1,632 |
| 097 | 1,587 | 1,594 | 1,557 | 1,664 | 1,642 | 1,635 |
| 098 | 1,628 | 1,662 | 1,584 | 1,663 | 1,624 | 1,622 |
| 099 | 1,619 | 1,625 | 1,629 | 1,683 | 1,682 | 1,642 |
| 100 | 1,724 | 1,555 | 1,665 | 1,604 | 1,657 | 1,638 |
| 101 | 1,612 | 1,595 | 1,667 | 1,650 | 1,617 | 1,604 |
| 102 | 1,596 | 1,618 | 1,642 | 1,661 | 1,623 | 1,593 |
| 103 | 1,639 | 1,709 | 1,637 | 1,631 | 1,609 | 1,603 |
| 104 | 1,554 | 1,643 | 1,600 | 1,653 | 1,613 | 1,558 |
| 105 | 1,625 | 1,642 | 1,624 | 1,624 | 1,624 | 1,631 |
| 106 | 1,638 | 1,599 | 1,585 | 1,667 | 1,617 | 1,605 |
| 107 | 1,632 | 1,648 | 1,638 | 1,671 | 1,568 | 1,661 |
| 108 | 1,573 | 1,718 | 1,622 | 1,596 | 1,645 | 1,676 |
| 109 | 1,593 | 1,636 | 1,665 | 1,585 | 1,607 | 1,670 |
| 110 | 1,687 | 1,599 | 1,627 | 1,605 | 1,611 | 1,601 |
| 111 | 1,632 | 1,637 | 1,684 | 1,690 | 1,589 | 1,592 |
| 112 | 1,590 | 1,644 | 1,696 | 1,578 | 1,585 | 1,595 |
| 113 | 1,652 | 1,565 | 1,633 | 1,613 | 1,637 | 1,628 |
| 114 | 1,606 | 1,594 | 1,594 | 1,646 | 1,557 | 1,656 |

|        |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 115    | 1,624 | 1,598 | 1,663 | 1,644 | 1,653 | 1,593 |
| 116    | 1,697 | 1,669 | 1,592 | 1,560 | 1,506 | 1,590 |
| 117    | 1,603 | 1,627 | 1,616 | 1,641 | 1,587 | 1,579 |
| 118    | 1,586 | 1,490 | 1,699 | 1,628 | 1,665 | 1,680 |
| 119    | 1,596 | 1,608 | 1,632 | 1,659 | 1,560 | 1,622 |
| 120    | 1,596 | 1,695 | 1,606 | 1,679 | 1,647 | 1,590 |
| 121    | 1,574 | 1,691 | 1,590 | 1,620 | 1,694 | 1,640 |
| 122    | 1,648 | 1,649 | 1,670 | 1,632 | 1,656 | 1,570 |
| 123    | 1,624 | 1,705 | 1,668 | 1,663 | 1,631 | 1,651 |
| 124    | 1,658 | 1,610 | 1,583 | 1,670 | 1,614 | 1,652 |
| 125    | 1,542 | 1,641 | 1,653 | 1,610 | 1,706 | 1,618 |
| 126    | 1,684 | 1,632 | 1,684 | 1,591 | 1,622 | 1,657 |
| 127    | 1,553 | 1,665 | 1,567 | 1,672 | 1,666 | 1,662 |
| 128    | 1,608 | 1,664 | 1,660 | 1,653 | 1,573 | 1,651 |
| 129    | 1,573 | 1,630 | 1,587 | 1,657 | 1,622 | 1,651 |
| 130    | 1,628 | 1,611 | 1,639 | 1,668 | 1,580 | 1,643 |
| 131    | 1,618 | 1,618 | 1,611 | 1,633 | 1,575 | 1,626 |
| 132    | 1,606 | 1,647 | 1,653 | 1,638 | 1,620 | 1,622 |
| 133    | 1,620 | 1,683 | 1,586 | 1,670 | 1,674 | 1,615 |
| 134    | 1,671 | 1,659 | 1,656 | 1,644 | 1,729 | 1,582 |
| 135    | 1,554 | 1,634 | 1,630 | 1,659 | 1,616 | 1,632 |
| 136    | 1,589 | 1,624 | 1,615 | 1,647 | 1,572 | 1,630 |
| 137    | 1,631 | 1,588 | 1,600 | 1,606 | 1,559 | 1,601 |
| 138    | 1,592 | 1,628 | 1,663 | 1,596 | 1,581 | 1,617 |
| 139    | 1,618 | 1,648 | 1,720 | 1,645 | 1,635 | 1,592 |
| 140    | 1,587 | 1,556 | 1,671 | 1,642 | 1,694 | 1,630 |
| 141    | 1,623 | 1,592 | 1,651 | 1,619 | 1,607 | 1,594 |
| 142    | 1,641 | 1,613 | 1,660 | 1,671 | 1,623 | 1,653 |
| 143    | 1,642 | 1,630 | 1,654 | 1,623 | 1,603 | 1,627 |
| 144    | 1,664 | 1,619 | 1,608 | 1,654 | 1,681 | 1,611 |
| 145    | 1,616 | 1,673 | 1,661 | 1,639 | 1,590 | 1,644 |
| 146    | 1,547 | 1,657 | 1,666 | 1,545 | 1,620 | 1,637 |
| 147    | 1,751 | 1,623 | 1,675 | 1,629 | 1,637 | 1,627 |
| 148    | 1,577 | 1,637 | 1,647 | 1,722 | 1,620 | 1,590 |
| 149    | 1,561 | 1,642 | 1,671 | 1,636 | 1,616 | 1,575 |
| 150    | 1,690 | 1,627 | 1,662 | 1,617 | 1,644 | 1,610 |
| Média  | 1,613 | 1,630 | 1,635 | 1,636 | 1,628 | 1,622 |
| Desvio | 0,038 | 0,035 | 0,036 | 0,034 | 0,039 | 0,030 |

*Tabela VIII.10- Medida da altura da orla das moedas novas de R\$ 0,05.*

| Item | Altura da Orla (mm). |       |       |       |       |       |
|------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 1998                 | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| 1    | 1,665                | 1,66  | 1,631 | 1,654 | 1,644 | 1,581 |
| 2    | 1,657                | 1,64  | 1,647 | 1,678 | 1,645 | 1,604 |
| 3    | 1,664                | 1,642 | 1,68  | 1,657 | 1,641 | 1,635 |
| 4    | 1,646                | 1,675 | 1,657 | 1,661 | 1,669 | 1,652 |

|        |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5      | 1,612 | 1,656 | 1,649 | 1,641 | 1,659 | 1,642 |
| 6      | 1,655 | 1,641 | 1,637 | 1,639 | 1,655 | 1,634 |
| 7      | 1,660 | 1,657 | 1,669 | 1,600 | 1,670 | 1,635 |
| 8      | 1,635 | 1,65  | 1,662 | 1,689 | 1,667 | 1,666 |
| 9      | 1,638 | 1,647 | 1,683 | 1,661 | 1,651 | 1,633 |
| 10     | 1,612 | 1,644 | 1,683 | 1,679 | 1,660 | 1,643 |
| 11     | 1,660 | 1,664 | 1,680 | 1,659 | 1,617 | 1,681 |
| 12     | 1,643 | 1,641 | 1,634 |       | 1,637 | 1,625 |
| 13     | 1,643 | 1,657 | 1,639 |       | 1,633 | 1,623 |
| 14     | 1,640 | 1,711 | 1,655 |       | 1,648 | 1,614 |
| 15     | 1,635 |       |       |       | 1,637 | 1,631 |
| 16     | 1,639 |       |       |       | 1,617 | 1,643 |
| 17     | 1,671 |       |       |       |       |       |
| 18     | 1,632 |       |       |       |       |       |
| 19     | 1,640 |       |       |       |       |       |
| 20     | 1,635 |       |       |       |       |       |
| 21     | 1,641 |       |       |       |       |       |
| 22     | 1,632 |       |       |       |       |       |
| 23     | 1,612 |       |       |       |       |       |
| 24     | 1,639 |       |       |       |       |       |
| Média  | 1,642 | 1,656 | 1,657 | 1,656 | 1,646 | 1,634 |
| Desvio | 0,016 | 0,018 | 0,018 | 0,024 | 0,015 | 0,022 |

*Tabela VIII.11- Medidas da altura da orla das moedas usadas de R\$0,25 (coletas em junho/ julho de 2004).*

| Item | Altura da Orla (mm) |       |       |       |       |       |
|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 1998                | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| 001  | 2,234               | 2,247 | 2,253 | 2,207 | 2,202 | 2,111 |
| 002  | 2,291               | 2,307 | 2,236 | 2,295 | 2,273 | 2,272 |
| 003  | 2,188               | 2,340 | 2,275 | 2,243 | 2,234 | 2,099 |
| 004  | 2,263               | 2,186 | 2,157 | 2,317 | 2,228 | 2,251 |
| 005  | 2,205               | 2,271 | 2,192 | 2,328 | 2,155 | 2,241 |
| 006  | 2,259               | 2,238 | 2,339 | 2,211 | 2,261 | 2,216 |
| 007  | 2,320               | 2,211 | 2,205 | 2,259 | 2,220 | 2,270 |
| 008  | 2,154               | 2,221 | 2,370 | 2,199 | 2,299 | 2,300 |
| 009  | 2,189               | 2,266 | 2,320 | 2,237 | 2,248 | 2,281 |
| 010  | 2,211               | 2,213 | 2,230 | 2,216 | 2,225 | 2,262 |
| 011  | 2,222               | 2,303 | 2,366 | 2,256 | 2,300 | 2,220 |
| 012  | 2,306               | 2,189 | 2,191 | 2,244 | 2,265 | 2,239 |
| 013  | 2,258               | 2,228 | 2,252 | 2,307 | 2,254 | 2,275 |
| 014  | 2,202               | 2,279 | 2,285 | 2,287 | 2,246 | 2,198 |
| 015  | 2,234               | 2,250 | 2,184 | 2,257 | 2,281 | 2,185 |
| 016  | 2,254               | 2,299 | 2,233 | 2,223 | 2,259 | 2,233 |
| 017  | 2,192               | 2,266 | 2,202 | 2,239 | 2,245 | 2,283 |
| 018  | 2,311               | 2,226 | 2,277 | 2,290 | 2,240 | 2,274 |
| 019  | 2,207               | 2,305 | 2,275 | 2,208 | 2,261 | 2,190 |



|     |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 020 | 2,196 | 2,245 | 2,251 | 2,217 | 2,297 | 2,255 |
| 021 | 2,261 | 2,267 | 2,277 | 2,228 | 2,292 | 2,211 |
| 022 | 2,278 | 2,223 | 2,259 | 2,231 | 2,238 | 2,185 |
| 023 | 2,209 | 2,332 | 2,323 | 2,278 | 2,171 | 2,229 |
| 024 | 2,216 | 2,319 | 2,230 | 2,188 | 2,293 | 2,205 |
| 025 | 2,219 | 2,188 | 2,287 | 2,288 | 2,285 | 2,252 |
| 026 | 2,229 | 2,273 | 2,286 | 2,152 | 2,264 | 2,220 |
| 027 | 2,264 | 2,302 | 2,258 | 2,244 | 2,281 | 2,278 |
| 028 | 2,276 | 2,172 | 2,346 | 2,269 | 2,256 | 2,203 |
| 029 | 2,169 | 2,305 | 2,227 | 2,209 | 2,344 | 2,263 |
| 030 | 2,219 | 2,271 | 2,205 | 2,284 | 2,342 | 2,173 |
| 031 | 2,181 | 2,317 | 2,208 | 2,214 | 2,300 | 2,247 |
| 032 | 2,247 | 2,261 | 2,257 | 2,262 | 2,147 | 2,249 |
| 033 | 2,315 | 2,256 | 2,208 | 2,182 | 2,154 | 2,269 |
| 034 | 2,164 | 2,221 | 2,272 | 2,255 | 2,276 | 2,277 |
| 035 | 2,286 | 2,325 | 2,149 | 2,220 | 2,398 | 2,283 |
| 036 | 2,259 | 2,282 | 2,246 | 2,194 | 2,273 | 2,090 |
| 037 | 2,245 | 2,335 | 2,301 | 2,182 | 2,267 | 2,248 |
| 038 | 2,246 | 2,304 | 2,287 | 2,333 | 2,332 | 2,193 |
| 039 | 2,272 | 2,271 | 2,247 | 2,260 | 2,259 | 2,246 |
| 040 | 2,211 | 2,432 | 2,198 | 2,321 | 2,231 | 2,214 |
| 041 | 2,164 | 2,300 | 2,283 | 2,311 | 2,205 | 2,230 |
| 042 | 2,246 | 2,290 | 2,284 | 2,256 | 2,299 | 2,091 |
| 043 | 2,274 | 2,278 | 2,176 | 2,191 | 2,227 | 2,308 |
| 044 | 2,277 | 2,223 | 2,287 | 2,218 | 2,241 | 2,244 |
| 045 | 2,283 | 2,255 | 2,213 | 2,204 | 2,311 | 2,219 |
| 046 | 2,211 | 2,195 | 2,272 | 2,261 | 2,267 | 2,240 |
| 047 | 2,191 | 2,172 | 2,299 | 2,215 | 2,155 | 2,132 |
| 048 | 2,265 | 2,206 | 2,274 | 2,231 | 2,187 | 2,229 |
| 049 | 2,191 | 2,310 | 2,260 | 2,198 | 2,284 | 2,171 |
| 050 | 2,230 | 2,270 | 2,210 | 2,228 | 2,274 | 2,249 |
| 051 | 2,213 | 2,209 | 2,253 | 2,175 | 2,340 | 2,122 |
| 052 | 2,255 | 2,293 | 2,218 | 2,233 | 2,231 | 2,173 |
| 053 | 2,290 | 2,308 | 2,252 | 2,275 | 2,177 | 2,281 |
| 054 | 2,212 | 2,276 | 2,224 | 2,214 | 2,290 | 2,248 |
| 055 | 2,254 | 2,305 | 2,233 | 2,275 | 2,238 | 2,302 |
| 056 | 2,206 | 2,236 | 2,241 | 2,249 | 2,264 | 2,245 |
| 057 | 2,272 | 2,234 | 2,256 | 2,202 | 2,191 | 2,268 |
| 058 | 2,239 | 2,298 | 2,253 | 2,257 | 2,190 | 2,224 |
| 059 | 2,249 | 2,222 | 2,278 | 2,201 | 2,226 | 2,227 |
| 060 | 2,312 | 2,221 | 2,154 | 2,235 | 2,266 | 2,246 |
| 061 | 2,218 | 2,273 | 2,234 | 2,216 | 2,2   | 2,311 |
| 062 | 2,248 | 2,273 | 2,299 | 2,213 | 2,153 | 2,208 |
| 063 | 2,316 | 2,258 | 2,257 | 2,257 | 2,376 | 2,243 |
| 064 | 2,291 | 2,303 | 2,250 | 2,322 | 2,241 | 2,249 |
| 065 | 2,297 | 2,252 | 2,235 | 2,264 | 2,293 | 2,211 |
| 066 | 2,183 | 2,308 | 2,225 | 2,297 | 2,227 | 2,253 |
| 067 | 2,248 | 2,226 | 2,272 | 2,290 | 2,239 | 2,154 |

|     |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 068 | 2,213 | 2,329 | 2,265 | 2,243 | 2,287 | 2,144 |
| 069 | 2,194 | 2,270 | 2,256 | 2,279 | 2,229 | 2,228 |
| 070 | 2,293 | 2,267 | 2,266 | 2,268 | 2,250 | 2,344 |
| 071 | 2,235 | 2,245 | 2,311 | 2,193 | 2,246 | 2,273 |
| 072 | 2,211 | 2,218 | 2,303 | 2,202 | 2,310 | 2,238 |
| 073 | 2,163 | 2,198 | 2,054 | 2,191 | 2,311 | 2,171 |
| 074 | 2,249 | 2,360 | 2,293 | 2,230 | 2,197 | 2,154 |
| 075 | 2,253 | 2,348 | 2,354 | 2,309 | 2,358 | 2,147 |
| 076 | 2,233 | 2,325 | 2,201 | 2,175 | 2,269 | 2,219 |
| 077 | 2,234 | 2,279 | 2,246 | 2,279 | 2,281 | 2,133 |
| 078 | 2,239 | 2,215 | 2,307 | 2,296 | 2,283 | 2,140 |
| 079 | 2,297 | 2,269 | 2,230 | 2,247 | 2,296 | 2,214 |
| 080 | 2,338 | 2,239 | 2,324 | 2,271 | 2,245 | 2,163 |
| 081 | 2,264 | 2,186 | 2,341 | 2,208 | 2,221 | 2,233 |
| 082 | 2,213 | 2,169 | 2,274 | 2,233 | 2,228 | 2,228 |
| 083 | 2,240 | 2,291 | 2,259 | 2,278 | 2,173 | 2,185 |
| 084 | 2,236 | 2,309 | 2,249 | 2,233 | 2,112 | 2,302 |
| 085 | 2,323 | 2,272 | 2,244 | 2,228 | 2,174 | 2,167 |
| 086 | 2,335 | 2,308 | 2,251 | 2,256 | 2,221 | 2,297 |
| 087 | 2,296 | 2,225 | 2,274 | 2,247 | 2,325 | 2,247 |
| 088 | 2,205 | 2,346 | 2,228 | 2,205 | 2,351 | 2,213 |
| 089 | 2,254 | 2,391 | 2,248 | 2,232 | 2,204 | 2,220 |
| 090 | 2,196 | 2,256 | 2,211 | 2,321 | 2,302 | 2,211 |
| 091 | 2,213 | 2,225 | 2,216 | 2,266 | 2,061 | 2,238 |
| 092 | 2,226 | 2,213 | 2,232 | 2,161 | 2,203 | 2,230 |
| 093 | 2,259 | 2,309 | 2,272 | 2,226 | 2,250 | 2,242 |
| 094 | 2,203 | 2,264 | 2,290 | 2,294 | 2,304 | 2,156 |
| 095 | 2,210 | 2,218 | 2,231 | 2,182 | 2,226 | 2,193 |
| 096 | 2,088 | 2,257 | 2,265 | 2,203 | 2,285 | 2,153 |
| 097 | 2,278 | 2,272 | 2,180 | 2,261 | 2,231 | 2,237 |
| 098 | 2,284 | 2,352 | 2,223 | 2,241 | 2,402 | 2,200 |
| 099 | 2,269 | 2,260 | 2,278 | 2,269 | 2,326 | 2,185 |
| 100 | 2,344 | 2,296 | 2,265 | 2,284 | 2,215 | 2,185 |
| 101 | 2,234 | 2,294 | 2,278 | 2,281 | 2,304 | 2,234 |
| 102 | 2,270 | 2,230 | 2,185 | 2,218 | 2,348 | 2,172 |
| 103 | 2,231 | 2,283 | 2,218 | 2,255 | 2,218 | 2,220 |
| 104 | 2,208 | 2,273 | 2,164 | 2,251 | 2,244 | 2,255 |
| 105 | 2,232 | 2,287 | 2,241 | 2,261 | 2,266 | 2,272 |
| 106 | 2,229 | 2,262 | 2,306 | 2,296 | 2,236 | 2,309 |
| 107 | 2,283 | 2,232 | 2,204 | 2,246 | 2,292 | 2,220 |
| 108 | 2,222 | 2,210 | 2,278 | 2,260 | 2,213 | 2,266 |
| 109 | 2,261 | 2,286 | 2,230 | 2,202 | 2,227 | 2,250 |
| 110 | 2,176 | 2,284 | 2,278 | 2,225 | 2,250 | 2,249 |
| 111 | 2,279 | 2,339 | 2,273 | 2,225 | 2,223 | 2,212 |
| 112 | 2,261 | 2,224 | 2,155 | 2,221 | 2,318 | 2,233 |
| 113 | 2,198 | 2,289 | 2,302 | 2,268 | 2,240 | 2,209 |
| 114 | 2,314 | 2,240 | 2,226 | 2,246 | 2,230 | 2,293 |
| 115 | 2,255 | 2,294 | 2,274 | 2,304 | 2,278 | 2,213 |

|        |       |       |       |        |       |       |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 116    | 2,264 | 2,280 | 2,287 | 2,249  | 2,297 | 2,210 |
| 117    | 2,266 | 2,203 | 2,262 | 2,293  | 2,260 | 2,224 |
| 118    | 2,227 | 2,239 | 2,244 | 2,291  | 2,217 | 2,201 |
| 119    | 2,301 | 2,326 | 2,286 | 2,264  | 2,286 | 2,313 |
| 120    | 2,282 | 2,302 | 2,263 | 2,186  | 2,256 | 2,286 |
| 121    | 2,191 | 2,215 | 2,286 | 2,253  | 2,245 | 2,301 |
| 122    | 2,268 | 2,229 | 2,250 | 2,147  | 2,274 | 2,288 |
| 123    | 2,238 | 2,301 | 2,227 | 2,269  | 2,114 | 2,184 |
| 124    | 2,181 | 2,309 | 2,231 | 2,205  | 2,287 | 2,243 |
| 125    | 2,265 | 2,240 | 2,356 | 2,204  | 2,173 | 2,099 |
| 126    | 2,270 | 2,337 | 2,224 | 2,237  | 2,312 | 2,213 |
| 127    | 2,241 | 2,254 | 2,321 | 2,221  | 2,226 | 2,248 |
| 128    | 2,213 | 2,301 | 2,190 | 2,277  | 2,314 | 2,245 |
| 129    | 2,294 | 2,334 | 2,335 | 2,298  | 2,308 | 2,207 |
| 130    | 2,260 | 2,236 | 2,284 | 2,231  | 2,209 | 2,285 |
| 131    | 2,268 | 2,260 | 2,243 | 2,190  | 2,263 | 2,252 |
| 132    | 2,237 | 2,259 | 2,344 | 2,237  | 2,242 | 2,266 |
| 133    | 2,301 | 2,302 | 2,163 | 2,331  | 2,190 | 2,115 |
| 134    | 2,246 | 2,322 | 2,301 | 2,263  | 2,279 | 2,244 |
| 135    | 2,267 | 2,221 | 2,240 | 2,265  | 2,169 | 2,150 |
| 136    | 2,196 | 2,281 | 2,317 | 2,192  | 2,253 | 2,384 |
| 137    | 2,254 | 2,256 | 2,304 | 2,253  | 2,211 | 2,349 |
| 138    | 2,284 | 2,146 | 2,258 | 2,225  | 2,218 | 2,212 |
| 139    | 2,174 | 2,280 | 2,264 | 2,294  | 2,244 | 2,255 |
| 140    | 2,232 | 2,208 | 2,287 | 2,313  | 2,293 | 2,221 |
| 141    | 2,250 | 2,308 | 2,337 | 2,246  | 2,221 | 2,287 |
| 142    | 2,293 | 2,278 | 2,301 | 2,292  | 2,139 | 2,220 |
| 143    | 2,246 | 2,213 | 2,351 | 2,257  | 2,223 | 2,231 |
| 144    | 2,219 | 2,249 | 2,229 | 2,276  | 2,295 | 2,112 |
| 145    | 2,220 | 2,299 | 2,217 | 2,239  | 2,266 | 2,228 |
| 146    | 2,246 | 2,227 | 2,205 | 2,229  | 2,259 | 2,230 |
| 147    | 2,282 | 2,240 | 2,240 | 2,273  | 2,285 | 2,264 |
| 148    | 2,242 | 2,347 | 2,233 | 2,252  | 2,319 | 2,176 |
| 149    | 2,299 | 2,231 | 2,295 | 2,212  | 2,234 | 2,178 |
| 150    | 2,270 | 2,283 | 2,155 | 2,227  | 2,244 | 2,209 |
| Média  | 2,244 | 2,267 | 2,255 | 2,245  | 2,253 | 2,226 |
| Desvio | 0,042 | 0,046 | 0,049 | 0,0393 | 0,054 | 0,052 |

*Tabela VIII.12.- Medida da altura da orla das moedas novas de R\$ 0,25.*

| Ítem | Altura da Orla (mm) |       |       |       |       |       |
|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 1998                | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| 1    | 2,296               | 2,298 | 2,301 | 2,282 | 2,308 | 2,251 |
| 2    | 2,234               | 2,321 | 2,313 | 2,298 | 2,268 | 2,238 |
| 3    | 2,306               | 2,317 | 2,400 | 2,279 | 2,302 | 2,231 |
| 4    | 2,275               | 2,299 | 2,288 | 2,307 | 2,290 | 2,263 |
| 5    | 2,298               | 2,317 | 2,274 | 2,241 | 2,311 | 2,264 |

|        |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6      | 2,296 | 2,269 | 2,250 | 2,283 | 2,293 | 2,287 |
| 7      | 2,297 | 2,311 | 2,261 | 2,295 | 2,252 | 2,235 |
| 8      | 2,324 | 2,267 | 2,278 | 2,237 | 2,260 | 2,231 |
| 9      | 2,273 | 2,310 | 2,290 | 2,237 | 2,285 | 2,232 |
| 10     | 2,255 | 2,410 | 2,283 | 2,253 | 2,283 | 2,220 |
| 11     | 2,243 | 2,362 | 2,301 | 2,272 | 2,309 | 2,225 |
| 12     | 2,248 | 2,324 | 2,279 |       | 2,266 | 2,263 |
| 13     | 2,238 | 2,281 | 2,272 |       | 2,252 | 2,285 |
| 14     | 2,271 | 2,312 | 2,274 |       | 2,283 | 2,249 |
| 15     | 2,239 | 2,300 | 2,233 |       | 2,275 | 2,245 |
| 16     | 2,313 | 2,268 | 2,295 |       | 2,267 | 2,232 |
| 17     | 2,301 | 2,332 | 2,274 |       | 2,239 | 22,63 |
| 18     | 2,297 | 2,306 |       |       |       |       |
| 19     | 2,301 | 2,280 |       |       |       |       |
| 20     | 2,327 | 2,292 |       |       |       |       |
| 21     |       | 2,272 |       |       |       |       |
| 22     |       | 2,349 |       |       |       |       |
| 23     |       | 2,247 |       |       |       |       |
| 24     |       | 2,250 |       |       |       |       |
| 25     |       | 2,351 |       |       |       |       |
| 26     |       | 2,295 |       |       |       |       |
| 27     |       | 2,289 |       |       |       |       |
| 28     |       | 2,309 |       |       |       |       |
| 29     |       | 2,304 |       |       |       |       |
| 30     |       | 2,314 |       |       |       |       |
| 31     |       | 2,302 |       |       |       |       |
| 32     |       | 2,330 |       |       |       |       |
| 33     |       | 2,324 |       |       |       |       |
| 34     |       | 2,268 |       |       |       |       |
| 35     |       | 2,298 |       |       |       |       |
| 35     |       | 2,280 |       |       |       |       |
| 37     |       | 2,265 |       |       |       |       |
| 38     |       | 2,267 |       |       |       |       |
| 39     |       | 2,247 |       |       |       |       |
| 41     |       | 2,298 |       |       |       |       |
| Média  | 2,282 | 2,301 | 2,286 | 2,272 | 2,279 | 2,248 |
| Desvio | 0,029 | 0,032 | 0,035 | 0,025 | 0,021 | 0,020 |

Tabela VIII.13.- Dureza superficial das moedas de R\$ 0,05.

| Ano  | Local | Dureza Rockwell 30T |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Média |
|------|-------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|      |       | A1                  | A2   | A3   | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   | A9   | A10  |       |
| 1998 | P1    | 63,0                | 60,9 | 62,0 | 62,3 | 61,0 | 61,5 | 62,0 | 62,0 | 59,4 | 61,3 | 61,5  |
|      | P2    | 58,0                | 61,0 | 60,1 | 61,0 | 61,0 | 58,3 | 62,0 | 61,0 | 58,5 | 60,0 | 60,1  |
| 1999 | P1    | 61,8                | 61,8 | 62,0 | 58,0 | 61,0 | 59,5 | 62,0 | 60,0 | 63,0 | 62,0 | 61,1  |
|      | P2    | 62,2                | 60,9 | 62,4 | 60,8 | 62,9 | 61,2 | 59,7 | 61,0 | 62,0 | 62,0 | 61,5  |
| 2000 | P1    | 63,0                | 64,0 | 65,0 | 57,0 | 58,0 | 62,3 | 62,0 | 59,0 | 59,0 | 63,9 | 61,3  |

|              |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | P2 | 61,2 | 62,0 | 60,1 | 57,0 | 59,9 | 62,9 | 62,0 | 60,0 | 61,5 | 62,0 | 60,8 |
| 2001         | P1 | 62,0 | 62,5 | 64,0 | 65,5 | 60,9 | 63,8 | 59,2 | 63,8 | 59,8 | 61,0 | 62,3 |
|              | P2 | 63,0 | 62,5 | 62,5 | 63,0 | 62,0 | 62,0 | 60,5 | 64,3 | 61,0 | 62,0 | 62,3 |
| 2002         | P1 | 61,9 | 64,9 | 66,0 | 62,0 | 62,7 | 64,0 | 59,0 | 57,0 | 58,0 | 63,8 | 61,9 |
|              | P2 | 62,0 | 63,0 | 66,0 | 62,2 | 63,0 | 64,0 | 59,0 | 63,0 | 62,0 | 62,0 | 62,6 |
| 2003         | P1 | 62,0 | 64,0 | 61,0 | 62,0 | 58,0 | 64,0 | 62,8 | 64,0 | 63,1 | 61,9 | 62,3 |
|              | P2 | 60,0 | 65,0 | 62,0 | 62,0 | 59,0 | 64,0 | 61,0 | 66,0 | 65,9 | 61,0 | 62,6 |
| 2004         | P1 | 73,0 | 65,0 | 64,0 | 61,0 | 59,0 | 62,0 | 61,9 | 59,0 | 61,0 | 58,0 | 62,4 |
|              | P2 | 71,0 | 65,0 | 61,0 | 62,5 | 63,9 | 64,0 | 66,0 | 63,8 | 63,1 | 61,2 | 64,1 |
| D.Revesti m. |    | 51,0 | 49,0 | 50,0 | 46,0 | 51,0 | 49,0 | 49,0 | 52,0 | 50,0 | 48,0 | 49,5 |
| D. do aço    |    | 78,0 | 69,0 | 66,0 | 67,0 | 69,0 | 70,0 | 71,0 | 70,0 | 70,0 | 71,0 | 70,1 |

Nota: P1 revelo superior; P2 relevo inferior; A1 a A10 pontos de medidas.

*Tabela VIII.14.- Dureza superficial das moedas de R\$ 0,25.*

| ANO          | Local | Dureza Rockwell 30T |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Média |
|--------------|-------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|              |       | A1                  | A2   | A3   | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   | A9   | A10  |       |
| 1998         | P1    | 60,5                | 56,4 | 60,0 | 60,1 | 56,1 | 61,0 | 62,0 | 56,9 | 56,7 | 60,8 | 59,0  |
|              | P2    | 64,0                | 61,0 | 64,1 | 64,0 | 58,0 | 64,0 | 65,1 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 62,6  |
| 1999         | P1    | 61,0                | 59,0 | 63,0 | 63,0 | 60,0 | 60,0 | 59,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,5  |
|              | P2    | 64,0                | 63,0 | 58,0 | 64,0 | 58,0 | 63,0 | 62,0 | 62,0 | 58,0 | 65,0 | 61,7  |
| 2000         | P1    | 52,0                | 53,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 60,0 | 57,0 | 59,0 | 57,6  |
|              | P2    | 61,0                | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 65,0 | 62,0 | 65,0 | 62,0 | 64,0 | 64,0 | 63,3  |
| 2001         | P1    | 60,0                | 60,0 | 54,0 | 57,5 | 60,1 | 60,0 | 63,0 | 62,1 | 62,8 | 63,0 | 60,3  |
|              | P2    | 65,0                | 63,5 | 63,0 | 63,8 | 63,5 | 64,9 | 67,0 | 65,0 | 66,0 | 64,1 | 64,6  |
| 2002         | P1    | 61,0                | 60,0 | 61,0 | 58,0 | 56,0 | 57,0 | 61,0 | 64,0 | 58,0 | 61,0 | 59,7  |
|              | P2    | 65,0                | 64,0 | 64,0 | 64,0 | 62,0 | 62,0 | 65,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,5  |
| 2003         | P1    | 59,0                | 60,0 | 59,0 | 58,0 | 59,0 | 58,0 | 58,0 | 56,0 | 55,0 | 61,0 | 58,3  |
|              | P2    | 61,0                | 62,0 | 64,0 | 63,0 | 64,0 | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 61,0 | 64,0 | 62,9  |
| 2003         | P1    | 57,0                | 55,0 | 59,0 | 60,0 | 59,0 | 58,0 | 60,0 | 57,0 | 59,0 | 59,0 | 58,3  |
| CMB          | P2    | 63,0                | 63,0 | 64,0 | 61,0 | 64,0 | 63,0 | 64,0 | 62,0 | 63,0 | 62,0 | 62,9  |
| Disc o       |       | 51,0                | 49,0 | 50,0 | 46,0 | 51,0 | 49,0 | 49,0 | 52,0 | 50,0 | 48,0 | 49,5  |
| Disc o s/ TT |       | 71,0                | 71,0 | 69,0 | 72,0 | 72,0 | 70,0 | 72,0 | 71,0 | 69,0 | 72,0 | 70,9  |
| D. de Aço    |       | 78,0                | 69,0 | 66,0 | 67,0 | 70,0 | 70,0 | 71,0 | 70,0 | 71,0 | 70,0 | 70,2  |

Nota: P1 revelo superior; P2 relevo inferior; A1 a A10 pontos de medidas.

*Tabela VIII.15. – Microdureza no revestimento de cobre (R\$0,05)*

| Ano de Emissão | Tipo de Moeda | Microdureza (Vickers) |      |       |
|----------------|---------------|-----------------------|------|-------|
|                |               | Medidas               |      | Média |
| 1998           | Usada         | 87,6                  | 90,8 | 93,36 |
|                |               | 91,6                  | 95,8 |       |
|                |               | 101                   |      |       |
| 1998           | Nova          | 90                    | 91,6 | 94,00 |
|                |               | 93,2                  | 96,7 |       |
|                |               | 96,7                  |      |       |
| 1999           | Usada         | 83,9                  | 84,7 | 90,36 |
|                |               | 91,6                  | 95,8 |       |
|                |               | 95,8                  |      |       |
| 2000           | Usada         | 80,5                  | 87,6 | 94,32 |
|                |               | 91,5                  | 100  |       |
|                |               | 112                   |      |       |
| 2001           | Usada         | 82,5                  | 81,2 | 85,36 |
|                |               | 83,9                  | 87,6 |       |
|                |               | 91,6                  |      |       |
| 2002           | Usada         | 87,6                  | 92,4 | 96,16 |
|                |               | 95,8                  | 100  |       |
|                |               | 105                   |      |       |
| 2003           | Usada         | 80,5                  | 80,5 | 85,14 |
|                |               | 84,7                  | 88,4 |       |
|                |               | 91,6                  |      |       |
| 2003           | Nova          | 74,5                  | 80,5 | 84,32 |
|                |               | 85,4                  | 85,4 |       |
|                |               | 95,8                  |      |       |
| 2004           | Nova          | 85,4                  | 88,4 | 90,08 |
|                |               | 87,6                  | 88,4 |       |
|                |               | 93,2                  |      |       |
| Disco Liso     | Novo          | 76,0                  | 77,2 | 80,02 |
|                |               | 80,5                  | 82,5 |       |
|                |               | 83,9                  |      |       |

*Tabela VIII.16. – Microdureza no revestimento de bronze (R\$0,25)*

| Ano de Emissão | Tipo de Moeda | Microdureza (Vickers) |     |        |
|----------------|---------------|-----------------------|-----|--------|
|                |               | Medidas               |     | Média  |
| 1998           | Usada         | 148                   | 148 | 150,20 |
|                |               | 151                   | 151 |        |
|                |               | 153                   |     |        |
| 1998           | Nova          | 172                   | 181 | 183,40 |
|                |               | 181                   | 190 |        |
|                |               | 193                   |     |        |
| 1999           | Usada         | 183                   | 193 | 195,60 |
|                |               | 193                   | 203 |        |
|                |               | 206                   |     |        |

|            |       |     |     |        |
|------------|-------|-----|-----|--------|
| 2000       | Usada | 162 | 170 | 175,40 |
|            |       | 181 | 181 |        |
|            |       | 183 |     |        |
| 2001       | Usada | 160 | 160 | 164,80 |
|            |       | 162 | 170 |        |
|            |       | 172 |     |        |
| 2002       | Usada | 174 | 181 | 186,40 |
|            |       | 183 | 193 |        |
|            |       | 201 |     |        |
| 2003       | Usada | 164 | 181 | 173,20 |
|            |       | 174 | 170 |        |
|            |       | 181 |     |        |
| 2003       | Nova  | 181 | 170 | 179,60 |
|            |       | 193 | 186 |        |
|            |       | 143 |     |        |
| 1999       | Nova  | 181 | 193 | 200,2  |
|            |       | 206 | 209 |        |
|            |       | 212 |     |        |
| Disco Liso | Novo  | 151 | 153 | 151    |
|            |       | 160 | 148 |        |
|            |       | 181 |     |        |

Tabela VII.17- Potencial de eletrodo do ensaio de imersão total (Moeda de R\$0,05).

| Tempo<br>(dias) | Potencial (mV) x ECS |      |      |      |      |
|-----------------|----------------------|------|------|------|------|
|                 | cp 1                 | cp 2 | cp 3 | cp 4 | cp 5 |
| 0               | -137                 | -140 | -134 | -138 | -135 |
| 0,08            | -176                 | -185 | -179 | -179 | -175 |
| 0,3             | -188                 | -192 | -189 | -185 | -186 |
| 1               | -180                 | -193 | -196 | -203 | -201 |
| 2               | -187                 | -189 | -181 | -183 | -190 |
| 3               | -181                 | -189 | -185 | -183 | -192 |
| 4               | -171                 | -175 | -168 | -175 | -176 |
| 6               | -165                 | -164 | -160 | -170 | -164 |
| 7               | -158                 | -157 | -153 | -165 | -156 |
| 8               | -152                 | -151 | -148 | -160 | -149 |
| 9               | -142                 | -144 | -142 | -152 | -136 |
| 10              | -136                 | -131 | -132 | -146 | -127 |
| 11              | -130                 | -128 | -130 | -145 | -120 |
| 12              | -125                 | -122 | -127 | -140 | -111 |
| 13              | -120                 | -120 | -125 | -135 | -100 |
| 14              | -118                 | -110 | -123 | -133 | -102 |
| 15              | -117                 | -105 | -120 | -131 | -104 |
| 16              | -110                 | -100 | -113 | -123 | -100 |
| 17              | -116                 | -113 | -114 | -123 | -100 |
| 18              | -112                 | -108 | -107 | -118 | -100 |

|    |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|
| 19 | -108 | -103 | -108 | -115 | -100 |
| 20 | -100 | -100 | -100 | -110 | -98  |
| 21 | -99  | -90  | -102 | -103 | -97  |
| 22 | -101 | -88  | -99  | -106 | -96  |
| 23 | -100 | -96  | -97  | -104 | -96  |

*Tabela VII.18- Potencial de eletrodo do ensaio de imersão total (Moeda de R\$0,25).*

| Tempo<br>(dias) | Potencial (mV) x ECS |      |      |      |      |
|-----------------|----------------------|------|------|------|------|
|                 | cp 1                 | cp 2 | cp 3 | cp 4 | cp 5 |
| 0               | -149                 | -146 | -151 | -150 | -154 |
| 0,08            | -152                 | -149 | -149 | -151 | -157 |
| 0,3             | -121                 | -123 | -122 | -117 | -122 |
| 1               | -111                 | -111 | -114 | -108 | -110 |
| 2               | -100                 | -102 | -101 | -102 | -102 |
| 3               | -97                  | -103 | -103 | -97  | -101 |
| 4               | -99                  | -100 | -99  | -95  | -100 |
| 6               | -98                  | -99  | -100 | -96  | -99  |
| 7               | -100                 | -100 | -100 | -95  | -100 |
| 8               | -98                  | -101 | -101 | -96  | -99  |
| 9               | -95                  | -98  | -98  | -96  | -97  |
| 10              | -91                  | -97  | -94  | -93  | -93  |
| 11              | -92                  | -98  | -96  | -94  | -95  |
| 12              | -93                  | -100 | -100 | -95  | -99  |
| 13              | -94                  | -98  | -101 | -97  | -100 |
| 14              | -95                  | -100 | -102 | -99  | -99  |
| 15              | -96                  | -110 | -103 | -102 | -100 |
| 16              | -94                  | -98  | -103 | -103 | -104 |
| 17              | -96                  | -120 | -103 | -105 | -214 |
| 18              | -110                 | -130 | -105 | -108 | -230 |
| 19              | -125                 | -150 | -109 | -111 | -244 |
| 20              | -160                 | -175 | -200 | -140 | -200 |
| 21              | -190                 | -183 | -240 | -180 | -170 |
| 22              | -230                 | -177 | -261 | -182 | -121 |
| 23              | -203                 | -177 | -100 | -190 | -116 |