

DETERMINAÇÃO DE VALOR DE ATIVOS ATRAVÉS DO MODELO DE PRECIFICAÇÃO CAPM PARA METAIS ADVINDOS DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS

Gustavo Coxev Wolski (Universidade Presbiteriana Mackenzie) gustavocoxev@gmail.com

Vinicius Campos Pereira (Eneva) viniciuscp@gmail.com

Max Filipe Silva Gonçalves (Universidade Presbiteriana Mackenzie) max.goncalves@mackenzie.br

Resumo

A geração de resíduos eletrônicos tem aumentado exponencialmente nas últimas décadas, tendo em vista a crescente incorporação da tecnologia no dia a dia da sociedade moderna. O grande obstáculo é que estes resíduos possuem em sua composição metais perigosos de difícil degradação, muitos deles podem ser causadores de graves problemas ambientais e a saúde humana, caso sejam descartados de modo incorreto. O presente artigo aplica o modelo de precificação de ativos financeiros (CAPM – *Capital Asset Pricing Model*) para precificação do valor de mercado de metais presentes nas matérias-primas advindas dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), estes materiais passaram pelos processos de coleta, triagem e reciclagem em companhias especializadas em logística reversa de REEE's na cidade de São Paulo. O objetivo deste artigo é facilitar a previsão de venda e estocagem destes resíduos para corporações que podem realizar o uso destes metais de forma a reduzir o impacto ambiental deles além de incentivar empresas que realizam coleta seletiva e tratamento de resíduos, bem como facilitar a previsão e controle do estoque de resíduos em empresas de reciclagem. A metodologia foi aplicada nos principais metais da cadeia eletroeletrônica, uma vez que são produtos altamente demandados e comercializados no mercado. Entre eles estão, Alumínio, Cobre, Chumbo, Estanho, Ferro, Níquel, Ouro, Prata e Zinco.

Palavras-Chaves: Resíduos, Metais, CAPM, Problemas ambientais, REEE

1. Introdução

Um dos grandes problemas ambientais com que as grandes cidades batalham diariamente está relacionado ao tratamento, coleta e à disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos. O crescimento gradativo de volume e diversidade dos resíduos gerados nas metrópoles, somados a redução de áreas para a implantação de novos aterros, representam um risco para o meio

ambiente e para a saúde humana, se tornando um enorme desafio para a administração pública que deve buscar novas rotas para a diminuição do problema.

Uma forma de tratar estes resíduos é através do incentivo a companhias de Coleta seletiva. Segundo a prefeitura de São Paulo (2019) foram recolhidas cerca de 80,4 mil toneladas de materiais recicláveis, o que representa um aumento de 4,6% em relação ao mesmo período de 2018, através destas métricas é perceptível um aumento das organizações que tem seu modelo de negócios voltado para coleta, tratamento e venda da matéria-prima bruta advindas destes resíduos.

É imprescindível o apoio a estas organizações para o desenvolvimento sustentável das cidades. Tendo isso em mente este trabalho tem como objetivo formular o Modelo de Precificação de Ativos de Capital (CAPM) dos principais metais da cadeia de REEE's, para que seja possível determinar o preço de um determinado ativo em um período futuro, facilitando a gestão de estoque e previsão de vendas dessas matérias-primas no mercado.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Resíduos de equipamentos elétricos e eletroeletrônicos

A nomenclatura “resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos”, cuja sigla é REEE, traduzida do inglês *waste electrical and electronic equipment* (WEEE), mostra-se como a mais utilizada mundialmente no meio técnico e científico, e vem sendo esta utilizada inclusive nas Diretivas da Comunidade Europeia que por sua vez é referência deste assunto (CE, 2015; CE, 2003; CE, 2012).

Outras terminologias utilizadas para referir-se a essa tipologia de resíduos sólidos são “e-lixo”, do inglês *e-waste*, “lixo eletrônico”, e “resíduos eletroeletrônicos”, sendo a última a mais citada, frequentemente empregada em publicações nacionais constando na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, são visados cada vez mais atualmente, por questões ambientais e de responsabilidade compartilhada bem como os próprios maquinários, equipamentos e utensílios eletrônicos (Cardoso, 2022), estes pertencem a uma grande coleção de produtos, que se destacam por características como volume, composição, tempo de vida útil, custo econômico e potencial de impacto sobre o ambiente e a saúde se gerenciados de forma precária e/ou inadequada. Essas diferenças se refletem nas

particularidades de gerenciamento pós-consumo de cada grupo, isto é, nos processos de coleta, logística e reciclagem, assim como nas atitudes dos consumidores no momento do descarte (OLIVEIRA, 2016; BALDÉ et al., 2017).

De acordo com a definição da Diretiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu, em seu artigo 3º, equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) são aqueles equipamentos que, para funcionarem adequadamente, dependem de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos. Pertencem ainda a esta categoria os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes, assim como aqueles com uma tensão nominal não superior a 1.000 V para corrente alternada e 1.500 V para corrente contínua (PARLAMENTO EUROPEU, 2003^a, p. 2.).

Só no Brasil são gerados por ano 680.000 (seiscentos e oitenta mil) toneladas de REEE (Feam, 2013), destes resíduos, 90% foram enviados para aterros, incinerados ou valorizados sem pré-tratamento (COM, 2000) cerca de 8% são reciclados através da logística reversa (Reis, 2021) e o restante é descartado indevidamente nas ruas . Até 2015, a quantidade de Resíduos deste tipo pode chegar a 12 milhões de toneladas – equivalente a aproximadamente 14 kg por pessoa por ano (Goosey, 2004). E com a incorporação de microprocessadores em equipamentos elétricos, como refrigeradores, é gerado um resíduo que contém materiais valiosos e perigosos que requerem métodos especiais de manuseio e reciclagem para evitar a contaminação ambiental e efeitos prejudiciais à saúde humana (Wang et al, 2009; Robinson, 2009).

2.2. Modelo de Precificação de Ativos de Capital – CAPM

O trabalho de Markowitz (1959) datado no século XX na modelagem de carteiras eficientemente ponderadas, revolucionou o desenvolvimento do Modelo CAPM por Sharpe (1963 e 1964), o qual contou ainda com as contribuições de Tobin (1958), Treynor (1961), Lintner (1965), Mossin (1966) e Black (1972), para o aperfeiçoamento do Modelo, considerando haver um relacionamento linear entre risco (variância) e retorno (rentabilidade ou recompensa). Essa teoria de precificação de ativos teve sublime importância para a economia moderna, com isto Sharpe foi ofertado com o Prêmio Nobel de Economia em 1990.

O modelo do CAPM preconiza o risco de uma carteira como sendo em função de três questões básicas: (a) peso dos ativos na carteira, (b) covariância entre os ativos participantes e, (c) retorno esperado de cada ativo (PERLIN; CERETTA, 2004), este retrato foi

fundamentado nos pressupostos da utilidade e da hipótese da eficiência de mercado (COSTA JR., MENEZES e LEMGRUBER, 1993), e ponderava que em situação de equilíbrio, a expectativa de retorno de um ativo seria igual ao retorno de um ativo livre de risco, somado a um prêmio pelo risco assumido, prêmio esse resultado da diferença entre o retorno da carteira de mercado e ativo livre de risco, ponderado pelo beta (coeficiente de risco sistemático), o qual é a medida de sensibilidade de risco da empresa (BRUNI, 1998).

Assim, esse modelo busca explicar o comportamento dos valores dos ativos e auxiliar na avaliação de investimentos (AMARAL et al., 2004), isso pode ser para ativos individuais ou para portfólios. E, para os mesmos autores as decisões financeiras mais importantes devem ser estudadas à luz da expectativa de retorno e de risco e os efeitos dessa associação ao valor do ativo. Portanto, o CAPM é um modelo indicado para ser aplicado nas decisões financeiras empresariais ou de investidores, além disso existem estudos relevantes de outros modelos como o CAPM local, CAPM Local Ajustado e CAPM Ajustado Híbrido que podem ser aplicados para um melhor ajuste ao modelo de previsão proposto neste trabalho (PAIVA, 2023).

3. Metodologia

O objetivo desta pesquisa é implementar um modelo de acompanhamento e previsão dos principais ativos financeiros metálicos derivados de REEE's a partir da metodologia CAPM e verificar sua confiabilidade quando comparada a um cenário real.

A metodologia se inicia através da verificação dos principais componentes encontrados nos resíduos elétricos e eletrônicos, os metais encontrados nesses materiais são os que se apresentam em maior quantidade, chegando a representar mais de 70% da massa de REEE's, a tabela 1 abaixo mostra os principais componentes encontrados nestes resíduos.

Tabela 1 Composição de 1 tonelada de sucata eletroeletrônica mista

<i>Componente</i>	<i>Quantidade/tonelada</i>
Ferro	35% ~ 40%
Cobre	0,17
Fibras e Plásticos	0,15
Alumínio	0,07
Papel e embalagem	0,05
Zinco	4% ~ 5%
Resíduos não recicláveis	3% ~ 5%
Chumbo	2% ~ 3%
Ouro	0,0002% ~ 0,0003%
Prata	0,0003% ~ 0,001%
Platina	0,00003% ~ 0,00007%

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2007) e Meius Engenharia Ltda (2009).

É possível perceber que os metais estão contidos em cerca de 72% da composição dos REEE's, isso evidencia a necessidade de tratamento dessas substâncias ao considerar a quantidade emitida anualmente informada na seção bibliográfica. Ao retirar da análise resíduos como fibras, plásticos, papeis, embalagens e resíduos não recicláveis, podemos estabelecer uma relação entre as matérias-primas metálicas, advindas do procedimento de reciclagem e os ativos de commodities.

Para tal conexão foi necessário extrair os dados extrapolados diários da tabela LME através do site da London Metal Exchange LME (2023) dos metais pesados: Alumínio, Chumbo, Cobre, Estanho e Níquel. Já para os metais preciosos como Platina, Ouro e Prata, foi necessário a extração dos dados de cotação diários a partir do site da Investing (2023). Vale ressaltar que os dados extraídos se iniciam em 04/01/2022 e encerram 29/12/2022 e não consideram fins de semana.

Após a extração dos dados e tratamento por exclusão das linhas com valores nulos, decorrentes de dias em que a bolsa não abriu para comercio, feriados ou fins de semana. Temos uma base de dados com 220 cotações.

Para precificação do valor de mercado dos metais iremos utilizar do Modelo de Precificação de Ativos de Capital de Harry Markowitz, como citado no capítulo 2 deste artigo, a função

desenvolvida é de primeiro grau e aborda algumas das principais variáveis que refletem a variação de preço dos ativos e podem ser preditas através de análises do mercado global

O CAPM é representado pela fórmula:

$$E(R_i) = R_f + \beta_{im}(E(R_m) - (R_f)) \quad (1)$$

onde:

- $(R_i) \rightarrow$ retorno esperado do ativo i ;
- $R_m - R_f \rightarrow$ prêmio da carteira esperado;
- $R_f \rightarrow$ taxa do ativo livre de risco;
- $\beta_{im} \rightarrow$ coeficiente beta, relação entre ativo i e carteira de mercado m ;

A primeira etapa é a verificação da correlação entre os metais, para validar a viabilidade do modelo e se é possível continuar apenas com estes dados para estabelecer um indicador para o mercado de metais, para isso analisou-se os dados de correlação diária par a par de cada metal, de todo o período extraído. O resultado pode ser visualizado na tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Matriz de correlação dos Metais

Metais	Ouro (RS/t)	Alumínio (RS/t)	Chumbo (RS/t)	Cobre (RS/t)	Estanho (RS/t)	Níquel (RS/t)	Zinco (RS/t)	Platina (RS/t)	Prata (RS/t)
Ouro (RS/t)	1								
Alumínio (RS/t)	0,85639	1							
Chumbo (RS/t)	0,812829	0,845865	1						
Cobre (RS/t)	0,865809	0,918505	0,843698	1					
Estanho (RS/t)	0,811553	0,869288	0,761144	0,936714	1				
Níquel (RS/t)	0,752138	0,604838	0,559511	0,599447	0,520889	1			
Zinco (RS/t)	0,686811	0,686556	0,611885	0,654759	0,519306	0,431309	1		
Platina (RS/t)	0,624129	0,633462	0,742767	0,667784	0,556807	0,564773	0,305922	1	
Prata (RS/t)	0,879697	0,823794	0,883251	0,864339	0,763511	0,742958	0,571619	0,824349	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A tabela acima foi colorida para representar a intensidade das correlações par a par. Ao analisar a tabela podemos perceber que não existem correlações negativas, sendo a menor



correlação entre platina e Zinco de 0,3059. E a maior correlação entre o Estanho e o Cobre de 0,9367, indicando uma forte relação positiva entre ambos. Ao realizar a extração média da correlação do ouro e os outros metais obteve-se 0,78 o que indica uma correlação positiva forte, somado a isso, ao avaliar a liquidez, variabilidade e influência mundial, esse ativo se demonstra o mais adequado como indicador da carteira do mercado Metais.

Após a definição do Indicador de carteira, devemos verificar a expectativa do mercado para o ativo ao fim do período desejado, neste caso iremos adotar o primeiro bimestre de 2023 par a efeitos de comparação com o período atual deste trabalho. Segundo Neagle (2022) em sua análises através do portal *investing*, o autor indica uma forte alavancagem do ouro, relatando um aumento do valor do ativo para 2000 USD/onça troy no primeiro bimestre de 2023.

A última variável necessária é o ativo livre de risco, para isto é valido lembrar que essa taxa tende a variar no longo prazo, porém para fins acadêmicos utilizaremos a taxa SELIC do período atual. A taxa Selic é a taxa básica de juros da economia, utilizada como base para diversos ativos de renda fixa, bem como empréstimos e financiamentos (BRASIL, 2023). Para o primeiro bimestre de 2023 utilizaremos a tabela 3 abaixo como indicador da taxa livre de risco.

Tabela 3 - Variação mensal da taxa Selic 2023

<i>Material</i>	<i>Beta</i>
janeiro	1,12%
Fevereiro	1,06%

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2023)

Ao realizar a composição das duas taxas mensais através dos juros compostos, obtemos o valor da taxa do ativo livre de risco de 2,15%. A partir deste momento é possível substituir as variáveis coletadas na equação 1, para cada metal da cadeia de REEE's. A tabela 4 abaixo apresenta a comparação entre o valor real atual, a precificação do valor do ativo no mesmo período obtida por CAPM e a taxa de erro

Tabela 4 - Comparativo de preço dos metais atual x CAPM

<i>Material</i>	<i>Valor predito em 13/02/2023 (USD/OnçaTroy)</i>	<i>Valor real em 13/02/2023 (USD/OnçaTroy)</i>	<i>% Error</i>
Alumínio	\$ 0,0740	\$ 0,0741	0,18%
Chumbo	\$ 0,0722	\$ 0,0650	11,08%
Cobre	\$ 0,2618	\$ 0,2772	5,54%
Estanho	\$ 0,7713	\$ 0,8569	9,99%
Níquel	\$ 0,9358	\$ 0,8322	12,45%
Zinco	\$ 0,0942	\$ 0,0946	0,48%
Platina	\$ 1.056,5369	\$ 950,5000	11,16%
Prata	\$ 23,8289	\$ 22,0080	8,27%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4. Conclusão

Através dos resultados agregados na tabela 4, pode-se perceber que ao comparar a taxa de erro com a correlação entre o ouro e os demais metais, não é possível estabelecer uma relação de causa e efeito, para exemplificar pode-se verificar o metal zinco que possui uma correlação baixa de 0,6868 quando comparada a dos outros metais, este por sua vez obteve uma taxa de erro de 0,48%, enquanto a prata com correlação de 0,8796 a maior dentre as obtidas, obteve uma taxa de erro de 8,27% evidenciando a imprecisão de se comparar a correlação com o valor esperado do ativo.

Ao se atentar a taxa média de erro entre o valor predito e o valor real obtém-se 7,39% um valor próximo ao retorno médio esperado pelo mercado de 7,5% para o primeiro bimestre de 2023, tal comparativo demonstra que a aplicação do CAPM com os parâmetros do ouro representando a carteira de mercado e a taxa Selic como a taxa do ativo livre de risco, não é o mais adequado para certos metais como o Níquel, Estanho, Platina, Prata e chumbo.

As precisões das previsões obtidas nos metais como alumínio e Zinco abrem portas para explorar se estes casos são meramente concomitantes, ou se o modelo do CAPM com os parâmetros utilizadas tem um ajuste bom o suficiente para ser utilizado na indústria de vendas desses metais.



Como trabalho futuro recomenda-se comparar os resultados obtidos com metodologias recentes de aprendizado de máquina supervisionados, tais algoritmos ajustam a função até que o erro tenha sido suficientemente minimizado, erro esse que se apresentou elevado no caso do CAPM neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMARAL, H. F.; VILAÇA, C. S. I.; BARBOSA, C. F. M.; FULLY BRESSAN, V. G.

Fundos de pensão como formadores de poupança interna: uma alternativa para o financiamento da atividade econômica. Revista de Administração Contemporânea, v. 8, n. 2, Abr./Jun. 2004.

BLACK, F. **Capital market equilibrium with restricted borrowing**, Journal of Business, v. 45, p. 444-455, 1972.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. (org.). **Taxas de juros básicas: histórico.** Histórico. 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 05 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (...).** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Exec., Brasília, 03 ago. 2010. 2010a.

BRUNI, A. L. **Risco, retorno e equilíbrio: uma análise do modelo de precificação de ativos financeiros na avaliação de ações negociadas na Bovespa (1988-1996).** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 1998.

CARDOSO, Layanne Nara Parente. **Gestão dos resíduos eletroeletrônicos: uma análise sob a perspectiva de conflitos e responsabilidade compartilhada.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2022.

CE. **The european economic and social committee and the committee of the regions: Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy.** Brussels, 2015.



CE. **Directiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de janeiro de 2003**, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e eletrônicos (REEE). 2003.

CE. **Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012**, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). 2012.

COM, (2000) **Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Waste Electrical and Electronic Equipment (2000) Brussels**, 13.6.2000, COM/2000/0347 final

COSTA JR., N. C. A.; MENEZES, E. A.; LEMGRUBER, E. F. **Estimação do beta de ações através do método dos coeficientes agregados**. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro: v. 47, n. 4, p. 605-621, Out./Dez., 1993.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Feam lança estudo sobre resíduos eletroeletrônicos**. Recuperado em 24 de junho de 2013, de <<http://www.feam.br/noticias/1/614-feam-lanca-estudosobre-residuos-eletroeletronicos>>.

GOOSEY (2004) **End-of-life electronics legislation** – an industry perspective. Circuit Word, 30 (2) (2004), pp. 41-45

INVESTING. **Commodities**. 2023. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities>. Acesso em: 05 jan. 2023.

LINTNER, J. **The valuation of risk asset an the selection of risk investments in stock portfolio and capital budgets**. Review of Economics and Statistics, v. 47, n. 1, p. 13-37, 1965.

LME. **Reports by metal**. 2023. Disponível em: <https://www.lme.com/en/Market-data/Reports-and-data/Reports-by-metal>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MEIUS ENGENHARIA LTDA, 2009. **Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte.

MOSSIN, J. **Equilibrium in a asset market**. Econometria, v. 34, n. 4, p. 768-783, 1966



NEAGLE, Shane. **Ouro tem tudo para seguir em alta em 2023**. 2022. Disponível em: <https://www.lme.com/en/Market-data/Reports-and-data/Reports-by-metal>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PAIVA MARTINS TEIXEIRA, V.; FERREIRA DA CUNHA, M.; RENATA DOS SANTOS, T. **Aplicabilidade dos modelos CAPM local, CAPM local ajustado e CAPM ajustado híbrido ao mercado brasileiro**. REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - ISSN 2176-9036, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–22, 2022. DOI: 10.21680/2176-9036.2022v14n1ID21987. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/ambiente/article/view/21987>. Acesso em: 27 fev. 2023.

PARLAMENTO EUROPEU. **Proposta de directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos**. 2000. Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52000PC0347%2801%29:P T:NOT>>. Acesso em: 04 Fev. 2023.

PERLIN, Marcelo Scherer; CERETTA, Paulo Sergio. **O CAPM na Bolsa de São Paulo: um modelo condicional**. In: Congresso USP de iniciação científica em contabilidade, 4., 2004, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Feausp, 2004. v. 1, p. 2-2. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_126_813_15270.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

REIS, E. K. da S. (2021). **O USO DA LOGÍSTICA REVERSA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO LIXO ELETRÔNICO**. Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 7(8), 843–859.

ROBINSON, B. H (2009) **E-waste: an assessment of global production and environmental impacts**. Science of the Total Environment, (408), 183-191.

RODRIGUES, Angela Cassia, 2007. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. 2007. 301f. Dissertação (Mestrado). Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Santa Bárbara d’Oeste, SP.



SÃO PAULO. Prefeitura do Estado de São Paulo. **Coleta Domiciliar Seletiva**: saiba como funciona o processo de coleta domiciliar seletiva da capital. Saiba como funciona o processo de Coleta Domiciliar Seletiva da capital. 2022. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/spregula/residuos_solidos/coleta_seletiva/index.php?p=4623. Acesso em: 22 dez. 2022.

SHARPE, W. **Capital Asset Prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk**. *Journal of Finance*, v. 19, p. 425-42, Sept., 1964.

TOBIN, J. **Liquidity preference as a behavior toward risk**. *Review of Economic Studies*, p. 65-86, 1958.

TREYNOR, J. L. **Toward a theory of market value of risky assets**. 1961. No press.