

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XV
RESUMO.....	XVI
RESUMEN.....	XIII
RESUM.....	XX
ABSTRACT.....	XXII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3 HIPÓTESES.....	4
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Os resíduos eletrônicos e o meio ambiente.....	5
4.2 A utilização de metais preciosos em equipamentos eletrônicos.....	9
4.3 Telefones celulares.....	11
4.3.1 Placas de Circuito impresso de telefones celulares.....	13
4.4 Reciclagem de placas de circuito impresso.....	15
4.4.1 Processamento Mecânico.....	16
4.4.2 Pirometalurgia.....	18
4.4.3 Hidrometalurgia.....	21
4.4.3.1 O tiosulfato como agente lixiviante de ouro.....	24
4.4.3.2 Recuperação dos metais de licores de lixiviação.....	30
4.4.4 Biohidrometalurgia.....	31
4.4.5 Eletrometalurgia.....	33
4.4.5.1 Voltametria cíclica de varredura.....	36
4.4.5.2 Eletrodo de disco rotativo.....	38
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1 Procedimento experimental.....	40
5.2 Placas de circuito impresso.....	41
5.3 Caracterização das PCI's quanto à presença de ouro.....	43
5.4 Ensaio de lixiviação.....	43
5.4.1 Lixiviação com deplacante comercial.....	43
5.4.2 Lixiviação com tiosulfato de sódio e tiosulfato de amônio.....	44

5.4.2.1	Ensaio de 4 horas .....	45
5.4.2.2	Ensaio de 24 Horas.....	46
5.5	Ensaio de eletro-obtenção .....	48
5.5.1	Soluções reais e soluções sintéticas .....	48
5.5.2	Ensaio de voltametria cíclica e eletrodo de disco rotativo (RDE).....	49
	Figura 8: Potenciostato/Galvanostato Autolab PGSTAT20 .....	50
5.5.3	Eletro-obtenção .....	51
5.6	Análise química .....	52
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
6.1	Resultados da caracterização das PCI's .....	53
6.2	Resultados dos ensaios de lixiviação .....	54
6.2.1	Lixiviação de ouro com deplacante comercial .....	54
6.2.2	Lixiviação de ouro com tiosulfato .....	56
6.2.2.1	Ensaio com duração de 4 horas.....	60
Tiosulfato de sódio .....	60	
Tiosulfato de Amônio.....	62	
6.2.2.2	Ensaio com duração de 24 horas.....	64
Tiosulfato de sódio .....	64	
Tiosulfato de amônio .....	66	
6.3	Resultados da recuperação do ouro das soluções .....	69
6.3.1	Ensaio de voltametria cíclica e eletrodo de disco rotativo (RDE).....	69
6.3.1.1	Comportamento do tiosulfato frente ao eletrodo .....	70
6.3.1.2	Estudo voltamétrico do cobre.....	71
Cobre em meio amoniacal .....	71	
Cobre em meio contendo tiosulfato e amônia.....	77	
6.3.1.3	Estudo voltamétrico do ouro .....	80
Ouro em meio amoniacal .....	81	
Ouro em meio contendo tiosulfato e amônia.....	84	
6.3.1.4	Estudo voltamétrico do sistema ouro/cobre/amônia/ tiosulfato .....	86
6.3.1.5	Comparativo para eletrodos de trabalho de platina e de grafite.....	90
6.3.2	Resultados dos ensaios de eletro-obtenção.....	91
6.3.2.1	Resultados para soluções sintéticas contendo 100 ppm de ouro.....	93

Evolução das frações dos metais recuperadas.....	94
Modelagem matemática.....	98
Efeito da presença de cobre em solução sobre a eletrodeposição do ouro.....	100
Rendimento elétrico .....	102
Calculo da produtividade.....	103
Calculo do consumo energético.....	104
6.3.2.2 Resultados para soluções sintéticas contendo 10 ppm de ouro .....	107
Evolução das frações de ouro recuperadas.....	108
Rendimento elétrico .....	109
Calculo da produtividade.....	110
Calculo do consumo energético.....	110
6.3.2.3 Resultados para soluções reais .....	111
Resultados para recuperação de ouro .....	111
Resultados para recuperação de cobre .....	115
7 CONCLUSÕES.....	117
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121