

JOSÉ DAMATO NETO

**MOURÕES FEITOS DE PET RECICLADO PARA USO EM
CERCAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS MOURÕES DE MADEIRA,
MADEIRA TRATADA, AÇO E CONCRETO ARMADO**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D155m
2018

Damato Neto, José, 1985-

Mourões feitos de pet reciclado para uso em cercas em substituição aos mourões de madeira, madeira tratada, aço e concreto armado / José Damato Neto. – Viçosa, MG, 2018. xii, 65 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Paulo Geraldo Berger.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 53-60.

1. Cercas. 2. Arsênio. 3. Sustentabilidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.27

JOSÉ DAMATO NETO

**MOURÕES FEITOS DE PET RECICLADO PARA USO EM
CERCAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS MOURÕES DE MADEIRA,
MADEIRA TRATADA, AÇO E CONCRETO ARMADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de junho de 2018.

Liovando Marciano da Costa

Elaine Aparecida Fernandes
(Coorientadora)

Fillipe Tamiozzo Pereira Torres

Dimas Antônio de Souza

Paulo Geraldo Berger
(Orientador)

Ao meu coorientador e amigo, Caetano Marciano de Souza.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Jesus Cristo e a todos os Santos intercessores na minha caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste sonhado curso.

Às empresas Indústrias Romi S.A. e Extrusion Tech, pelo auxílio no dimensionamento da injetora e extrusora, respectivamente.

Ao professor, coorientador e amigo, Caetano Marciano de Souza, pela orientação, conselhos, ensinamentos, compreensão, paciência e amizade durante o Doutorado em Fitotecnia.

A professora Elaine Aparecida Fernandes, pela amizade, pela paciência, pela colaboração e pelos aconselhamentos.

Ao professor Paulo Geraldo Berger, por me aceitar no Programa de Pós-Graduação do Departamento de Fitotecnia, em nível de Doutorado, e por confiar no meu desempenho.

Aos professores Fillipe Tamiozzo Pereira Torres, Dimas Antônio de Souza e Liovando Marcino da Costa, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões para a melhoria desta tese.

Aos professores Júlio Cesar de Oliveira e Matilde de Souza por aceitarem ser suplentes dessa banca examinadora e pelas sugestões para a melhoria desta tese.

À professora Nadia Dutra de Souza, pela atenção e pelo auxílio.

A todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica.

Aos meus pais, Antônio Damato e Neunice Soares Damato, pelo apoio incondicional, pelo amor e pela criação, que serviram de base para a minha formação como ser humano.

A minha irmã, Sâmara Soares Damato, pelo apoio e pela amizade.

A minha esposa, Fernanda Bigonha Gazolla da Rocha, pelo amor sincero, incentivo e apoio, cruciais para a realização deste trabalho.

Ao meu amado filho, Pietro Bigonha Damato, fundamental nessa grande vitória. Foi minha inspiração nessa árdua caminhada.

Aos meus amigos e amigas, em especial ao engenheiro Robson Roberto Rodrigues, pela constante ajuda, amizade, pelo companheirismo, sendo este, juntamente

com o professor Caetano Marciano de Souza e a professora Elaine Aparecida Fernandes, os verdadeiros donos desta tese.

Aos amigos e colegas do curso de Fitotecnia, pela amizade, pela parceria e pelo convívio agradável durante todo o curso.

Ao meu avô, José Damato Filho (*in memoriam*) e a minha avó, Esperides Damato, pelos conselhos, pela ajuda e consideração.

A todos que, diretamente e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e que muito colaboraram para minha formação pessoal e profissional.

BIOGRAFIA

JOSÉ DAMATO NETO, filho de Antônio Damato e Neunice Soares Damato, nasceu em 25 de março de 1985, em Ubá, Minas Gerais.

Cursou os ensinos fundamental e médio em Ubá, Minas Gerais.

Em julho de 2007, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Em agosto de 2007, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado, defendendo a dissertação em 5 de julho de 2010.

Em janeiro de 2015, iniciou o curso *Lato Sensu* em Proteção de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, em nível de pós-graduação, terminando em janeiro de 2016.

Em março de 2014, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, em nível de doutorado, tendo obtido o título de *Doctor Scientiae* em Fitotecnia em 2018.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Madeira.....	3
2.2 Aço.....	10
2.3 Concreto armado.....	13
2.4 Plástico.....	16
2.4.1 Métodos de fabricação dos produtos plásticos.....	24
2.4.2 Mourões de plástico reciclado.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Análise estrutural de mourões.....	28
3.2 Análise de viabilidade econômica e financeira.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Análise estrutural de mourões.....	36
4.2 Mourões produzidos por injeção.....	36
4.3 Mourões produzidos por extrusão.....	43
4.4 Análise de viabilidade econômica e financeira.....	48
5. CONCLUSÃO.....	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
APÊNDICE.....	61
APÊNDICE A.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Processo produtivo da madeira.....	3
Figura 2 – Mourão de madeira.....	4
Figura 3 – Fluxo simplificado de produção de ferro e aço.	11
Figura 4 – Mourão de aço.	13
Figura 5 – Bloco de concreto com armadura.	14
Figura 6 – Mourão de concreto.....	15
Figura 7 – Evolução do consumo de plástico.	17
Figura 8 – Produção mundial de artigos plásticos no ano de 2013.....	18
Figura 9 – Estrutura carbônica do poliéster.	19
Figura 10 – Reação de polimerização para obtenção do PET.	19
Figura 11 – Consumo e reciclagem estimados de PET no Brasil (kt).	21
Figura 12 – Percentagem reciclada de PET no Brasil (%).	22
Figura 13 – Esquema do processo de funcionamento de uma injetora.....	25
Figura 14 – Esquema do processo de funcionamento de uma extrusora.	26
Figura 15 – Mourão de plástico.	26
Figura 16 – Carregamento típico – Imagem do SAP 2000 – Mourão submetido a uma carga transversal de 30 dN e posterior deformação devida à carga.	29

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Grau de durabilidade e sua respectiva vida útil em contato com o solo	4
Tabela 2 – Tabela Composição do preservante CCA	6
Tabela 3 – Custo, especificações técnicas e peso dos mourões de comprimento 2.200 mm de madeira tratada, aço, concreto armado e plástico reciclado para a zona da mata mineira	27
Tabela 4 – Características mecânicas do PET	30
Tabela 5 – Descrição do processo produtivo	35
Tabela 6 – Resumo dos resultados estimados pelo <i>software</i> SAP2000 para os mourões de concreto, PET maciço e núcleo oco de formatos cilíndricos	37
Tabela 7 – Massa dos mourões de madeira de 2200 mm de comprimento, diâmetros com 60, 80 e 100 mm	39
Tabela 8 – Comparação entre os mourões de PET maciço com mourões de PET com núcleo oco na espessura de parede 15 mm	43
Tabela 9 – Resumo dos resultados estimados pelo <i>software</i> SAP2000 para os mourões de concreto e PET com núcleo oco de formatos cilíndricos	45
Tabela 10 – Fluxo de caixa, VPL, TIR, <i>payback</i> , <i>payback</i> descontado e taxa de rentabilidade	50
Tabela 11 – Consolidação do VPL, TIR e Taxa de rentabilidade após 10 anos	50

RESUMO

NETO, José Damato, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2018. **Mourões feitos de pet reciclado para uso em cercas em substituição aos mourões de madeira, madeira tratada, aço e concreto armado.** Orientador: Paulo Geraldo Berger. Coorientadores: Caetano Marciano de Souza e Elaine Aparecida Fernandes.

No âmbito rural, a madeira apresenta diversos usos, destacando-se a construção de cercas utilizando-se mourões de vários comprimentos e espessuras. Em razão das espécies cultivadas apresentarem baixa durabilidade, existe a necessidade do tratamento da madeira, sendo o produto químico mais utilizado o arseniato de cobre cromatado (CCA). O arsênio, cobre e cromo geram problemas para a saúde humana. No enfoque ambiental, cromo e arsênio são elementos considerados contaminantes. Desta forma, o uso de mourões tratados são potenciais pontos de liberação destes elementos, podendo causar a contaminação do solo e da água. Sendo assim, há necessidade de buscar alternativas às madeiras tratadas. O objetivo deste trabalho foi elaborar os padrões técnicos suficientes para viabilizar a confecção de mourões feitos de PET reciclado para uso em cercas em substituição aos mourões existentes. Verificou-se também a viabilidade econômica e financeira do projeto. Foram analisados estruturalmente os mourões de concreto armado, PET reciclado sólido (maciço) e PET reciclado com núcleo oco, nas espessuras de parede de 3, 5, 10 e 15 mm, no comprimento de 2.200 mm e diâmetros nos valores de 60, 80 e 100 mm. Foi também analisado estruturalmente o mourão de concreto armado, de comprimento 2.000 mm e diâmetro 95 mm (único mourão cilíndrico que apresenta normas técnicas para confecção). Os mourões foram submetidos a uma análise estrutural utilizando o *software* SAP2000, de acordo com as especificações técnicas da NBR 7176 (Mourões de concreto armado para cercas de arame – Requisitos). Os resultados foram analisados e interpretados comparando os mourões de PET com os de concreto armado. Foram considerados válidos os modelos em PET que não colapsaram com o esforço aplicado e apresentaram desempenho mecânico igual ou superior ao da peça em concreto, ou seja, flecha igual ou menor que a peça em concreto armado. De acordo com os testes computacionais realizados no *software* SAP2000, as peças em PET não apenas resistiram (não colapsaram), como também sofreram menores deformações que as peças com as mesmas dimensões externas fabricadas em concreto armado. Assim sendo, pode-se considerar que do ponto de vista mecânico, os mourões fabricados com PET foram mais resistentes que os fabricados com concreto. Para a análise econômica e financeira foram

utilizados como indicadores o *payback* descontado (PPD), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e índice de lucratividade (IL). Observou-se que, por meio de análise determinística do projeto, ele se mostrou viável, já que todos os indicadores utilizados sugerem que a implementação do produto é rentável.

ABSTRACT

NETO, José Damato, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2018. **Recycled plastic posts used in fences as a replacement for wood, treated wood, steel, and reinforced concrete posts.** Adviser: Paulo Geraldo Berger. Co-advisers: Caetano Marciano de Souza and Elaine Aparecida Fernandes.

Wood is widely used in rural areas, especially in the construction of posts of different lengths and widths. Since the species cultivated present low durability, wood must be treated, with chromated copper arsenate (CCA) being the most common chemical preservative used. Arsenium, copper, and chromium cause problems to human health. Environmentally, chromium and arsenium are considered contaminant elements. Thus, the use of treated wood posts can potentially release these elements, causing soil and water contamination. Thus, alternatives must be sought to replace treated woods. The objective of this work was to elaborate sufficient technical standards to make viable the production of recycled plastic posts to replace the existing ones. The economic and financial viability of the project was also verified. Reinforced concrete, solid robust recycled plastic, and hollow recycled plastic posts at wall widths of 3, 5, 10, and 15 mm, length of 2.200 mm, and diameters of 60, 80, and 100 mm were structurally analyzed. The reinforced concrete post measuring 2.000 mm in length and 95 mm in width (the only cylindrical post presenting technical manufacturing norms) was also structurally analyzed. The posts were submitted to a structural analysis, using the *software* SAP2000, according to NBR 7176 technical specifications. (Reinforced concrete posts for wire fences – Requirements). The results were analyzed and interpreted by comparing the recycled plastic posts with the reinforced concrete posts. The recycled plastic models that did not collapse with the effort applied and presented mechanical performance equal or higher than that presented by the reinforced concrete post, i.e., were equal or inferior to the reinforced concrete posts, were considered valid. According with the computerized tests conducted in the *software* SAP2000, the recycled plastic posts not only resisted (did not collapse), but also underwent minor deformations compared to the reinforced concrete posts with the same external dimensions. Therefore, one can consider that, from a mechanical viewpoint, the recycled plastic posts were more resistant than those made with reinforced concrete. The following indicators discounted *payback* period (DPP), net present value (NPV), return internal rate (RIR) and profitability index (PI) were used for

the economic and financial analysis. The deterministic analysis showed that the project is viable, since all the indicators used suggest that product implementation is profitable.

1 INTRODUÇÃO

O ser humano utiliza-se da madeira, desde os primórdios, para atender seus anseios como Construção, fonte de energia, ferramentas, utensílios variados, etc.. Atualmente a madeira atende várias necessidades humanas e é utilizada desde sua forma maciça como de compensados e aglomerados.

No âmbito rural, a madeira apresenta também diversos usos, destacando-se a construção de cercas utilizando-se mourões de vários comprimentos e espessuras, sendo, entretanto, os mais comuns com 2.200 mm de comprimento e diâmetro variando entre 60 e 150 mm. Antigamente, fazia-se uso de espécies nativas que apresentavam alta resistência às intempéries na confecção dos mesmos, apresentando maior durabilidade quando enterrados no chão. A legislação vigente obrigou o homem a utilizar madeiras plantadas, que por sua vez são menos duráveis.

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* tem sido preferencialmente a opção mais utilizada para atender às mais variadas necessidades do mercado, inclusive para a construção de cercas. Este fato decorre principalmente devido seu rápido crescimento e uniformidade na estrutura. (EMBRAPA, 2018). Em razão das espécies cultivadas e do tempo de corte, os mourões de eucalipto apresentam baixa durabilidade quando comparada aos das madeiras nativas. A solução para este problema foi o tratamento químico da madeira.

Existem algumas possibilidades de tratamento químico de madeira; entretanto, a mais utilizada no Brasil faz uso do arseniato de cobre cromatado (CCA). Por meio desse tratamento há garantias de durabilidade do mourão por volta de 20 anos.

O arsênio, cobre e cromo geram problemas para a saúde humana. O cromo e arsênio são elementos considerados contaminantes, enquanto o cobre é um elemento essencial para as plantas. Desta forma, o uso de mourões tratados são potenciais pontos de liberação destes elementos, podendo causar a contaminação do solo e da água.

Sendo assim, há necessidade de buscar alternativas às madeiras tratadas. Algumas tentativas de substituição dos mourões de madeira basicamente são a utilização de mourões de concreto armado, metal (aço) e de plástico. Os mourões de concreto armado apresentam alguns problemas como peso elevado, baixa resistência a impactos laterais devido sua baixa resistência à flexão, custo elevado, etc. Os mourões de aço, por seu turno, apresentam custo elevado. Outra possibilidade seria a utilização de mourões de plásticos e, mais especificamente provenientes da reciclagem do PET. Diferentemente

dos mourões de madeira e de aço, os mourões de concreto armado apresentam normatização técnica para sua produção (NBR 7176).

Se, por um lado, o uso de mourões de madeira tratada potencialmente causa danos ambientais, a utilização do PET na confecção de mourões atua em sentido inverso pois auxiliará na diminuição da poluição visual decorrente do descarte desse material. Além disso, na sua composição química consta somente os elementos carbono, oxigênio e hidrogênio, portanto, sem a presença de contaminantes, principalmente do arsênio e cromo, como no caso dos mourões de madeira tratados. Ressalta-se que a cadeia produtiva do mourão de eucalipto tratado é socialmente menos positiva do que seria a produção de mourões de PET reciclado além de que, no âmbito econômico, pode-se criar a alternativa de um novo investimento para atendimento do mercado local, com a criação de indústrias, para este fim, em várias cidades.

Assim, o objetivo deste trabalho foi elaborar os padrões técnicos suficientes para viabilizar a confecção de mourões feitos de PET reciclado para uso em cercas em substituição aos mourões de madeira, madeira tratada, aço e concreto armado. Foi feito também a análise de viabilidade econômica e financeira do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Madeira

Desde os primórdios da civilização, a madeira tem sido um material fundamental à existência do ser humano, seja na habitação, nas construções em geral, no mobiliário ou em outros setores. A madeira, embora seja considerada renovável, é um recurso finito, e requer, para que sua produção seja garantida, uma utilização racional.

O processo produtivo da madeira se divide em diversas fases (Figura 1). As mudas provêm, na maioria das vezes, de propagação assexuada e assim que prontas, são plantadas e conduzidas em campo. Quando a floresta atinge a maturação existe a seleção, corte e transporte da madeira. Esse produto pode ser comercializado nessa forma ou tratado quimicamente, produzindo como exemplo, os mourões tratados. Após a colheita da floresta madura podem ocorrer resíduos florestais. Os mesmos podem ser utilizados para a produção de carvão em fornos de carvoejamento, maravalha ou madeira em metro.

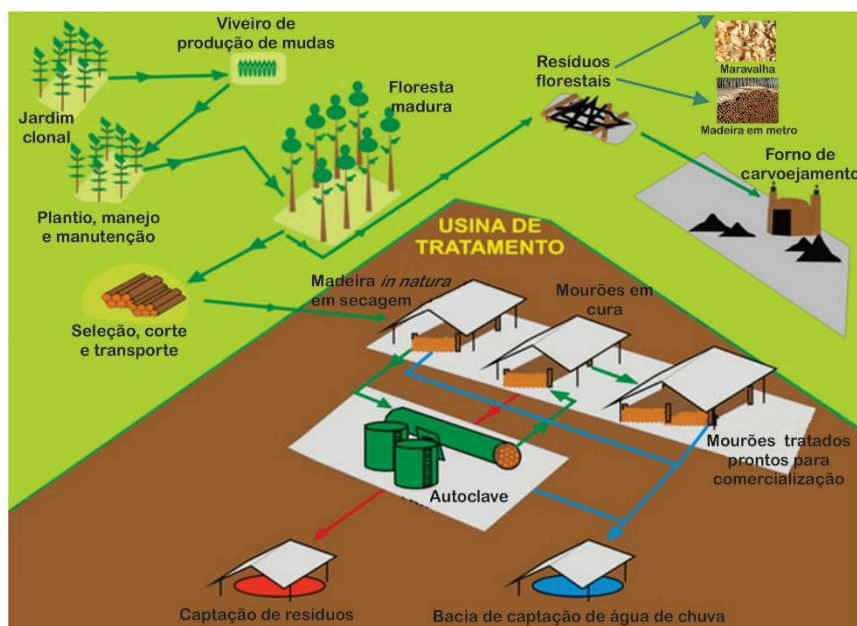


Figura 1 – Processo produtivo da madeira.

Fonte: adaptada de Capivari Madeiras (2018).

Os principais produtos de madeira são mourões (Figura 2), estacas, postes, dormentes e peças roliças e serradas. Todos esses produtos apresentam inúmeros usos, vantagens e potencialidades de maior consumo, principalmente no setor rural.



Figura 2 – Mourão de madeira.

Fonte: Sudoeste Paulista Madeiras (2018).

Algumas espécies de madeiras são conhecidas popularmente pela sua elevada durabilidade natural, conhecidas popularmente como madeiras de lei. Talvez esse tenha sido o grande motivo da escassez de algumas dessas espécies e conseqüentemente uma legislação atual para o corte mais rigoroso.

Considerando a madeira em contato direto com o solo, sua durabilidade normalmente é classificada em função do tempo em que permanece em condições de uso, resistindo a ação dos agentes deterioradores. A classificação mais comum é ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Grau de durabilidade e sua respectiva vida útil em contato com o solo

Grau de Durabilidade	Vida Útil em Contato com o Solo (anos)
Muito durável	25
Durável	15-20
Moderadamente durável	10-15
Não durável	5-10
Perecível	Até 5

Fonte: Santini (1988).

Segundo Santini (1988), as madeiras brasileiras apresentam grande variação na durabilidade natural, existindo madeiras com resistência baixíssima até madeiras altamente resistentes a organismos xilófagos (organismos que se alimentam de madeira). Mourões de eucalipto e pinus, sem tratamento preservante apresentam durabilidade natural de 2 a 4 anos (FREITAS, 1976; SANTIAGO; GALETI, 1982), sendo classificados como madeiras perecíveis. Entretanto, maior ou menor durabilidade natural vai depender da espécie e da idade da madeira (em função da quantidade de cerne formado, por exemplo).

Resistir ao longo do tempo pressupõe o controle de um processo natural ao qual a madeira está sujeita que é a biodeterioração. Segundo Santini (1988) e Lelis et al. (2001), a biodeterioração está intimamente associada às condições externas impostas pelo meio físico e ocorre gradualmente, fazendo com que o material se decomponha pela atividade de agentes biológicos, como macro e microrganismos que a utilizam como fonte de energia (HAYGREEN; BOWYER, 1985; UNGER, 2001; LUNZ; CARVALHO, 2002). Evidentemente, os fatores inerentes à madeira são também importantes no processo da biodeterioração o que faz com que madeiras de diferentes espécies e, ou, idades tenham maior ou menor resistência ao processo. Assim, para madeiras de baixa durabilidade natural, torna-se requisito importante (necessário) o tratamento da madeira, para aumentar sua durabilidade.

Madeiras de eucalipto tratadas com CCA a serem utilizadas em contato com o solo (postes, estacas e mourões) têm, em média, garantia de 15 anos de durabilidade oferecida pelas empresas de preservação em autoclaves (UNIÃO MADEIRAS, 2018), enquanto as indústrias químicas, fabricantes dos produtos preservativos, a exemplo da Montana Química S.A., sediada em São Paulo, SP, fabricante do produto Osmose K33C, indicam que essa durabilidade pode alcançar de 20 a 30 anos em serviço (MONTANA QUÍMICA S.A., 2011).

A durabilidade da madeira preservada é influenciada pela qualidade do preservativo, pelo processo utilizado para o tratamento, pelas características anatômicas da madeira, pela presença de substâncias recalcitrantes na madeira (como a lignina) e pelas condições ambientais as quais a peça tratada está exposta (GJOVIK; BAECHLER, 1977; GALVÃO; JANKOWSKY, 1986; APRILE et al., 1999).

Segundo Silva (2006), o tratamento comumente utilizado é o químico, no qual ocorre a fixação de elementos preservativos na madeira, tornando-a mais resistente à ação de fungos e insetos (brocas e cupins), principalmente se a madeira ficar em contato direto

com a água ou com o solo. O tratamento da parte interna da madeira consiste na troca da seiva (madeira verde) por solução que contém elementos preservativos. Após a secagem, os elementos conservantes ficarão retidos dentro da madeira.

Ainda para o mesmo autor, o arseniato de cobre cromatado (CCA), também chamado de Celcure, é o preservativo hidrossolúvel mais utilizado em todo o mundo. Ele pode ser expresso por uma mistura de óxidos como se observa na Tabela 2 (FERRARINI, 2012).

Tabela 2 – Tabela composição do preservante CCA

Composto	Fórmula Química	Concentração % (m/m)
Trióxido de cromo	CrO_3	34,2
Óxido cúprico	CuO	13,3
Pentóxido de Arsênio	As_2O_5	24,5
Água ou inertes	H_2O	28,0

Fonte: adaptada de Ferrarini (2012).

Basicamente, o arsênio é o agente inseticida, o cobre, fungicida, e o cromo, o elemento fixador. É considerado o produto mais efetivo para o tratamento a vácuo e pressão, pois não altera a condutividade elétrica e a combustibilidade da madeira, conservando assim suas características naturais, não aumenta a corrosividade, não deixa resíduos em sua superfície e favorece a durabilidade de acabamentos (SILVA, 2006). Entretanto, a combustão provoca a liberação de gases venenosos. A norma brasileira NBR 10004 (2004) determina o uso do CCA como Classe 1 (perigosos) no que se refere à lixiviação (liberação de elementos), mas não especifica a classificação quanto à volatilização. Isto deveria ser considerado, já que em condições de incêndio há grande liberação de fumos.

O CCA tem sido utilizado amplamente no mundo inteiro desde a sua descoberta, em 1933, pelo cientista indiano Sonti Kamesan. Os componentes presentes, principalmente, arsênio e cromo, são elementos com alta toxicidade e, em vários países, há restrições quanto à sua utilização.

Essas restrições possuem como base a perda dos componentes do CCA ao longo do tempo por lixiviação ou volatilização, acarretando riscos de contaminação ao ser humano e ao ambiente. Além dos problemas ambientais e ocupacionais relacionados à produção e utilização da madeira tratada com CCA.

Segundo a norma ABNT NBR 9480 (ABNT, 2009), a retenção mínima de ingredientes ativos de CCA deve ser de 6,5 kg de $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de madeira em peças em contato com o solo e a penetração deve ocorrer em todo o alburno.

De acordo com Geraldo (2008), não existem estatísticas oficiais do setor que apontam o número de mourões produzidos, estimando-se uma média anual de 40 milhões de unidades. Esse mercado evoluiu consideravelmente, pois promoveu uma substituição gradativa de madeiras nativas por madeira de plantios de rápido crescimento.

Para se ter uma ideia da envergadura deste uso pode-se exemplificar imaginando que, se a cada 1 km de cerca convencional usam-se aproximadamente 500 mourões e que sendo a circunferência da Terra de 40 mil km, a quantidade de mourões produzida anualmente seria suficiente para fazer duas cercas, paralelas uma a outra, todos os anos, dando uma volta ao redor do planeta.

Segundo Jambeck et al. (2007), estima-se que no ano de 2008, 9,7 milhões de metros cúbicos de madeira foram tratados com CCA, estendendo assim o volume de madeiras tratadas ainda em serviço, com durabilidade estimada entre 10 e 40 anos. Tendo como base a NBR 9480, que indica que a retenção mínima de ingrediente ativo deve ser $6,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de madeira, só no ano de 2008 houve o uso de, no mínimo 63,05 milhões de quilos de ingrediente ativo.

Apesar do alto consumo desse preservativo, ele já foi proibido em diversos países como Japão, Indonésia, Suécia e Dinamarca, pois é considerado extremamente tóxico (classe I) (SILVA et al., 2011). Essas restrições têm como base a perda dos componentes do CCA ao longo do tempo, por lixiviação ou volatilização, e que poderiam trazer riscos de contaminação do ser humano e do ambiente (JANKOWSKY et al., 2002).

Alguns trabalhos de investigação têm demonstrado que o cobre e o arsênio são os componentes mais translocados da madeira tratada com CCA, e que a lixiviação é mais acentuada em solos úmidos do que em solos secos. Os fatores que influenciam a quantidade de componentes translocados da madeira tratada dependem do grau de absorção e distribuição do preservativo, concentração na madeira, permeabilidade da madeira e parâmetros tecnológicos do processo de impregnação. Adicionalmente, o meio a que a madeira estará exposta quando em serviço (temperatura, pluviosidade, tipo de solo, entre outros fatores) também irá afetar a taxa e a intensidade da translocação dos componentes do CCA (JANKOWSKY et al., 2002).

Até o presente momento, são poucas as informações que permitam estabelecer, com precisão, a intensidade da lixiviação e o conseqüente risco de contaminação ambiental e do ser humano através do arseniato de cobre cromatado.

A dinâmica dos metais no solo é governada por uma série de reações químicas que ajudam a determinar os riscos ambientais a eles associados. As principais preocupações em relação à adição de metais aos solos são: entrada na cadeia alimentar, redução da produtividade agrícola devido a efeitos fitotóxicos, acúmulo no solo, alteração da atividade microbiana e contaminação de recursos hídricos (PIRES; ANDRADE, 2006).

A Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12 de abril de 2016, republicada em 02 de maio de 2016) indica que a adição máxima de arsênio em miligrama por quilograma (mg/kg) na massa total do fertilizante para fertilizantes minerais mistos e complexos com garantia de macronutrientes primários e micronutrientes é 250 mg/kg, analisando o Anexo I e a Coluna C; e a adição máxima de arsênio em miligrama por quilograma (mg/kg) na massa total do fertilizante para os fertilizantes minerais com nitrogênio, potássio, macronutrientes secundários, para os com até 5 % de P₂O₅ é de 10 mg/kg, analisando o Anexo II. Em relação à adição máxima de cromo em miligrama por quilograma (mg/kg) por ponto percentual (%) de P₂O₅ e por ponto percentual da somatória de micronutrientes (%) é de 40 mg/kg, analisando o Anexo I e a Coluna A; e a adição máxima de cromo em miligrama por quilograma (mg/kg) na massa total do fertilizante para os fertilizantes minerais com nitrogênio, potássio, macronutrientes secundários, para os com até 5 % de P₂O₅ é de 200 mg/kg, analisando o Anexo II (BRASIL, 2006).

Suponha um plantio de milho usando 300 kg de formulação NPK 8-28-16 no plantio e 300 kg de formulação NK 20-00-10 em cobertura. Considerando que a adição máxima de arsênio seja 250 mg/kg de adubo no plantio e 10 mg/kg de adubo na cobertura, pode ocorrer a adição máxima de 0,075 kg de arsênio/ha no plantio e uma adição máxima de 0,003 kg de arsênio/ha na cobertura, ou seja, uma adição total de aproximadamente 0,078 kg de arsênio/ha. Em relação ao cromo, considerando que sua adição máxima seja 40 mg por ponto percentual de P₂O₅/kg de adubo no plantio e 200 mg/kg de adubo na cobertura, pode ocorrer a adição máxima de 0,336 kg de cromo/ha no plantio e uma adição máxima de 0,06 kg de cromo/ha na cobertura, ou seja, uma adição total de aproximadamente 0,40 kg de cromo/ha.

O cercamento de 1 ha usando madeira tratada representa o cercamento de 400 metros o que significa 200 mourões, indicando em valores médios 3,45 m³ de madeira, considerando mourão de 2200 mm de comprimento e diâmetro de 100 mm de madeira tratada. Isso representa o uso de 3,58 kg de arsênio/ha e 3,99 kg de cromo/ha, considerando a existência de 24,5% de pentóxido de arsênio e 34,2% de trióxido de cromo no CCA.

Assim percebe-se que o uso de mourões nessa área de 1 ha pode incorporar ao solo mais arsênio e cromo do que o máximo permitido nos fertilizantes, representando aproximadamente 46 vezes e 10 vezes mais, respectivamente.

Os efeitos à saúde humana relacionados ao CCA são relativos principalmente àqueles provocados por compostos inorgânicos com arsênio em sua composição: náuseas, dores de cabeça, diarreia, dores e desconfortos abdominais, salivação intensa, febre, irritação das vias respiratórias superiores. Os efeitos são progressivos e a longo prazo podem afetar o fígado e provocar queda de cabelos e unhas, anemia e dermatites. Quanto aos efeitos crônicos, estudos em laboratório mostram que a exposição pode provocar defeitos genéticos e ainda pode ser associada ao desenvolvimento de tumores em pessoas que entraram em contato com o arsênio através de água ou ar contaminado. (THOMASSON et al., 2006). Katz e Salem (2005) também citam alguns estudos que mostram acréscimo na taxa de mortalidade por câncer entre carpinteiros expostos à madeira tratada com CCA devido ao excessivo aumento nos casos de câncer de pulmão e leucemia.

O excesso de cobre solúvel no organismo (hipercupremia) pode ser tóxico devido à afinidade do cobre com grupos SH de muitas proteínas e enzimas, causando doenças como epilepsia, melanoma, artrite reumatóide, bem como a perda do paladar (SARGENTELLI et al., 1996).

O excesso de cromo é tóxico e no caso particular do cromo (VI), presente no tratamento da madeira, pode ser mutagênico a nível celular, com o cromo podendo reagir com o DNA, induzindo erros *de leitura* durante a duplicação da cadeia nucleotídica do ácido nucleico (CORTECCI, 2003).

Outro fator preocupante tanto com relação à saúde quanto ao ambiente diz respeito à eliminação de resíduos tratados com o produto, já que o aproveitamento do resíduo orgânico da madeira tratada não se mostra viável pelo risco de contaminação.

As indústrias que geram resíduos de madeira tratada com CCA devem encaminhar os mesmos para aterros industriais, porém, parte destes resíduos (constituídos

principalmente por postes, moirões, decks) ainda são descartados de forma inadequada, sem rastreabilidade. As empresas que tratam madeiras com preservativos orientam para que a madeira tratada não seja queimada em churrasqueiras, lareiras, fornos de comida ou aquecedores residenciais. Quando queimada, a madeira tratada pode desprender produtos tóxicos como o arsênio, que não queima e se prende a fumaça e as cinzas. Apesar dessas orientações há relatos de mal-estar, internações e óbitos de pessoas após exposição à fumaça da queima dessa madeira (SOLO-GABRIELE; TOWNSEND, 1999; SILVA, 2006; SIMÕES, 2008; CRQ 13ª Região, 2012; CARRER, 2013; OHGAMI et al., 2015).

2.2 Aço

O primeiro contato do homem com o ferro ocorreu quando meteoritos caíram sobre a Terra, sendo esta a origem da etimologia da palavra *siderurgia*, que vem do latim *sidus*, que significa estrela ou astro (JACOMINO et al., 2002). Os artefatos de ferro mais antigos de que se tem notícia são dois objetos encontrados no Egito, um na Grande Pirâmide de Gizé, construída por volta de 2900 AC. e outro encontrado na tumba de Abidos, construída por volta de 2600 AC (MALLARD, 2009).

Inicialmente, a redução do óxido de ferro ocorria por acaso, uma vez que as pedras utilizadas para contornar as fogueiras mudavam de propriedade à medida que eram aquecidas. Basicamente, o minério de ferro das pedras com o carbono da madeira e o calor da queima da madeira com ar reduziam os óxidos de ferro, produzindo ferro metálico de baixo teor de carbono, em função da baixa temperatura de processamento. Dessa forma, o primeiro metal produzido foi o aço, com até 2% de carbono, e não o ferro gusa que possui em torno de 4% de carbono (JACOMINO et al., 2002).

O aço tem como principal matéria-prima o minério de ferro e seu processo produtivo se divide basicamente em quatro fases: preparação da carga, redução, refino e laminação. Antes de serem levados ao alto forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhorar o rendimento e a economia do processo. O minério é preparado em pelotas e o carvão é destilado, para obtenção do coque, dele obtendo ainda subprodutos carboquímicos. No processo de redução, o ferro se liquefaz, e é chamado de ferro-gusa, ou ferro de primeira fusão. Impurezas como óxido de cálcio e sílica formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento. A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro-gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante a queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz

em fornos. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semiacabados, lingotes e blocos. Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos, que serão utilizados pela indústria de transformação como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc. (CARDOSO, 2007). A Figura 3 ilustra, resumidamente, o fluxo de produção de uma siderúrgica.

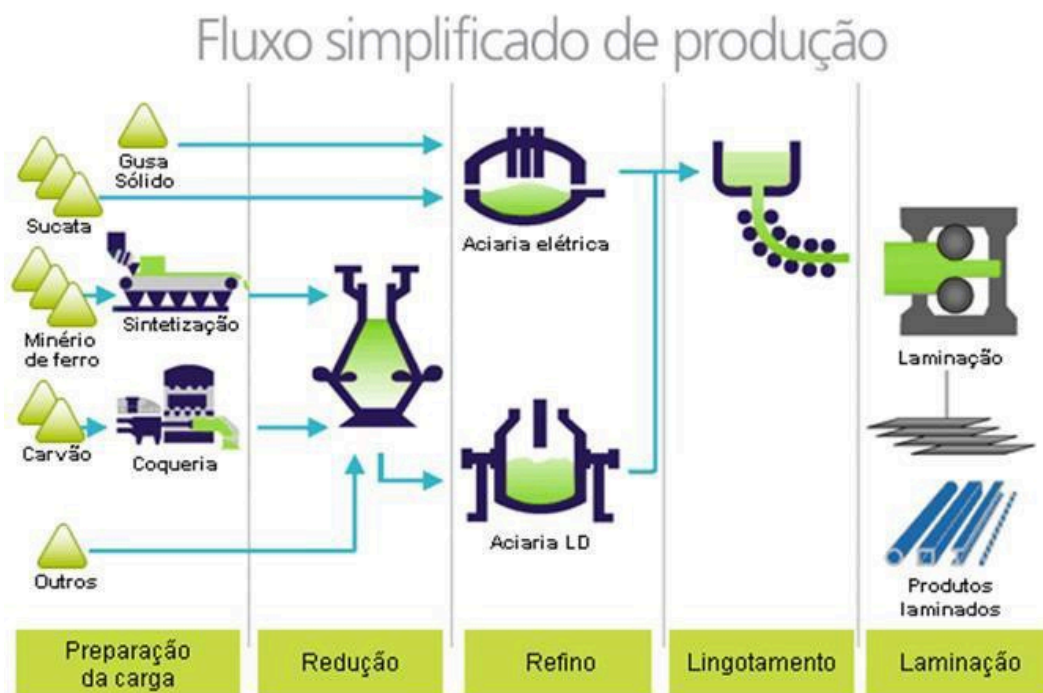


Figura 3 – Fluxo simplificado de produção de ferro e aço.

Fonte: Cardoso (2007).

Em 2014, o parque produtor de aço brasileiro, composto de 29 usinas, tinha capacidade instalada de 48,9 milhões de toneladas anuais de aço bruto, apresentando, a exemplo da indústria mundial, sobre capacidade de oferta, com uma produção de 33,9 milhões de toneladas no mesmo ano (IABR, 2016).

Como o aço tem a vantagem de ser totalmente reciclável, após retorno em forma de sucata metálica por meio da logística reversa é processado e transformado em matéria-prima para fabricação do aço. A logística reversa da sucata metálica gera um novo sistema produtivo por meio das empresas especializadas em coleta, preparação e negociação de sucata metálica de ferro e aço oriunda do pós-consumo. Misturada com a sucata metálica gerada na própria usina, passando por processo siderúrgico, a sucata metálica se

transforma em aço. Esse processo substitui o consumo de minério de ferro e reduz o uso do carvão (MINOVES et al., 2015).

A indústria siderúrgica por sua vez é grande consumidora de energia e de materiais e, como tal, também responsável por considerável volume de efluentes, dada a grande quantidade de reações físico-químicas envolvidas nas diversas etapas do processo de fabricação do aço. Assim, para a transformação do minério de ferro em produto laminado de aço, passando pelas etapas de coqueificação, sinterização, redução e refino, são produzidos grandes volumes de emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. A partir da década de 1980, por pressão da sociedade e da legislação pertinente, a indústria tem-se tornado mais eficiente e sustentável, por meio da reciclagem de produtos e subprodutos, que promoveram a redução do consumo específico de energia (CARVALHO et al., 2015).

As siderúrgicas emitem diferentes gases para a atmosfera assim como óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes reagem com a umidade presente no ar e constituindo assim a chamada “chuva ácida”. As siderúrgicas, no processo de fabricação do aço liberam efluentes líquidos. Esses efluentes podem conter hidrocarbonetos, cobre, níquel, chumbo, amônia e outros elementos químicos (JATOBÁ, 2013).

São diversos os produtos formados pelo o aço, destacando as chapas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc. Seu uso pode ser desde a construção civil, até em uso com produtos específicos, como mourões.

O mourão de aço (Figura 4) apresenta resistência ao impacto e à ação do tempo. Apresenta como vantagens a facilidade de transportar e fincar no chão, não pegar fogo, não atrair pragas e patógenos, padronizado e uniforme. Reduz o risco de perda de animais por queda de raios, pois aterra diretamente os raios que caem sobre as cercas. Ele apresenta peso baixo, um exemplo seria um mourão de 2,2 m de comprimento e bitola $1\frac{1}{2} \times 1/8$ ” (38,1 x 3,175 mm) da Gerdau, tem peso de 4,62 kg (Figura 4) (GERDAU, 2018). O preço desse mourão é relativamente alto, tornando uma desvantagem comparado aos outros possíveis produtos a serem utilizados (concreto armado, madeira e plástico).



Figura 4 – Mourão de aço.

Fonte: Agroquímica (2018).

2.3 Concreto armado

O concreto consiste em um material capaz de ser moldado de maneira a adquirir a forma desejada antes que desenvolva o endurecimento, adquirindo resistência com o intuito de suportar aos esforços que o solicitam. Ele é um material obtido pela ligação do cimento com brita, areia e água.

Em 2014, o mercado mundial consumiu 4,1 bilhões de toneladas de concreto e 86% desse volume esteve concentrado em 20 países, entre os quais o Brasil, sendo este o quarto maior consumidor (GLOBAL, 2015).

Segundo Botelho e Marchetti (2013), o concreto resiste em média dez vezes mais a compressão do que à tração e que foi a partir daí que se teve a ideia de utilizar um material com alta resistência à tração, disposto convenientemente, a fim de resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, que pode ser auxiliado também por barras de aço (Figura 5).



Figura 5 – Bloco de concreto com armadura.

Fonte: elaborada pelo autor.

Atribui-se a descoberta do concreto armado a Joseph-Louis Lambot, um agricultor francês, que em 1849 realizou a construção da primeira estrutura de concreto armado: um barco. O projeto não teve grande repercussão, mas chamou a atenção de Joseph Monier, que vislumbrou a possibilidade de substituir os vasos de plantas ornamentais que até então produzia em madeira, produto que apodrecia ou cerâmica, quebrava com facilidade. Com o sucesso obtido, iniciou a produção de vários artefatos e estruturas de concreto armado, registrando várias patentes de cimento armados com ferro: de vasos de cimento para horticultura e jardinagem (1867), de tubos e tanques (1868), de painéis decorativos para fachadas de edifícios (1869), de reservatórios de água (1872), de construção de pontes e passarelas (1873 e 1875) e de vigas de concreto armado (1878). A primeira ponte de concreto armado foi construída por Monier em 1875, no castelo Chazelet. Em 1886, o engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss (1851-1917) comprou as patentes de Monier para desenvolvê-las. Em 1902, foi erguido o primeiro prédio comercial de grande altura (64 metros), o Ingalls Building em Ohio, Estados Unidos. A construção gerou polêmica na época, devido aos comentários de que o edifício poderia não resistir às ações do vento e a retração do concreto. Hoje se sabe que a alcalinidade do cimento hidratado protege o aço contra a corrosão, que a aderência do aço e do concreto é boa (melhor ainda nas barras com nervuras) e que o concreto e o aço têm o mesmo coeficiente de dilatação (e de contração) térmica (GORETTI, 2013).

Atualmente, é difícil imaginar a realização de grandes obras sem a utilização de estruturas de concreto armado. Ele está presente em quase todo tipo de construção, como em residências, rodovias, pontes, edifícios, mourões, dentre outros.

Mourões de concreto armado (Figura 6), chamados simplesmente de mourões de concreto, são peças pré-moldadas utilizadas na confecção de cercas, formadas basicamente de concreto e aço. Eles apresentam várias vantagens na sua utilização dentre elas a padronização do material, durabilidade, resistência mecânica, ao fogo, às influências atmosféricas e aos patógenos. Como desvantagem cita-se principalmente o peso, o custo e a baixa resistência a impactos laterais devido sua baixa resistência à flexão.



Figura 6 – Mourão de concreto.

Fonte: Construtora CMARC (2018).

As características do concreto são influenciadas por diversos fatores, dentre esses destacam-se: tipo e quantidade de cimento; qualidade da água e relação água-cimento; tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento; presença de aditivos e adições; procedimento e duração da mistura; condições e duração de transporte e de lançamento; condições de adensamento e de cura; forma e dimensões dos corpos de prova; tipo e duração do carregamento; idade do concreto; umidade; e temperatura, etc.

Para utilização do mourão de concreto armado no Brasil há uma norma técnica específica. A ABNT NBR 7176 – Mourões de concreto armado para cercas de arame – Requisitos.

Um dos principais constituintes do mourão de concreto é o cimento. A produção desse material gera impactos no ambiente e na saúde humana.

As plantas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, dos quais se destacam dioxinas e metais tóxicos, como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo; produtos de combustão incompleta e os ácidos halogenados. Os metais pesados contidos nas matérias-primas e combustíveis, mesmo em concentrações muito pequenas, devido à sua volatilidade e ao comportamento físico-químico de seus compostos, podem ser emitidos na forma de particulado ou de vapor, pelas chaminés das fábricas (USA, 1991; USEPA, 1996, apud SANTI; SEVÁ FILHO, 2004, p. 7).

A exposição de trabalhadores a material particulado na indústria de produção de cimento é potencialmente uma das mais preocupantes em função do fato de trabalharem com material sólido, onde a possibilidade de geração de poeiras é elevada, expondo o trabalhador a riscos (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2012).

2.4 Plástico

Plástico tem seu nome originário do grego *plastikos* que significa – capaz de ser moldado. É um material que pode ser resultante do processamento de materiais de origem natural ou sintética, obtido a partir dos derivados de petróleo ou de fontes renováveis como a cana-de-açúcar, o milho, etc. Entretanto, a maioria dos plásticos existentes no mercado tem sua origem na indústria petroquímica, que transforma a nafta em vários derivados, que por sua vez podem ser polimerizados em resinas (polietileno, polipropileno, poliestireno, policloreto de vinila, tereftalato de polietileno, copolímero de etileno, acetato de vinila, etc.), sendo estas utilizadas no processo de produção de plásticos (ABIPLAST, 2017).

A história do plástico começou por volta de 1860 quando o inglês Alexander Parkers iniciou seus estudos com o nitrato de celulose, um tipo de resina que ganhou o nome de *Parkesina*. Em 1862, o americano John Wesley Hyatt (1837-1920) soube de um concurso em Albany, no estado de Nova York (EUA), lançado pela empresa Phelan & Collander, que produzia bolas de bilhar. Quem fosse capaz de desenvolver um material que pudesse substituir o marfim, que estava ficando raro, na fabricação das bolas de bilhar, ganharia dez mil dólares. A partir disso, Hyatt começou a pesquisa do marfim artificial ou qualquer novo material que pudesse satisfazer as expectativas da empresa. Hyatt obteve sucesso em 1870, desenvolvendo a primeira matéria plástica artificial. O

terceiro e mais importante homem que participou na descoberta e consolidação do plástico foi Leo Hendrik Baekeland, o criador da baquelita, primeira resina totalmente sintética, em 1909. Em 1920, Hermann Staudinger iniciou seus estudos teóricos de estrutura e propriedade dos polímeros naturais e sintéticos. Staudinger mostrou que os polímeros são constituídos de moléculas em forma de longas cadeias formadas a partir de moléculas menores, por meio da polimerização. Por volta do ano de 1930 nasceu o poliestireno, um tipo de resina. Mas, sua produção comercial só foi iniciada em 1936, na Alemanha. Em 1949, foi inaugurada a primeira fábrica de poliestireno, a Bakol S.A., em São Paulo (JACQUES, 2011).

A partir da segunda guerra mundial ocorreu forte crescimento do uso do plástico resultantes da evolução de suas aplicações que resultaram para a sociedade mais comodidade e praticidade. O auge do desenvolvimento da indústria petroquímica, e consequentemente da indústria de transformados plásticos, ocorreu nos períodos entre guerras e no 2º pós-guerra, quando Alemanha e EUA lideraram o progresso tecnológico e a descoberta de novos produtos petroquímicos e artigos plásticos, que foram difundidos pelo mundo (Figura 7). Assim, foram desenvolvidos produtos comerciais importantes, como a fibra de nylon e as fibras de PET para confecção de tecidos bem como janelas de avião a partir do acrílico (ABIPLAST, 2014).

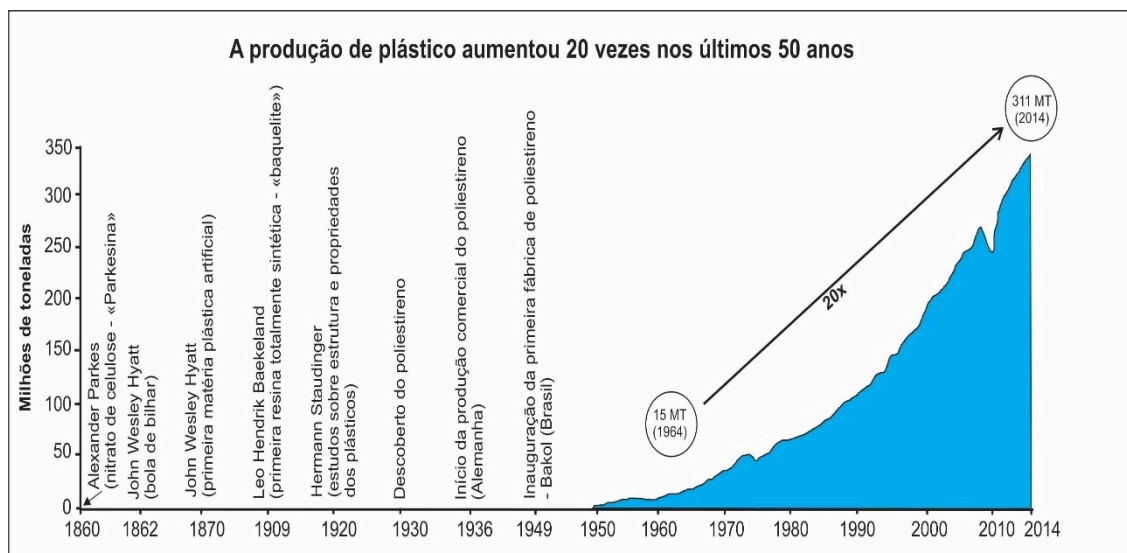


Figura 7 – Evolução do consumo de plástico.

Fonte: adaptada de Marques (2017).

Atualmente, a China ganhou posição de destaque na produção mundial de artigos plásticos, representando 23,9% da produção mundial do setor no ano de 2013, seguida

por União Europeia (com 20,4% de participação) e o bloco econômico NAFTA (composto por EUA, Canadá e México, com 19,9%). O Brasil está ganhando espaço em termos mundiais, porém a participação ainda é pequena em relação à dimensão do país, com apenas 2,0% no volume produzido mundialmente. O consumo per capita de plástico no país em 2013 foi de 33,9 kg/habitante, enquanto a média mundial é de 40 kg/habitante (Figura 8) (ABIPLAST, 2013).

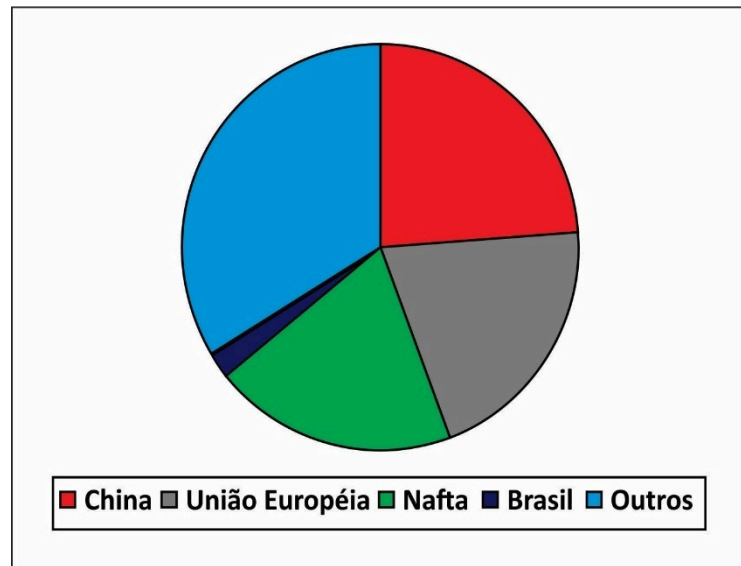


Figura 8 – Produção mundial de artigos plásticos no ano de 2013.

Fonte: adaptada de ABIPLAST (2013).

A popularização dos plásticos se deve, basicamente, ao seu baixo custo de produção, peso reduzido, resistência elevada e à possibilidade de seu uso na fabricação de peças, nas mais variadas formas, tamanhos e cores. Eles fazem parte da família dos polímeros que são formados por macromoléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou mais unidades químicas simples, os monômeros, sendo unidas entre si por reações químicas chamadas de reações de polimerização.

Os plásticos são divididos em duas categorias: os termofixos/termorrígidos e os termoplásticos. Os primeiros são aqueles que não derretem quando aquecidos, o que impossibilita a sua reutilização por meio dos processos convencionais de reciclagem. Em alguns casos, estes materiais podem ser reciclados parcialmente por meio de moagem prévia e incorporação no material virgem em pequenas quantidades, como ocorre com os elastômeros (borracha) (RECICLOTECA, 2017).

Já os termoplásticos são compostos de longos fios lineares ou ramificados. A vantagem deste material está na remoldagem, pois estes plásticos podem ser reciclados várias vezes (SOUZA, 2017).

Um dos principais plásticos descartáveis é o Polietileno Tereftalato (PET) ($C_{10}H_8O_4$)_n – um poliéster, polímero termoplástico, formado pelo ácido tereftálico e o etileno glicol (Figuras 9 e 10). Possui uma densidade de 1,3 g.cm⁻³ (20°C) e um ponto de fusão e deformação entre 110 e 115 °C (RESO AMBIENTAL, 2015).

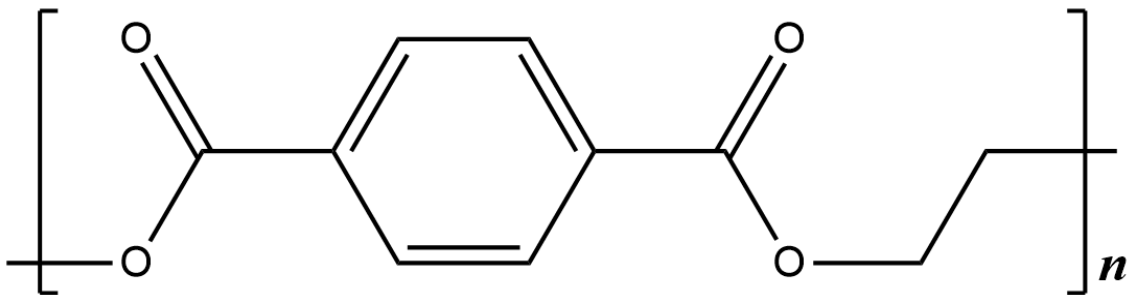


Figura 9 – Estrutura carbônica do poliéster.

Fonte: DAMEC (2018).

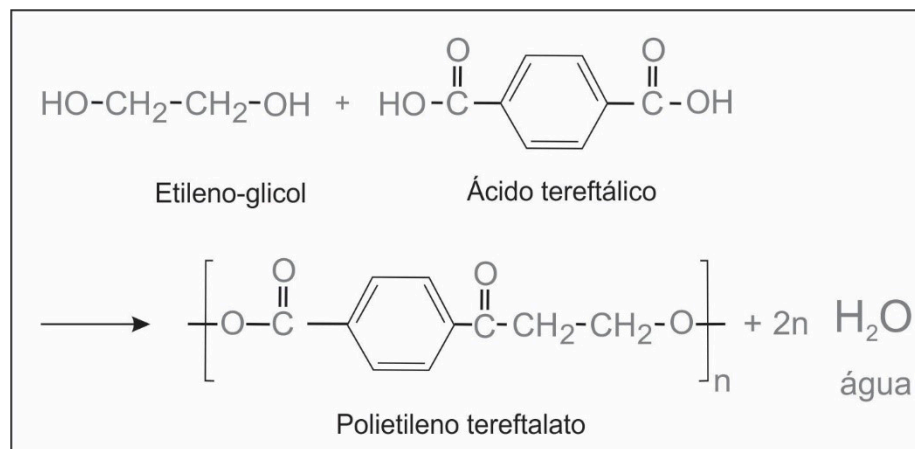


Figura 10 – Reação de polimerização para obtenção do PET.

Fonte: Alunos Online (2018).

De acordo com Souza (2017), o PET por ser um termoplástico, possui propriedade de ser “reprocessado” várias vezes e assim ser aplicado em diversos segmento. Como uma amostra de sua flexibilidade e resistência mecânica, em 1962 passou a ser utilizado em indústrias de pneus. Após vários testes de higiene e segurança, em 1970 começaram a produzir as primeiras garrafas PET na Europa, chegando a novidade aqui no Brasil em 1988 (ABIPET, 2017).

No Brasil, a principal aplicação do PET é na indústria de embalagens. Ele é preferido pelas indústrias porque é o melhor e mais resistente plástico para fabricação de garrafas, frascos e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, cervejas, entre vários outros. Além disso, apresenta alta resistência mecânica e química, sendo assim apresenta capacidade da superfície se manter inalterada quando em contato com substâncias e produtos químicos, como também excelente barreira para gases e odores, é inerte, inquebrável e seguro, 100% reciclável, leve e resistente. Dessa forma, suporta diversos produtos com segurança e higiene (ABIPET, 2017). O fato do PET ser um produto 100% reciclável propicia seu uso total como matéria-prima para a confecção de novos produtos.

O PET é composto por polímeros não biodegradáveis, ocasionando problemas na sua persistência no ambiente. Como se sabe, a degradação do resíduo plástico abandonado é extremamente lenta, podendo levar décadas ou mesmo séculos. Essa característica é fundamental para a produção de reciclados de PET, propiciando a construção de um material de grande durabilidade.

De acordo com a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (IPEA, 2011), a reciclagem é uma das ações prioritárias do princípio da hierarquia na gestão de resíduos, sendo descrita como um processo de transformação dos resíduos envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação destes em insumos ou novos produtos. Zikmund e Stanton (1971) ressaltam que “reciclagem consiste em encontrar novas formas de uso para o material previamente descartado”. A reciclagem do PET além de colaborar com a preservação ambiental colabora também para o desenvolvimento sustentável, pois permite benefícios sociais, econômicos e ambientais, visto que são os três pilares para o desenvolvimento sustentável.

No que se referem aos benefícios sociais pode-se citar o valor pago pela sucata – cerca de R\$1,00/kg de garrafa PET vazia, se comparado a outra sucata como papelão – R\$0,15/kg ou jornal – R\$0,20/kg (PESQUISA, 2017), permitindo que os catadores e cooperativas possuam maior rentabilidade, favorecendo o desempenho social.

Em relação aos benefícios econômicos, a indústria recicladora no Brasil tende a ser economicamente viável, sustentável e funcional. Basta citar que cerca de um terço do faturamento de toda a Indústria Brasileira do PET provém da reciclagem. Gera impostos, empregos, renda e todos os demais benefícios de uma indústria de base sólida. Seu

crescimento anual constante, em média superior a 11% desde 2000, permite planejar novos investimentos – incrementados e incentivados pela criação de novos usos para o PET reciclado (ABIPET, 2017).

Analisando os benefícios ambientais, a reciclagem de garrafas PETs traz inúmeros benefícios pois substitui o material novo. Assim, reduz a quantidade de embalagens que seriam destinadas a locais impróprios, reduz consumo de água e energia. De acordo com a CEMPRE (2005) é possível economizar até 50% de energia com o uso de plástico reciclado.

Entre os anos de 2000 e 2008 houve um grande acréscimo na percentagem reciclada de PET no Brasil. Entre os anos 2008 e 2011 identificou-se uma estagnação na reciclagem do PET, em torno de 50% (Figuras 11 e 12). Essa estagnação pode ser por falta de opções de uso dessa matéria-prima em produtos reciclados.

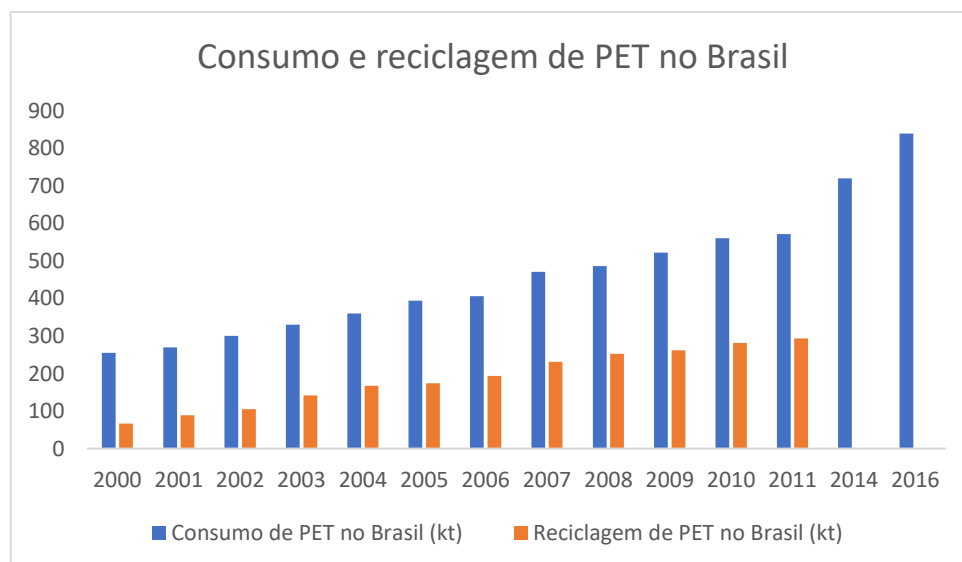


Figura 11 – Consumo e reciclagem estimados de PET no Brasil (kt).

Fonte: adaptada de Abipet (2018).

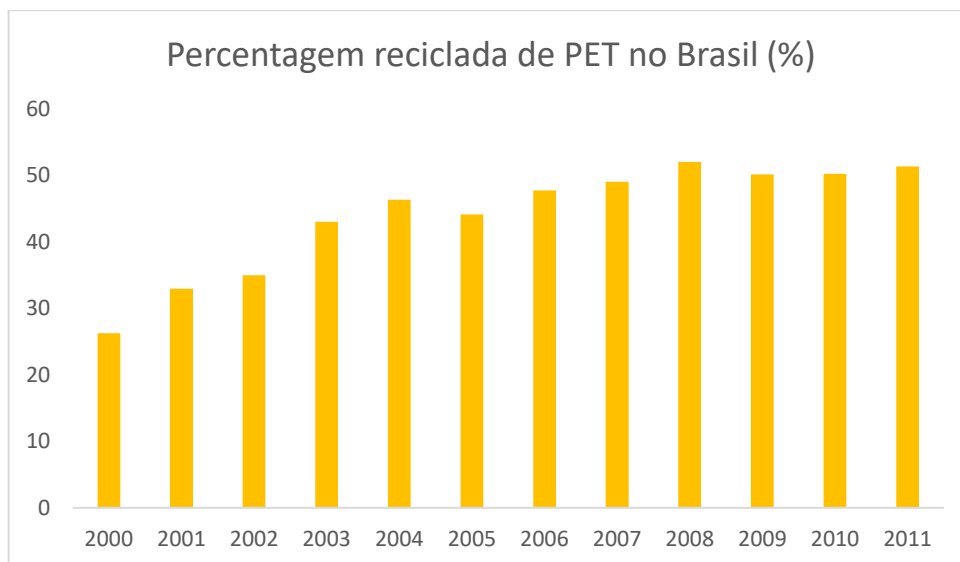


Figura 12 – Percentagem reciclada de PET no Brasil (%).

Fonte: adaptada de Abipet (2018).

No Brasil, o maior mercado é o da reciclagem primária. A reciclagem primária ou pré-consumo, melhor conhecida como reextrusão, é a reintrodução de resíduos industriais de um único polímero, a fim de produzir produtos com características equivalentes àquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens. Esses resíduos são constituídos por artefatos defeituosos e aparas provenientes dos moldes ou dos setores de corte/usinagem. Esta é a reciclagem de resíduo limpo, não contaminado e de um único tipo que continua a ser o processo mais popular, pois garante simplicidade e baixo custo (FIGUEIREDO et al., 2015).

Um mercado crescente é o da chamada reciclagem secundária: o processamento de polímeros, misturados ou não, entre os mais de 40 existentes no mercado. Novas tecnologias já estão disponíveis para possibilitar o uso simultâneo de diferentes resíduos plásticos, sem que haja incompatibilidade entre elas e a consequente perda de resistência e qualidade. A chamada “madeira plástica”, feita com a mistura de vários plásticos reciclados, é um exemplo. Essa madeira é constituída de resíduos plásticos, oriundos de pós-consumo e, ou, aparas industriais, as quais é incorporada uma carga vegetal. Possui longa durabilidade, não exige manutenção, imune a pragas, zero absorção de água, excelente resistência física, entre outros (CEMPRE, 2005).

Já a reciclagem terciária, de modo geral, converte polímeros em seus monômeros ou petroquímicos úteis. Neste tipo de reciclagem, materiais plásticos sólidos são converti-

dos em moléculas menores, como produtos químicos intermediários, através da utilização de calor e, ou, tratamento químico (FIGUEIREDO et al., 2015).

O processo de reciclagem do PET pode ser realizado por três tipos: química, energética e mecânica. A reciclagem química consiste no retorno do plástico (polímero) a sua composição primária (monômero) por meio da mudança química. A reciclagem energética representa a tecnologia de transformação de resíduos em energia térmica e, ou, elétrica.

A reciclagem mecânica é o método mais comum e consiste em transformar os plásticos (tanto os oriundos de sobra industrial – sobras virgens do processo produtivo – quanto os descartados pós-consumo – materiais recuperados no lixo por meio da coleta seletiva) em pequenos grânulos, que podem ser utilizados na produção de novos materiais. Praticamente todo o PET reciclado no Brasil passa pelo processo mecânico (ECYCLE, 2017).

A reciclagem mecânica de plásticos é o modo mais convencional de se recuperar o valor agregado do PET. Nela, os produtos plásticos são moídos, lavados, submetidos à secagem e reprocessados, dando origem a novos produtos (ZANIN; MANCINI, 2000).

Uma das principais questões na reciclagem de resíduos plásticos é o sistema de coleta seletiva e triagem (considerando abrangência e eficiência). O método reciclagem mecânica só pode ser realizado em produtos que contenham apenas um tipo de resina, ou seja, quanto mais misturado e contaminado for o resíduo, mais difícil será reciclá-lo mecanicamente. Cada material possui uma característica diferente como: índice de fluidez, dureza e outros, necessitando de regulagens específicas no maquinário de reciclagem dificultando assim trabalhar com a mistura de materiais.

Outro problema é a ocorrência de embalagens multicoloridas entre vários produtos embalados com PET, dificultando a padronização de cor no produto pós-reciclagem. Além do mais, a presença de odor e sabor pode inviabilizar a utilização desse material. Assim um grande desafio seria a elaboração de um produto reciclado que não se importa com a cor e a presença de odor e sabor.

A separação do material plástico previamente à coleta faz-se essencial. Para isso, são necessários programas de coleta seletiva e logística reversa, para que a maior quantidade possível de plásticos possa ser destinada às recicladoras. Esse procedimento indica a necessidade de mão de obra humana, tornando uma etapa de grande benefício social.

Após todo o processo de reciclagem do PET a matéria-prima vinda do mesmo começa a ser transformada em novos produtos. Esses produtos podem ganhar aplicações

tradicionais e de diferentes qualidades e formas. Por exemplo, vassouras e cordas, box para banheiro, tintas e vernizes, resinas insaturadas presentes em caixas d'água, peças plásticas para geladeiras e fogões, régua, relógios, cordas de varal, garrafas PET, tubos e conexões, piscinas, entre outros.

2.4.1 Métodos de fabricação dos produtos plásticos

Vários são os métodos utilizados na fabricação de produtos plásticos, mas os principais são: injeção e extrusão. Segundo a ABIPLAST (2014), somente os processos de injeção e extrusão respondem por 93% dos processos produtivos utilizados na produção de transformação de plástico. De forma geral, no caso das resinas termoplásticas (exemplo: PET), os processos de injeção e extrusão consistem basicamente em fundir as resinas, e transformá-las em um produto, a partir de um molde/matriz.

2.4.1.1 Injeção

O material é depositado em um recipiente de alimentação da injetora (Figura 13), (funil), de onde é direcionado para dentro de um cilindro que contém uma rosca que o empurra, promovendo seu cisalhamento e homogeneização, contribuindo para sua plastificação. Esse cilindro possui resistências acopladas (na parte externa), que aquecem o material, ocasionando sua fusão. O material então percorre o cilindro até a outra extremidade, onde se encontra o bico de injeção que servirá de intermediário entre o cilindro e o molde. Nesse instante, o material, já totalmente fundido, é forçado a adentrar o molde, ocupando seus espaços vazios. Decorridos alguns segundos, o molde se abre e libera a peça já fria e pronta. O tempo de espera no molde dependerá basicamente da espessura de parede e da eficiência do resfriamento efetuado, bem como da velocidade da injetora. Caso a peça exija a incorporação de componentes adicionais (insertos), como parafusos, porcas ou outros, os mesmos deverão ser introduzidos no molde antes da injeção. Estes componentes poderão ser colocados por operadores (ou por manipuladores semiautomáticos ou automáticos – robôs), que também realizarão a retirada das peças após a injeção (SINDIPLAST, 2018). Como produtos da injeção, tem-se os potes, as conexões, os brinquedos, os para-choques, os tanques de combustível e até mesmo as partes de um refrigerador.

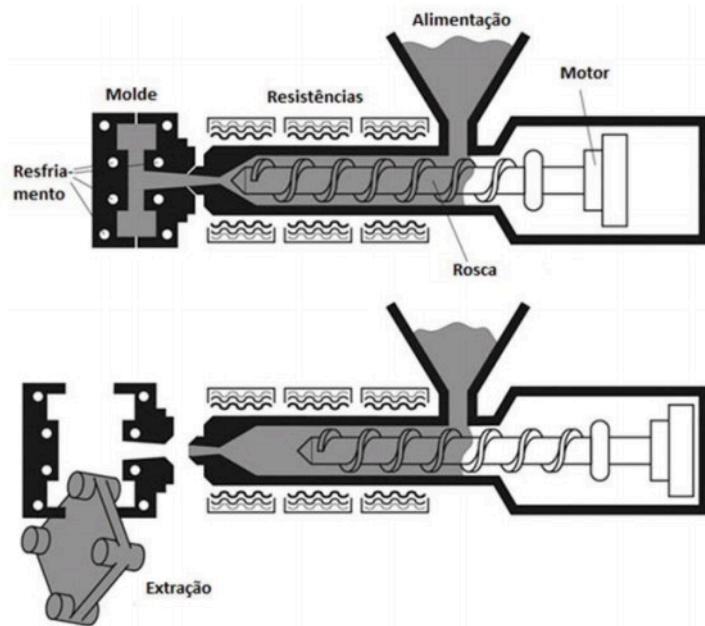


Figura 13 – Esquema do processo de funcionamento de uma injetora.

Fonte: Abiplast (2018).

2.4.1.2 Extrusão

É o mais importante processo de transformação de plásticos. Extrudar significa “empurrar” ou “forçar a sair”. Muitos materiais são transformados pelo processo de extrusão: metais, argila, alimentos, plásticos, etc. (ABIPLAST, 2015).

O processo de extrusão de plásticos (Figura 14) consiste basicamente em forçar a passagem controlada do material granulado, pellet ou em pó, por dentro de um cilindro aquecido, por meio de uma ou duas roscas sem-fim, que transportam, misturam, compactam e permitem a retirada de gases liberados no processo. Na saída do cilindro, o material é comprimido contra uma matriz de perfil desejado, a qual dá formato ao produto, sendo este, depois, calibrado, resfriado, cortado ou enrolado. Os principais componentes de uma extrusora são: motor elétrico, conjunto de engrenagens redutoras, cilindro, rosca, matriz, carcaça, painel de comando, resistências de aquecimento, ventiladores de resfriamento e bomba de vácuo. Os polímeros são normalmente extrudados no estado fundido e, nesse caso, o polímero é alimentado no estado sólido, se funde e é levado à saída da extrusora (ABIPLAST, 2015). Dentre os produtos finais deste processo podem ser citados tubos, mangueiras, revestimentos de fios, cabos, etc.

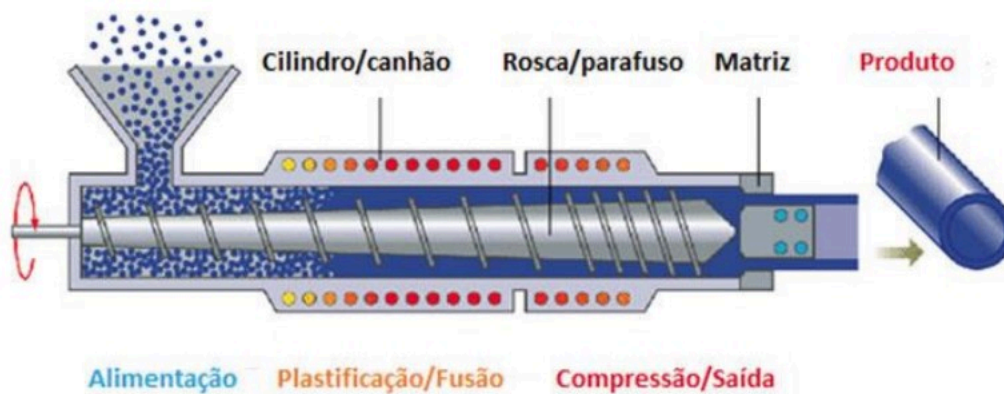


Figura 14 – Esquema do processo de funcionamento de uma extrusora.

Fonte: Abiplast (2018).

2.4.2 Mourões de plástico reciclado

Existem atualmente no mercado mourões de plástico reciclado (Figura 15), sendo um produto promissor na substituição dos mourões mais comumente comercializados. Como vantagens podem ser citados o fato de ser totalmente reciclado, atóxico, inerte, não soltar farpas, não absorver umidade, ser resistente a corrosão e maresia, muito durável (o plástico pode durar décadas ou até séculos), padronização do material, imune a pragas, roedores e insetos. Porém, seu custo e seu peso são elevados quando comparados aos mourões de madeira e aço, respectivamente (Tabela 3). Quanto maior o peso do mourão mais difícil é seu transporte ao longo da área, dificultando e encarecendo sua implantação. Como alternativa a diminuição do peso e do custo de produção, o mercado está produzindo mourões de plástico reciclado oco, porém não existem normas técnicas para sua produção.



Figura 15 – Mourão de plástico.

Fonte: Engeplas (2017).

Tabela 3 – Custo, especificações técnicas e peso dos mourões de comprimento 2.200 mm de madeira tratada, aço, concreto armado e plástico reciclado para a zona da mata mineira

Material Constituinte do Mourão	Custo (R\$)	Especificações Técnicas	Peso (kg)
Madeira tratada	9,00	Ø entre 80 – 100 mm	11 – 17
Aço	65,00	1 ½ x 1/8 pol (38,1 x 3,175 mm)	4, 6
Concreto armado	33,00	Seção da base quadrada de lado 100 mm	55
Plástico reciclado	37,00	Ø 90 mm	15

Fonte: dados da pesquisa.

Em virtude da grande produção de PET, sua capacidade de ser reciclado e a alta durabilidade, estabeleceu-se o mesmo como material de estudo para a elaboração de mourões. Estes, por sua vez, não dependem de padronização de cor e ausência de odor e sabor, o que permite a utilização de qualquer tipo de PET.

O objetivo deste trabalho foi estudar e desenvolver metodologias suficientes para viabilizar a confecção de mourões feitos de PET reciclado para uso em construção de cercas estabelecendo, inclusive parâmetros técnicos para isto, por meio de sua análise estrutural, em vistas a uma futura norma técnica para este novo produto. Foi feito também a análise de viabilidade econômica e financeira. Espera-se que sua elaboração possa contribuir para a substituição da madeira tratada de cercas, diminuindo a poluição ambiental, tanto pelo aspecto visual dos PETs quanto pelo seu elevado tempo de residência no ambiente além de, evidentemente, eliminar o problema da contaminação/poluição do solo e da água pelos metais pesados constituintes da madeira tratada. Espera-se também criar nova opção para reciclagem de plásticos PET, valorizando ainda mais tanto social quanto economicamente, a atividade de reciclagem e dos recicladores além de criar um produto com excelente custo/benefício para o consumidor e possibilitar que pequenos empresários locais abram empresas para esta finalidade.

Não foram encontrados na literatura mourões produzidos com PET reciclado, portanto toda a análise realizada utilizou-se características referentes ao PET virgem. Assim, salienta-se que a reutilização deste pode modificar em parte a análise realizada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O surgimento de novas ferramentas computacionais nas últimas décadas tem causado um grande impacto no processo de desenvolvimento de produtos. Vários *softwares* baseados em diversas disciplinas de engenharia estão disponíveis para auxiliar os engenheiros neste processo. Mas, segundo Santos (2007) é importante que estas disciplinas se encontrem integradas em um processo de Engenharia Simultânea (do inglês, *simultaneous engineering*), em que todas as atividades importantes como projeto, análises, testes e fabricação sejam envolvidas o mais cedo possível no processo de desenvolvimento de um novo produto. Esta metodologia permite que se tomem decisões corretas antecipadamente e, assim, tanto o tempo quanto o custo do projeto podem ser reduzidos.

Segundo Larsson (2001), por meio do uso adequado de ferramentas de simulação, o setor industrial pode:

- experimentar um maior número de alternativas de projeto em um menor intervalo de tempo;
- simular um maior número de condições às quais o produto estaria sujeito, possibilitando a descoberta de um possível comportamento não esperado;
- melhorar a qualidade do produto por adquirir um maior conhecimento do mesmo e, conseqüentemente, tomar decisões de forma mais correta;
- diminuir o tempo de lançamento de um produto no mercado através da redução de iterações de projeto;
- desenvolver produtos orientados por simulações computacionais e não simplesmente verificados por ela;
- verificar, por meio de testes virtuais, que o produto efetivamente cumpre as especificações de projeto e satisfaz os requisitos dos consumidores; e
- otimizar diversos parâmetros do produto antes mesmo da construção do protótipo.

3.1 Análise estrutural de mourões

Foram analisados estruturalmente os mourões de concreto armado, PET reciclado sólido (maciço) e PET reciclado com núcleo oco nas espessuras de parede de 15, 10, 5 e

3 mm, no comprimento de 2.200 mm e diâmetros nos valores de 60, 80 e 100 mm. Foi analisado estruturalmente também o mourão de concreto armado de comprimento 2.000 mm e diâmetro 95 mm.

Os mourões foram submetidos a uma análise estrutural utilizando o *software* SAP2000 de acordo com as especificações técnicas da NBR 7176 (Mourões de concreto armado para cercas de arame – Requisitos), no que se refere à flexão de mourões de suporte ou escora, capaz de gerar os resultados do desempenho mecânico das peças. Essa norma foi utilizada como referência de resistência mecânica do produto estudado, pois é a única existente para análise estrutural de mourões.

Após aplicação da carga transversal de 30 daN, de acordo com a NBR 7176, o mourão apresentará uma flexão (Figura 16), comportamento que permitirá determinar a sua flecha (deformação transversal do mourão devido a carga).

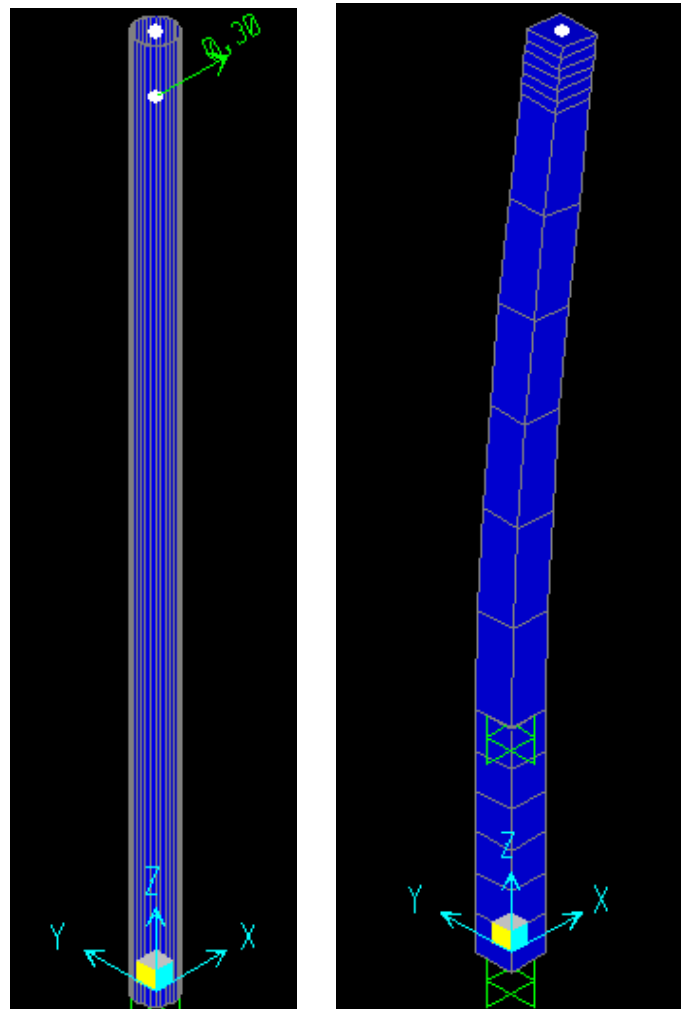


Figura 16 – Carregamento típico – Imagem do SAP 2000 – Mourão submetido a uma carga transversal de 30 daN e posterior deformação devida à carga.

Fonte: dados da pesquisa.

Com base nas características mecânicas do PET (Tabela 4), alimenta-se a base de dados do *software* SAP2000, que fará a análise estrutural dos modelos de mourões feitos com tal material. Em relação aos materiais para a confecção do mourão de concreto armado, foram utilizados o concreto 400 Psi e o reforço metálico A615Gr60 cadastrados na base de dados do SAP2000. Foi sugerido como reforço metálico o uso de quatro vergalhões longitudinais de 9,52 mm de diâmetro e estribos de 6,5 mm de diâmetro a cada 15 cm ao longo da peça.

Tabela 4 – Características mecânicas do PET

Característica	PET
Resistência à tração (σ)	47,90 Mpa
Resistência à flexão (τ)	1,82 Mpa
Coefficiente de Poisson	0,33
Densidade	1.400,00 kg m ⁻³

Fonte: Eastman (2018).

Neste trabalho não foram analisados estruturalmente os mourões de madeira e aço. Não há na literatura dados suficientes (resistência à tração, à flexão e coeficiente de Poisson) para realização dos testes com os mourões de madeira. Para obter tais características deve confeccionar corpos de provas e realizar ensaios de tração, compressão, flexão e impacto. Todavia, esses testes podem não corresponder a todas as peças disponíveis no mercado pela variabilidade do material, este pode ser influenciado pela espécie, fatores bióticos e abióticos. O mesmo não ocorre com materiais sintéticos como aço, polímeros e o próprio concreto que são fabricados sob controle de qualidade, garantindo-se as composições, parâmetros de processo e posterior teste por amostragem, o que os torna bem próximos, senão idênticos, aos materiais previamente desenvolvidos, testados e normatizados. Os mourões de aço não foram analisados pois seu formato e dimensão comercial são muito discrepantes aos modelos propostos para os mourões de concreto e PET.

Os modelos de mourões dos diferentes tipos de material foram submetidos às cargas nominais aplicadas em mourões de suporte ou escora (30 daN) conforme método de ensaio para mourões de concreto, descritos no item 6 da norma na NBR 7176 e aplicados conforme subitem 9.4.2.1 da referida norma. Os resultados foram analisados e interpretados comparando os mourões de PET com os de concreto armado. Em função da

NBR 7176 não apresentar a máxima flecha admitida na flexão da peça de concreto, o resultado da peça de PET foi analisado comparativamente ao da peça de concreto, fazendo o mesmo ensaio computacional entre os modelos. Foram considerados válidos os modelos em PET que não colapsaram com o esforço aplicado e obtiveram desempenho mecânico igual ou superior ao da peça em concreto, ou seja, flecha igual ou menor que a peça em concreto armado. Assim o modelo desenvolvido em PET aprovado passaria para a etapa seguinte que seria a elaboração física do mourão, o que não foi possível, no presente trabalho, devido ao elevado custo da extrusora (orçada em R\$ 380.000,00 e, com os demais acessórios da linha de produção mais terreno, edificações e infraestrutura, o valor do empreendimento chegaria a cerca de R\$ 1.000.000,00 e, principalmente da injetora (orçada em mais de R\$1.000.000,00).

3.2 Análise de viabilidade econômica e financeira

Foi desenvolvido um conceito do processo produtivo (Figura e Tabela 5) e levantaram os principais equipamentos necessários para o funcionamento da empresa, sendo feito as cotações dos mesmos. Posteriormente, analisaram-se os cálculos dos investimentos em face as suas vendas e custo de operação. De posse desses dados foram feitas a análise econômica e financeira do projeto.

Para a análise econômica e financeira foram utilizados como indicadores o *payback* descontado (PPD), o valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e índice de lucratividade (IL), conforme Bordeaux-Rêgo et al. (2006), Woiler e Mathias (1996) e Buarque (2008). O primeiro deles foi o período de *payback* descontado (PPD). O PPD é o período de tempo necessário, geralmente medido em anos, para que o investimento inicial seja integralmente recuperado pelo lucro líquido acumulado (fluxos de caixa líquidos gerados) do projeto. Nesse método, diferentemente do período de *payback* simples, os fluxos de caixa líquidos são trazidos a data do investimento inicial por meio de taxa de desconto considerada (no estudo foi utilizada a taxa de 9%, ou seja, taxa 1,5% acima da Selic) (JORNAL ESTADO DE MINAS (2018)). O PPD é importante, pois fornece ao investidor o prazo necessário para que o montante de recursos investidos no projeto seja recuperado. Quanto menor esse prazo, mais rentável tende a ser o projeto. A expressão 1 ilustra o procedimento de cálculo do indicador.

$$PPD = t, \text{ tal que } -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (1)$$

em que I é o investimento inicial; t , período de tempo; FC_t , fluxo de caixa no período t ; e i , a taxa de juros de desconto.

O segundo indicador a ser utilizado é o valor presente líquido (VPL). Ele pode ser definido como o somatório dos saldos do fluxo de caixa descontados a uma taxa de juros pré-determinada. Matematicamente:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

A decisão de investimento com base no VPL é resumida por Bordeaux-Rêgo et al. (2006) da seguinte forma: $VPL > 0$, o projeto é aceito, sendo rejeitado, caso contrário. Quando o VPL é positivo, tem-se que na data zero, o valor presente de todos os futuros fluxos de caixa é superior ao investimento inicial, sendo, dessa forma, que o projeto gera acréscimo de riqueza para a empresa. É exatamente essa informação trazida pelo VPL que torna o seu cálculo relevante, em comparação ao resultado obtido no critério do PPD. Isso porque enquanto esse leva em conta apenas o período de tempo em que o saldo acumulado se torna positivo, aquele leva em conta todos os fluxos de caixa, permitindo obter uma medida de riqueza adicionada ($VPL > 0$) ou perdida ($VPL < 0$) com o projeto em questão.

Um terceiro indicador utilizado no estudo foi a taxa interna de retorno (TIR). Ela é definida como a taxa de juros que tornam iguais o valor presente das receitas e desembolsos do projeto, fazendo que o valor presente líquido do projeto seja igual a zero, conforme expressão 3.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = 0, \quad (3)$$

em que i^* é a taxa interna de retorno.

Conforme destaca Machado (2002), a TIR isoladamente não fornece decisão importante para o investidor, devendo ser comparada com uma taxa mínima de atratividade, também denominada taxa de desconto (no estudo foi utilizada a taxa de 9%, valor 1,5% acima da Selic). De acordo Woiler e Mathias (1996), essa última é obtida a partir do custo do capital investido, que pode ser entendido como: o custo de oportunidade em termos de juros da aplicação financeira do montante empregado no projeto; o custo de capital de terceiros na forma de empréstimos; o custo do capital de risco ou ainda; uma média ponderada dos três. Dessa forma, a interpretação da TIR é a seguinte: i) se a empresa se defrontar com custo de capital menor do que a TIR, o VPL é positivo e o

projeto deve ser aprovado, pois o retorno do mesmo é superior ao custo adotado como referência para o valor do capital investido; ii) caso contrário, ou seja, custo de capital maior do que a TIR, o VPL é negativo e o projeto deve ser rejeitado.

Por fim, tem-se o índice de lucratividade (IL). Este indicador é uma medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial, dado por:

$$IL = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}}{I} \quad (4)$$

Segundo Bordeaux-Rêgo et al. (2006), os resultados do IL podem ser interpretados conforme segue: i) $IL > 1$ significa que para cada unidade de investimento, o valor presente dos futuros fluxos de caixa é maior do que 1, de forma que no projeto o primeiro é totalmente recuperado, além de haver aumento de riqueza com o mesmo. Nessa circunstância, o projeto deve ser aprovado, já que tal resultado é equivalente a um VPL positivo.

Tabela 5 – Descrição do processo produtivo

	O processo de fabricação de Mourões em PET estudado nesse processo consiste nas seguintes etapas:
1.0	Recebimento e Estocagem de Matéria Prima - Regime de trabalho: 8 horas/dia (1 turno)
1.1	Recebimento de matéria-prima (vasilhame de PET) em caminhões-basculantes, limpa, sem rótulos e tampas fabricadas em outros materiais e armazenamento em uma pilha formada em boxes de armazenamento de matéria-prima, construído em alvenaria em ambiente coberto para evitar o acúmulo de água. É recomendável que os Boxes de armazenamento de Matéria prima estejam em nível rebaixado em relação à descarga do caminhão para facilitar a estocagem, proporcionando maior capacidade de estocagem.
2.0	Moagem - Regime de Trabalho: 8 horas/dia (1 turno)
2.1	Coleta da matéria-prima nos boxes de armazenamento de matéria-prima e inserção no moinho de navalhas (MO-01).
2.2	Armazenagem da produção de PET moído (granulado) equivalente a um (01) turno de trabalho da Moagem no Silo com autoalimentador (SI-01).
3.0	Extrusão - Regime de Trabalho: 16 horas/dia (2 turnos)
3.1	Alimentação automática do silo da extrusora (EX-01) com PET granulado, via silo de estocagem (SI-01) via válvula automática no funil de descarga deste, movimentada via solenoide, comandada automaticamente por sensores de nível auto e baixo instalados no Silo da extrusora.
3.2	Fusão do PET granulado no canhão de extrusão da extrusora (EX-01) por efeito Joule dos resistores existentes nessa;
3.3	Extrusão do perfil na extrusora, que após fundido é empurrado contra o molde de extrusão.
3.4	Resfriamento do perfil na banheira por troca térmica com a água de resfriamento.
3.5	O Perfil resfriado e puxado pelos puxadores e serrado pela Serra Automática montada no próprio bloco da extrusora.
4.0	Resfriamento de Água
4.1	A água de resfriamento do perfil é bombeada da banheira da extrusora (EX-01) para a torre de resfriamento (TR-01) por meio da Bomba (BA-01).
4.2	Na torre de Resfriamento (TR-01) a água é jogada em jatos de cima para baixo e o ar atmosférico é forçado a circular de baixo para cima, ou seja, em contracorrente promovendo uma troca térmica com a água que é resfriada e cai na caixa de coleta da Torre de Resfriamento, retornando à banheira da extrusora (EX-01) por gravidade. Neste caso a torre de resfriamento deve ser locada em um ponto mais elevado que a banheira da extrusora (EX-01) e sempre do lado externo ao prédio da extrusão.
4.3	Parte da água utilizada no processo se perde e deve ser reposta.
5.0	Armazenamento de Produtos
5.1	Os produtos acabados (extrudados e serrados) caem em guias inclinadas e rolam até os boxes de estocagem de produtos.
5.2	Após encher um box de produto, estes são embalados (amarrados com fitas plásticas), para carregamento.
5.3	No ato do despacho dos produtos, com auxílio da Talha Manual (TM-01), o operador passa duas fitas sob o fardo de mourões e manipulando a talha realiza o carregamento do caminhão.

Fonte: elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise estrutural de mourões

A produção de mourões plásticos pode ser feita pelos métodos de injeção e de extrusão. Pelo método da injeção é possível produzir mourões ocos (com diferentes espessuras de parede) ou maciços. Já o método da extrusão apresenta limitações no processo, permitindo somente a produção de mourões de PET ocos até 3 mm de espessura de parede. Segundo os técnicos da empresa Extrusion Tech Ferramentaria a máxima espessura alcançada na extrusão do PET é 3 mm, visto que esse material se torna muito líquido quando atinge a temperatura de trabalho (Djalma Oliveira, gerente de projetos da Extrusion Tech Ferramentaria, 2018, informação pessoal).

4.2 Mourões produzidos por injeção

Para a produção de mourões por injeção tem-se as opções de mourões de PET reciclado sólido (maciço) e PET reciclado com núcleo oco nas espessuras de parede de 15, 10 e 5 mm. As dimensões dos mourões terão como base as dimensões nominais dos mourões de madeira, produtos mais vendidos no mercado para confecção de cercas, ou seja, peças de 2.200 mm de comprimento e diâmetros nos valores de 60, 80 e 100 mm.

A modelagem e análise estrutural do mourão de concreto armado são justificadas por ser o único mourão que apresenta norma para sua análise estrutural (NBR 7176). Ele apresentou as mesmas dimensões dos mourões de PET reciclado para anular o efeito do formato e dimensão na comparação dos resultados.

Foi modelado também o mourão de concreto armado de diâmetro 95 mm e comprimento 2.000 mm, pois é o único cilíndrico, semelhante ao formato da madeira, que tem dimensão normatizada pela NBR 7176.

Os volumes foram determinados considerando os mourões como cilíndricos e sua massa calculada considerando a densidade de 1.400 kg m^{-3} , utilizando para isso o programa Excel.

A Tabela 6 contém todos os resultados relevantes dos mourões apresentados anteriormente.

Tabela 6 – Resumo dos resultados estimados pelo *software* SAP2000 para os mourões de concreto, PET maciço e núcleo oco de formatos cilíndricos

Item	Descrição	Material			Comprimento	Diâmetro	Volume	Massa	Flecha Max.
		PET maciço	Concreto	PET núcleo oco	B	F	V	P	(30 daN)
					mm	mm	m ³	kg	mm
1	Mourão 2.200 mm-D60 mm	X			2.200	60	0,0062	8,71	0,25
2	Mourão 2.200 mm-D80 mm	X			2.200	80	0,0111	15,48	0,08
3	Mourão 2.200 mm-D100 mm	X			2.200	100	0,0173	24,19	0,03
4	Mourão 2.000 mm-D95 mm		X		2.000	95	0,0142	34,02	2,32
5	Mourão concreto 2.200 mm-D60 mm		X		2.200	60	0,0062	14,93	22,29
6	Mourão concreto 2.200 mm-D80 mm		X		2.200	80	0,0111	26,54	7,06
7	Mourão concreto 2.200 mm-D100 mm		X		2.200	100	0,0173	41,47	2,89
8	Mourão 2.200 mm-D60 mm-E15mm			X	2.200	60	0,0047	6,53	0,26
9	Mourão 2.200 mm-D60 mm-E10mm			X	2.200	60	0,0035	4,84	0,30
10	Mourão 2.200 mm-D60 mm-E5mm			X	2.200	60	0,0019	2,66	0,47
11	Mourão 2.200 mm-D80 mm-E15mm			X	2.200	80	0,0067	9,43	0,09
12	Mourão 2.200 mm-D80 mm-E10mm			X	2.200	80	0,0048	6,77	0,11
13	Mourão 2.200 mm-D80 mm-E5mm			X	2.200	80	0,0026	3,63	0,19
14	Mourão 2.200 mm-D100 mm-E15mm			X	2.200	100	0,0088	12,34	0,04
15	Mourão 2.200 mm-D100 mm-E10mm			X	2.200	100	0,0062	8,71	0,05
16	Mourão 2.200 mm-D100 mm-E5mm			X	2.200	100	0,0033	4,60	0,09

Fonte: elaborada pelo autor.

Nenhum modelo projetado visando a injeção foi colapsado, de acordo com o programa SAP2000 (o mesmo emite um sinal de alerta quando ocorre o colapso).

Conforme Tabela 6, as peças em PET apresentaram flechas máximas menores que a flecha máxima do modelo em concreto no respectivo formato, portanto podem perfeitamente ser aceitáveis para a aplicação como mourões de cerca, critério adotado nas premissas deste trabalho.

Quanto ao melhor modelo do ponto de vista econômico, trata-se do modelo oco, com espessura de parede de 5 mm, por apresentar resistência à flexão, segundo o critério adotado, necessitando a menor quantidade de material para construção. Como consequência, menor peso para transporte.

Nas Figuras 18, 19 e 20 foi adotada a seguinte legenda para os mourões de 2.200 mm de comprimento:

1. C3 = mourão de concreto com diâmetro 100 mm;
2. C2 = mourão de concreto com diâmetro 80 mm;
3. C1 = mourão de concreto com diâmetro 60 mm;
4. P3 = mourão de PET maciço com diâmetro 100 mm;
5. P2 = mourão de PET maciço com diâmetro 80 mm;
6. P1: mourão de PET maciço com diâmetro 60 mm;
7. Oco15-100: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 15 mm e diâmetro 100 mm;
8. Oco15-80: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 15 mm e diâmetro 80 mm;
9. Oco15-60: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 15 mm e diâmetro 60 mm;
10. Oco10-100: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 10 mm e diâmetro 100 mm;
11. Oco10-80: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 10 mm e diâmetro 80 mm;
12. Oco10-60: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 10 mm e diâmetro 60 mm
13. Oco05-100: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 5 mm e diâmetro 100 mm
14. Oco05-80: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 5 mm e diâmetro 80 mm; e

15. Oco05-60: mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 5 mm e diâmetro 60 mm.

Na Figura 20 foi adotada a seguinte legenda para o mourão de 2.000 mm de comprimento: C = mourão de concreto com diâmetro 95 mm

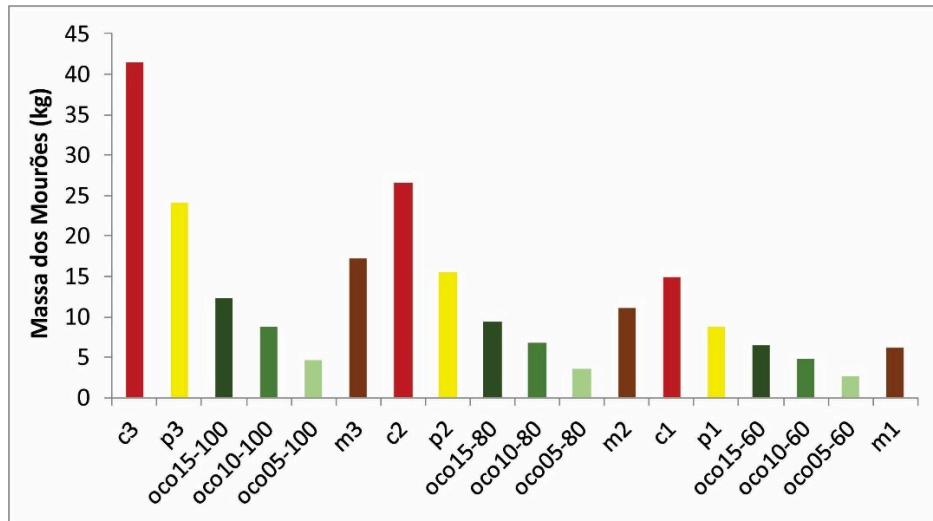


Figura 18 – Massa dos mourões (kg) de concreto, madeira, PET maciço e com núcleo oco nas espessuras de parede de 15, 10 e 5 mm.

Fonte: elaborada pelo autor.

Para efeito de determinação da massa do mourão de madeira, o mesmo apresenta 2.200 mm de comprimento, diâmetros com 60, 80 e 100 mm e densidade de 999 kg/m^3 , considerando umidade de 12% para o eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) (GOMES et al., 2007) (Tabela 7).

Tabela 7 – Massa dos mourões de madeira de 2200 mm de comprimento, diâmetros com 60, 80 e 100 mm

Mourão Madeira	Massa (kg)
22.00 mm x 60 mm	6,21
2.200 mm x 80 mm	11,04
2.200 mm x 100 mm	17,25

Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme Figura 18, para as mesmas dimensões, o mourão de concreto é mais pesado que os demais, devido sua maior densidade (2.500 kg/m^3) (SANTOS et al., 2004), já o de PET apresenta um valor intermediário devido sua densidade também apresentar um valor intermediário ($1.300\text{-}1.400 \text{ kg/m}^3$) (RESO AMBIENTAL, 2015; EASTMAN,

2018) e a madeira de eucalipto apresenta um valor mais baixo devido sua densidade ser menor (999 kg/m^3 , considerando umidade 12% para o Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) (GOMES et al., 2007).

Quanto maior o peso do mourão mais difícil é seu transporte ao longo da área, dificultando e encarecendo sua implantação. Como alternativa a diminuição do peso e do custo de produção, o uso de mourões de PET com núcleo oco torna-se uma alternativa. Como exemplo, o uso de mourão de concreto e madeira com 2.200 mm de comprimento e diâmetro 100 mm apresenta um peso respectivamente igual a 41,47 kg e 17,25 kg (Tabelas 6 e 7). O mourão de mesmo formato e dimensão, porém produzido com PET apresenta 24,19 kg, caso seja maciço (Tabela 6), e um valor de 4,60 kg para mourão de núcleo oco na espessura de parede de 5 mm (Tabela 6), representando este um valor aproximadamente 9 vezes menor ao se comparar com o concreto e 3,7 vezes menor ao se comparar a madeira.

As Figuras 19 e 20 representam as flechas máximas que os mourões de concreto, PET maciço e com núcleo oco possuem. A Figura 19 representando a flecha do mourão de concreto foi realizada separadamente em virtude de os valores encontrados serem muito superiores aos valores dos outros materiais.

Uma das características importantes em um elemento estrutural, submetido a um esforço de tração ou flexão é a elasticidade, ou seja, capacidade de se deformar reversivelmente. Um material elástico é aquele que se deforma quando submetido a um determinado esforço e cessado este esforço ele retorna a suas dimensões originais.

O PET é um material mais elástico que o concreto, assim poderia imaginar que ele deformaria mais. Porém, o material ser mais elástico, não significa que seja menos resistente a determinado esforço mecânico, ou seja, não significa que deformaria mais para qualquer carga aplicada.

De acordo com os testes computacionais realizados no *software* SAP2000, embora sofra deformações quando submetidas ao esforço descrito no ensaio de flexão da norma NBR 7176, as peças em PET nas dimensões definidas neste trabalho, não colapsaram, como também sofreram menores deformações que as peças com as mesmas dimensões externas fabricadas em concreto armado (Tabela 6). Assim sendo, pode-se considerar que do ponto de vista mecânico, mourões fabricados em PET são mais resistentes que os fabricados em concreto.

Outra característica do PET é a plasticidade, ou seja, a capacidade de se deformar irreversivelmente. Assim, quando submetido a um esforço que o faça ultrapassar seu

regime elástico, deforma-se e cessado o esforço permanece uma deformação residual. Trata-se de uma característica importante, pois o material pode ser submetido a um esforço superior ao qual foi projetado sem romper-se por completo. Comparando-se com o concreto que é um material que se deforma pouco antes de se romper (colapso estrutural), o PET possui grande vantagem na produção de mourões para cerca, pois estes fabricados nesse material e submetidos a esforços superiores aos quais foram projetados, embora sofressem deformações definitivas, ainda assim, podem exercer a função à qual foram concebidos, que é de manter a estrutura vertical de uma cerca, contrariamente do concreto que, trabalhando nas mesmas condições, se romperia.

Como exemplificação, em estudos realizados para a implantação das fibras de PET no concreto, observou-se na pesquisa de Maragon (2004) um concreto mais dúctil, propriedade de um concreto flexível, elástico e maleável, onde experimenta deformações inelásticas sem a perda de sua capacidade resistente, causando uma deformação antes da ruptura completa.

Segundo a norma NBR 7176, os mourões fabricados em concreto para suporte e escora, devem resistir a uma carga de teste de flexão de 30 daN, posicionada a 150 mm do topo, sendo o mourão engastado no solo em uma profundidade de 600 mm. Esse esforço leva o mourão a uma deformação elástica axial denominada “flecha”.

Percebe-se que os menores diâmetros dos mourões apresentam maiores valores de flechas, para um mesmo comprimento (Figuras 19 e 20). Além do mais, quanto menor a espessura da parede, para um mesmo comprimento e diâmetro de mourão, maior a flecha (Figura 19). Resultados já esperados, pois quanto menor seu diâmetro e, ou, espessura da parede mais fácil do mourão se deformar axialmente, ou seja, “envergar”, consequentemente maior será sua flecha.

O mourão “C” apresenta uma flecha inferior aos demais mourões de concreto, pois seu comprimento apresenta o menor valor (2.000 mm), quando comparado aos demais (2.200 mm). O tamanho da flecha é diretamente proporcional ao comprimento entre o ponto de apoio e o ponto de aplicação da carga na mesma e inversamente proporcional ao diâmetro e espessura da parede da peça, caso a mesma seja oca. O comprimento sofre um momento (efeito alavanca) que deve ser resistivo pela área da seção transversal da peça (função do diâmetro e da espessura da parede, caso a peça seja oca).

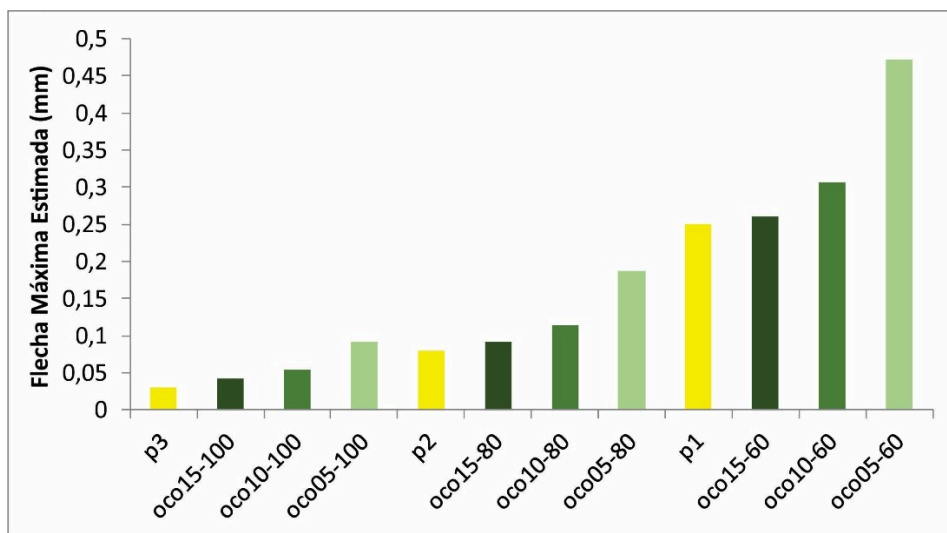


Figura 19 – Flecha máxima estimada (mm) dos mourões de PET maciço e com núcleo oco nas espessuras de parede 15, 10 e 5 mm.

Fonte: elaborada pelo autor.

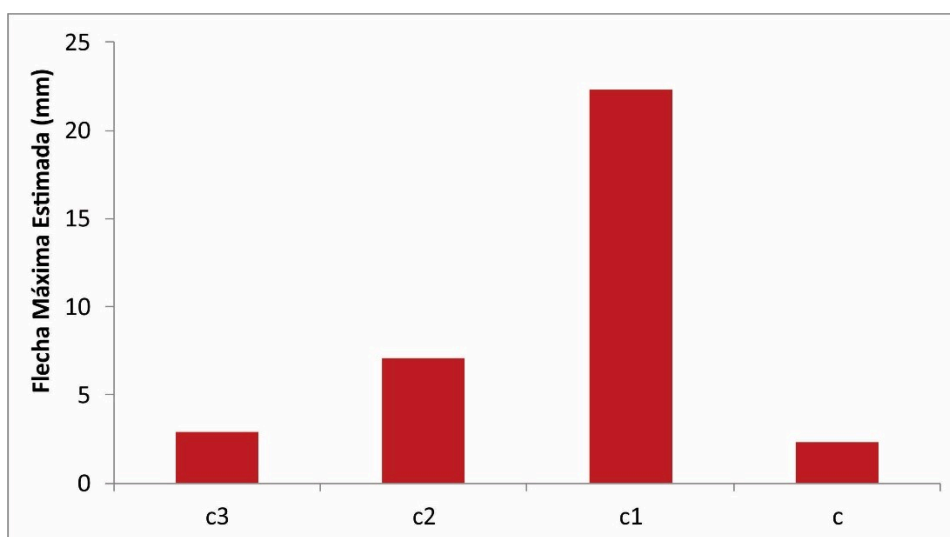


Figura 20 – Flecha máxima estimada (mm) dos mourões de concreto.

Fonte: elaborada pelo autor.

Comparando os mourões de PET maciço com os mourões de PET com núcleo oco na espessura de parede 15 mm encontram-se valores de flechas muito próximas (diferença de 0,01 mm) para todos os modelos dimensionados, desempenho mecânico similar, de acordo com o critério adotado. Porém, existe uma discrepância considerável em termos de massa, representando quase a metade do valor para o mourão de 2.200 mm de comprimento e diâmetro 100 mm, facilitando seu transporte ao longo da área (Tabela 8).

Tabela 8 – Comparação entre os mourões de PET maciço com mourões de PET com núcleo oco na espessura de parede 15 mm

Mourão	Flecha Máxima (mm)	Massa (kg)
Mourão 2.200 mm-D60 mm	0,25	8,71
Mourão 2.200 mm-D60 mm-E15mm	0,26	6,53
Mourão 2.200 mm-D80 mm	0,08	15,48
Mourão 2.200 mm-D80 mm-E15mm	0,09	9,43
Mourão 2.200 mm-D100 mm	0,03	24,19
Mourão 2.200 mm-D100 mm-E15mm	0,04	12,34

Fonte: elaborada pelo autor.

Ao analisar a viabilidade da produção utilizando injetora (produção de peças maciças e ocas, sendo estas com espessuras de parede de 15 mm, 10 mm e 5 mm, com 2200 mm de comprimento e diâmetros nos valores de 60 mm, 80 mm e 100 mm) percebeu-se que o processo se tornou inviável sob o ponto de vista econômico. De acordo com a empresa Indústria Romi S.A. sua maior injetora é a Primax 1500R, cuja área de molde máxima é de 2.050 x 1.400 mm e curso de abertura máximo de 1500 mm. Caso estes produtos fossem injetados, teriam que estar dispostos no sentido transversal ao curso de abertura do molde e demandaria acionamento de machos bipartidos de 1.100 mm cada lado (para formar o interior do mourão), ampliando as extremidades do molde para cerca de 6.000 mm (2.200 mm do produto + 2.200 mm dos machos + aproximadamente 50% detalhes construtivos), demandando uma injetora com dimensões especiais, orçada em mais de R\$1.000.000,00 (Paulo Garrido, engenheiro de vendas da Indústrias Romi S.A., 2018, informação pessoal).

4.3 Mourões produzidos por extrusão

Para a produção de mourões por extrusão tem-se a opção de mourão de PET reciclado com núcleo oco, comprimento de 2.200 mm e na espessura de parede 3 mm e diâmetros nos valores de 60, 80 e 100 mm. As dimensões dos mourões terão como base as dimensões nominais dos mourões de madeira, produtos mais vendidos no mercado para confecção de cercas, ou seja, peças de 2.200 mm de comprimento e diâmetros nos valores de 60, 80 e 100 mm.

A modelagem e análise estrutural do mourão de concreto armado são justificadas por ser o único mourão que apresenta norma para sua análise estrutural (NBR 7176). Ele apresentou as mesmas dimensões dos mourões de PET reciclado para anular o efeito do formato e dimensão na comparação dos resultados.

Foi modelado também o mourão de concreto armado de diâmetro 95 mm e comprimento 2.000 mm, pois é o único cilíndrico, semelhante ao formato da madeira, que tem dimensão normatizada pela NBR 7176.

O método de extrusão, como já dito, apresenta limitações permitindo somente a produção de mourões de PET ocos com até 3 mm de espessura de parede. Os volumes foram determinados considerando os mourões como cilíndricos e sua massa calculada considerando a densidade de 1.400 kg m^{-3} , utilizando para isso o programa Excel. A Tabela 9 contém todos os resultados relevantes dos mourões apresentados anteriormente.

Nenhum modelo projetado visando a extrusão foi colapsado, de acordo com o programa SAP2000 (o mesmo emite um sinal de alerta quando ocorre o colapso).

Conforme Tabela 9, as peças em PET apresentaram flechas máximas menores que a flecha máxima do modelo em concreto no respectivo formato, portanto podem perfeitamente ser aceitáveis para a aplicação como mourões de cerca, critério adotado nas premissas deste trabalho.

Quanto ao melhor modelo do ponto de vista econômico, trata-se do modelo oco, com espessura de parede de 3 mm, por apresentar resistência à flexão, segundo o critério adotado, necessitando a menor quantidade de material para construção. Como consequência, menor peso para transporte.

Para as Figuras 21 e 22 foi adotada a seguinte legenda para os mourões de 2.200 mm de comprimento:

1. C3 = mourão de concreto com diâmetro 100 mm;
2. C2 = mourão de concreto com diâmetro 80 mm;
3. C1 = mourão de concreto com diâmetro 60 mm;
4. Oco03-100 = mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 3 mm e diâmetro 100 mm;
5. Oco03-80 = mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 3 mm e diâmetro 80 mm; e
6. Oco 03-60 = mourão de PET com núcleo oco, na espessura de parede 3 mm e diâmetro 60 mm.

Também na Figura 21 foi adotada a seguinte legenda para o mourão de 2000 mm de comprimento: C = mourão de concreto com diâmetro 95 mm.

Tabela 9 – Resumo dos resultados estimados pelo *software* SAP2000 para os mourões de concreto e PET com núcleo oco de formatos cilíndricos

Item	Descrição/	Material		Comprimento	Diâmetro	Volume	Massa	Flecha Max.
		Concreto	PET núcleo oco	B mm	F mm	V m ³	P kg	(30 daN) mm
1	Mourão concreto 2.200 mm-D60 mm	X		2.200	60	0,0062	14,93	22,29
2	Mourão concreto 2.200 mm-D80 mm	X		2.200	80	0,0111	26,54	7,06
3	Mourão concreto 2.200 mm-D100 mm	X		2.200	100	0,0173	41,47	2,89
4	Mourão 2.000 mm-D95 mm	X		2.000	95	0,0142	34,02	2,32
4	Mourão 2.200 mm-D60 mm-E3mm		X	2.200	60	0,0012	1,65	0,71
5	Mourão 2200 mm-D80 mm-E3mm		X	2.200	80	0,0016	2,24	0,29
6	Mourão 2200 mm-D100 mm-E3mm		X	2.200	100	0,0020	2,82	0,14

Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme Figura 21, para as mesmas dimensões, o mourão de concreto é mais pesado que os demais, devido sua maior densidade (2.500 kg/m^3) (SANTOS et al., 2004), já o de PET apresenta um valor intermediário devido sua densidade também apresentar um valor intermediário ($1.300\text{-}1.400 \text{ kg/m}^3$) (RESO AMBIENTAL, 2015; EASTMAN, 2018) e a madeira de eucalipto apresenta um valor mais baixo devido sua densidade ser menor (999 kg/m^3 , considerando umidade 12% para o eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) GOMES et al., 2007).

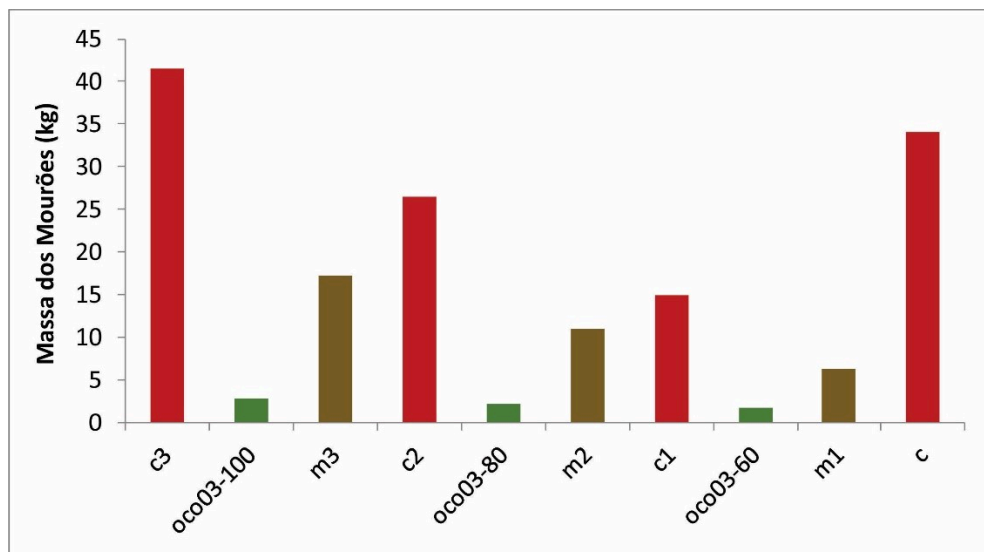


Figura 21 – Massa dos mourões (kg) de concreto, madeira e PET com núcleo oco na espessura de parede 3 mm.

Fonte: elaborada pelo autor.

Quanto maior o peso do mourão mais difícil é seu transporte ao longo da área, dificultando e encarecendo sua implantação. Como alternativa a diminuição do peso e do custo de produção, o uso de mourões de PET com núcleo oco torna-se uma alternativa. Como exemplo, o uso de mourão de concreto e madeira com 2.200 mm de comprimento e diâmetro 100 mm apresenta um peso respectivamente igual a 41,47 kg e 17,25 kg (Tabela 9). O mourão de mesmo formato e dimensão, porém produzido com PET na espessura de parede 3 mm apresenta um valor de 2,82 kg (Tabela 9), representando um valor aproximadamente 14,7 vezes menor ao se comparar com o concreto e 6 vezes menor ao se comparar a madeira.

A Figura 22 representa as flechas máximas que os mourões de PET com núcleo oco na espessura de parede 3 mm.

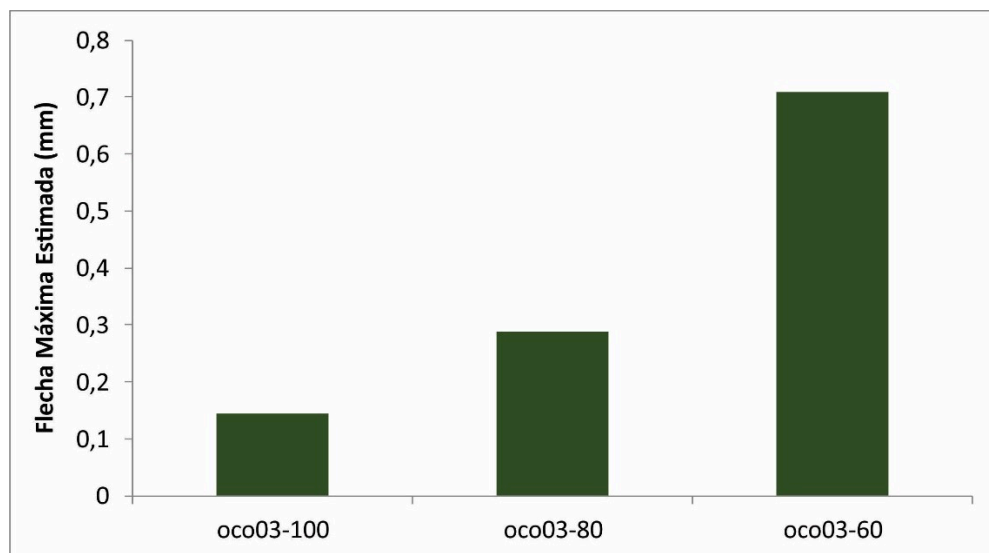


Figura 22 – Flecha máxima (mm) dos mourões de PET de núcleo oco na espessura de parede 3 mm.

Fonte: elaborada pelo autor.

De acordo com os testes computacionais realizados no *software* SAP2000, embora sofra deformações quando submetidas ao esforço descrito no ensaio de flexão da norma NBR 7176, as peças em PET nas dimensões definidas neste trabalho não colapsaram, como também sofreram menores deformações que as peças com as mesmas dimensões externas fabricadas em concreto armado (Tabela 9). Assim sendo, pode-se considerar que do ponto de vista mecânico, mourões fabricados em PET são mais resistentes que os fabricados em concreto.

Segundo a NBR 7176, os mourões fabricados em concreto para suporte e escora devem resistir a uma carga de teste de flexão de 30 daN, posicionada a 150 mm do topo, sendo o mourão engastado no solo em uma profundidade de 600 mm. Esse esforço leva o mourão a uma deformação elástica axial denominada “flecha”.

Percebe-se que os menores diâmetros dos mourões apresentam maiores valores de flechas (Figura 22). Resultados já esperados, pois quanto menor seu diâmetro mais fácil do mourão se deformar axialmente, ou seja, “envergar”, conseqüentemente maior será sua flecha.

O tamanho da flecha é diretamente proporcional ao comprimento entre o ponto de apoio e o ponto de aplicação da carga na mesma e inversamente proporcional ao diâmetro e espessura da parede da peça, caso a mesma seja oca. O comprimento sofre um momento (efeito alavanca) que deve ser resistivo pela área da seção transversal da peça (função do diâmetro e da espessura da parede, caso a peça seja oca).

De acordo com análise da produção utilizando a extrusora (mourão de PET reciclado de núcleo oco na espessura de parede 3 mm e diâmetros uniformes nos respectivos valores, 60, 80 e 100 mm) o processo pode tornar-se viável economicamente. A indústria Extrusion Tech Ferramentaria disponibilizou um orçamento indicando todos os equipamentos necessários para a produção:

1. uma extrusora monorosca 90 mm para extrusão de perfil em PET (produção de até 90 kg/hora);
2. canhão e rosca nitretados;
3. uma banheira em inox 430, a vácuo de 4000 mm de comprimento;
4. um puxador de 1000 mm de comprimento de correia;
5. uma serra automática;
6. uma calha basculante automática com 3.000 mm;
7. um jogo de ferramentas, matriz e macho intercambiáveis para medidas de 60, 80, 100 e 120 mm (material VC-150); e
8. calibradores em bronze para 60, 80 e 100 mm.

De acordo com a Extrusion Tech Ferramentaria o custo de todos esses equipamentos seria de R\$380.000,00 (Djalma Oliveira, gerente de projetos da Extrusion Tech Ferramentaria, 2018, informação pessoal).

4.4 Análise de viabilidade econômica e financeira

Nas análises de empreendimentos produtivos, é desejável o conhecimento de indicadores financeiros e econômicos. Cada um deles utiliza medidas de resultados, que permitem a avaliação do projeto por parte dos empreendedores e dos tomadores de decisões. Para a análise financeira em questão foram adotadas as seguintes premissas: 1) o modelo de produção é apenas por extrusão; 2) o material reciclado é recebido separado, limpo e no tamanho ideal para a moagem; 3) todo o investimento é realizado no início do empreendimento; 4) a taxa de juros aplicada é igual a 1,5% acima da Selic (9%); JORNAL ESTADO DE MINAS (2018). 5) os preços dos itens de investimentos, exceto extrudora, estimados com base em *sites* de vendas da internet; 6) todo o transporte de matéria-prima e de produtos é terceirizado; 7) considera-se a produção mensal de 3.800 mourões de cada mourão viável estruturalmente (comprimento 2.200 mm, espessura de parede 3 mm e diâmetros de 60, 80 e 100 mm); 8) os mourões de diâmetro 60, 80 e 100 mm possuem preços de venda respectivamente R\$ 10,00, R\$ 12,00 e R\$ 14,00; 9) o

custo de venda/tonelada é de R\$ 100,00 (custo comercial: vendedor, comissão, etc.); 10) o custo da tonelada da matéria-prima é de R\$ 1.000,00; 11) o custo logístico/tonelada é de R\$ 200,00 (custo para transporte de matéria-prima e produtos); 12) o preço do KWh de energia elétrica é R\$ 0,50; 13) o imposto sobre o faturamento é de 18% (IPI, ICMS, IR, etc.); 14) é adotado um valor para contingência de 25% dos custos (despesas extras para a fase de plano de negócios); 15) as horas de trabalho mês/funcionário é de 144; 16) a empresa tem quatro funcionários para operação (um trabalhando com os moinhos de navalhas; dois com a extrusora; e um com a talha manual); um funcionário para manutenção; e dois funcionários para administração; e 17) a análise econômica e financeira foi realizada considerando um fluxo de caixa de 10 anos.

Foi desenvolvido um conceito do processo produtivo (Figura 23 e Tabela 10) e levantaram os principais equipamentos necessários para o funcionamento da empresa, sendo feitas as suas cotações. Com base nessas informações, foram estimadas as despesas e receitas dos mourões produzidos (Figura 23). Para maiores informações sobre as despesas, receitas e equipamentos mecânicos utilizados no processo, verificar tabelas no Apêndice (Tabelas 1A, 2A e 3A).

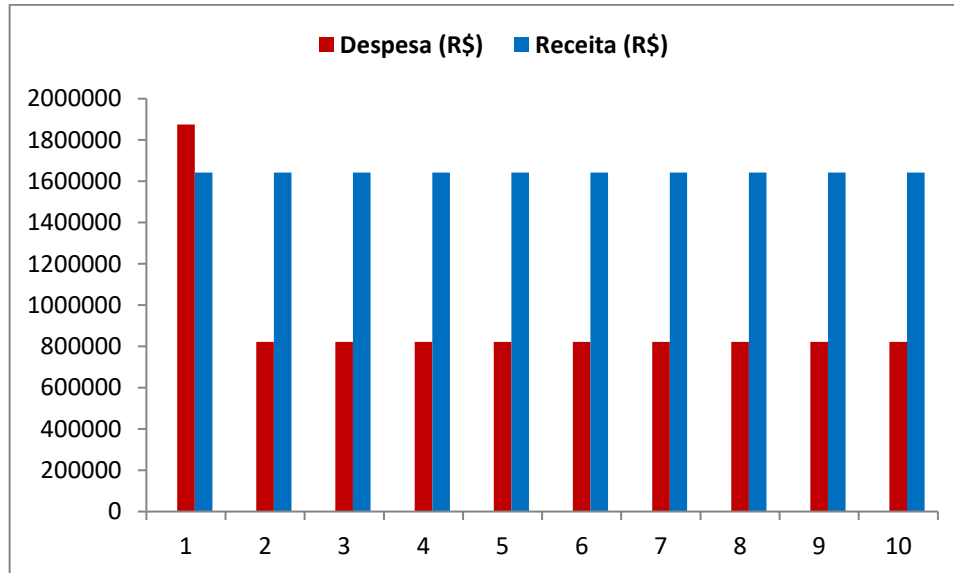


Figura 23 – Despesas e receitas do empreendimento considerando um fluxo de caixa de 10 anos.

Fonte: elaborada pelo autor.

Por meio da Figura 23, percebe-se que a maior despesa se refere ao primeiro ano (R\$ 1.875.254,00) de investimento, devido aos investimentos iniciais para a instalação do empreendimento. Nos anos posteriores, a despesa se mantém constante (R\$ 821.504,00).

Em relação à receita, o valor se mantém constante (R\$ 1.641.600,00). Ressalta-se que esses valores são considerados válidos somente para as premissas de análise do empreendimento e se todos os mourões produzidos fossem vendidos.

As Tabelas 10 e 11 mostram a análise econômica e financeira do empreendimento por meio do uso de alguns indicadores.

Tabela 10 – Fluxo de caixa, VPL, TIR, *payback*, *payback* descontado e taxa de rentabilidade

Anos Após Instalação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Fluxo de Caixa (R\$)	-381.271,30	616.952,90	566.011,90	519.276,90	476.400,90
Valor Presente Líquido (VPL)	-1.435.021,32	616.952,92	566.011,85	519.276,93	476.400,85
TIR (%)	NA	-57	-12	9	20
<i>Payback</i> descontado (R\$)	NA	-818.068,40	-252.056,54	267.220,39	743.621,24
Taxa de Rentabilidade (%)	NA	-0,78	-0,24	0,25	0,71
Anos Após Instalação	Ano 6	Ano 7	Ano 9	Ano 9	Ano 10
Fluxo de Caixa (R\$)	437.065,00	400.977,10	367.868,90	337.494,40	309.627,90
Valor Presente Líquido (VPL)	437.065,00	400.977,07	367.868,87	337.494,38	309.627,87
TIR (%)	26	29	31	32	33
<i>Payback</i> descontado (R\$)	1.180.686,24	1.581.663,31	1.949.532,18	2.287.026,56	2.596.654,42
Taxa de Rentabilidade (%)	1,12	1,50	1,85	2,17	2,46

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 11 – Consolidação do VPL, TIR e Taxa de rentabilidade após 10 anos

Consolidação em 10 Anos	
Valor presente líquido (VPL) = R\$ 309.627,87	
TIR (%) = 33%	
<i>Payback</i> descontado	3,00 Ano(s)
Taxa de rentabilidade = 2,46	

Fonte: elaborada pelo autor.

Com base no fluxo de caixa elaborado a partir do investimento inicial, custos operacionais e benefícios (receitas) apresentados e discutidos anteriormente, foram obtidos os indicadores de viabilidade descritos na metodologia. Iniciando pelo PPD (*payback* descontado), observa-se que o tempo necessário para recuperar o investimento feito no projeto é de 3 anos. Conforme destacam Woiler e Mathias (1996), este critério de viabilidade deve ser utilizado da seguinte forma: aceitar os projetos cujo tempo de retorno do investimento inicial é menor ou igual a um prazo limite definido pelo inves-

tidor. Como o período estipulado para análise foi 10 anos e o período de retorno do investimento foi de 3 anos, o projeto torna-se viável.

Quanto ao valor presente líquido (VPL), o do presente projeto foi de R\$ 309.627,87, indicando que ele acrescenta riqueza para a empresa no referido montante. Destaca-se que o VPL encontrado é significativo, uma vez que representa aproximadamente 2,46 vezes (taxa de rentabilidade) o valor do investimento inicial, indicando elevado potencial de retorno.

A taxa interna de retorno (TIR) encontrada para o projeto foi de -57% no segundo ano atingindo 33% após o décimo ano (período estimado para estudo), sendo maior que o custo de capital a partir do quinto ano (taxa de 9% ao ano cobrada em razão do financiamento concedido e a TIR no quinto ano é 20%). Dessa forma, a rentabilidade do projeto em estudo mostra-se adequada em comparação ao custo do capital envolvido, rendendo para a empresa taxa de juros composta de 20% ao ano no quinto ano, atingindo 33% no décimo ano (período estimado para estudo).

Por fim, o IL (índice de lucratividade, também chamado de taxa de rentabilidade) obtido foi de 2,46, indicando que, para cada real investido no projeto, obtém-se R\$ 2,46 em termos de valor presente dos futuros fluxos de caixa. Nesse sentido, o montante despendido pela empresa no projeto, além de totalmente recuperado, permite acumulação de riqueza.

5. CONCLUSÃO

Todos os mourões de PET testados foram aprovados segundo o critério adotado nas premissas deste trabalho. Porém, sob o ponto de vista econômico, somente o mourão PET com núcleo oco, espessura de parede 3 mm e produzido por extrusão foi considerado apto. Observou-se que, por meio de análise determinística do projeto, ele se mostrou viável, já que todos os indicadores utilizados sugerem que a implementação do produto é rentável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUNOS ONLINE. **PET**: um poliéster importante. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/pet-um-poliester-importante.html>>. Acesso em: 13 out. 2018.
- APRILE, F. M.; DELITTI, W. B. C.; BIANCHINI JR., L. Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeira em ambientes aquático e terrestre. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 485-492, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PET (ABIPET). **Reciclagem** – benefícios da reciclagem PET. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html>>. Acesso em: 05 jul. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9480, de maio de 2009. **Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7176. **Mourões de concreto armado para cercas de arame – requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PLÁSTICOS (ABIPLAST). **Relatório anual**. Perfil da Indústria Brasileira de Transformados Plásticos 2013. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2017
- ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. New York, John Wiley, 1990. p. 29-39.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2015**. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- JANKOWSKY, Ivaldo P.; BARILLARI, Cristiane T.; FREITAS, Viviane de Paula. 2002. Preservação. **Revista da Madeira**, Edição nº 68, dez. 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=264&subject=Preserva%E7%E3o&title=Preserva%E7%E3o>. Acesso em: 03 set. 2017.
- BIDDAPPA, C. C.; CHINO, M.; KUMAZAWA, K. Migration of heavy metals in two Japanese soils. **Plant Soil**, v. 66, p. 299-316, 1982.
- BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. M.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 161 p.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. 7. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. 526 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA nº 27, 05 de junho de 2006, alterada pela IN SDA nº 7, de 12 de abril de 2016, republicada em 02/05/2016**. Brasília: MAPA, 2016.

CARDOSO, D. **Um modelo relacional entre macroambiente, ambiente competitivo, postura estratégica e desempenho organizacional: Um estudo no setor siderúrgico**. 2007. 224 f. Tese (Doutorado em Administração) –Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CARVALHO, P. S. L. D.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. D. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 41, 2015.

CAUSSY, D. Case studies of the impact of understanding bioavailability: arsenic. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 56, p. 164-173, 2003.

CARRER, D. Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC). **Pesquisa alerta para perigo de liberação de elementos tóxicos na queima de madeira tratada com CCA**. 2013. Disponível em: <<http://www.fapesc.sc.gov.br/1904-pesquisa-alerta-para-perigo-de-liberacao-de-elementos-toxicos-na-queima-de-madeiratratada-com/>>. Acesso em: 12 out. 17.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). **O sucateiro e a coleta seletiva**. Reciclagem & Negócios – Mercado de Sucatas, CEMPRE, São Paulo, 2005. 32 p.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA – CRQ 13ª Região. 2012. **Curiosidades e cuidados com madeiras tratadas**. Disponível em: <http://www.crqsc.gov.br/templates/_175/noticia_visualizar.jsp?idEmpresa=60&idNoticia=7591&idUser=1713180&idCategoriaNoticia=0&area=1>. Acesso em: 19 set. 17.

CONSTRUTORA CMARC. **Mourão de concreto (palanque) para cerca de arame e alambrado**. Disponível em: <<http://cmarc-engenharia.blogspot.com.br/2014/05/cerca-alambrado-mourao-de-concreto.html>>. Acesso em: 02 fev. 2018

CORTECCI, G. **Geologia e saúde**. 2003. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/geosaude.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA (DAMEC). **Materiais pliméricos**. Modulo 1 – conceitos e definições. Curitiba: UTFPR, 2018.

DEJA, J.; ULIASZ-BOCHENCZYK, A.; MOKRZYCKI, E. CO₂ emissions from polish cement industry. **International Journal of Greenhouse Gas Control.**, v. 4, p. 583-588, 2010.

EASTMAN. **Technical data sheet**. Eastapak polymer 9921. 2018. Disponível em: <Eastman I The results of insight>. Acesso em: 12 mar. 2018.

ECYCLE. **Reciclagem de garrafas Pet**. Disponível em <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/57-plastico/231-reciclagem-garrafas-pet.html>. Acesso em: 2 ago. 2017.

ENGEPLAS. **Mourões de madeira plástica** – preços de fábrica. 2017. Disponível em: <http://www.engeplas.com.br/banners/banners_ver.asp?fcodi=4>. Acesso em: 13 set. 2017.

ELKHATIB, E. A.; BENNET, O. L.; WRIGHT, R. J. Arsenite sorption and desorption in soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 48, p. 1025-1029, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Transferência de tecnologia florestal**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

FERRARINI, S. F. **Estabelecimento de metodologia para remoção de cobre, cromo e arsênio de resíduos de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado - CCA**. 2012. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FIGUEIREDO, A. L.; ALVES, A. P. M.; FENANDO JUNIOR, V. J.; ARAUJO, A. S. Reciclagem terciária do poli(etileno tereftalato) visando a obtenção de produtos químicos e combustível: uma revisão. **Rev. Virtual Quím.**, v. 7, n. 4, p. 1145-1162, 2015.

FREITAS, A. R. Mourões de madeira preservada: maior durabilidade e maior economia. **Atualidades Agrônomicas**, n. 8, p. 13, 1976.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. Durabilidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake preservada por processos sem pressão – avaliação de ensaios de campo. **Scientia Forestalis**, v. 33, p. 59-64, 1986.

GERALDO, F. C. Mourões para cercas: a renovação necessária. **Revista da Madeira**, n. 115, jul. 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1292subject=E maisetitle=Mourões para cercas: a renovação necessária>. Acesso em: 04 jan. 2018.

GERDAU. **Mourão de aço Gerdau**. 2018. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/pt/produtos/mourao-de-aco-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

GJOVIK, L. R.; BAECHLER, R. H. **Selection, production, procurement and of preservative treated wood**. Madison: Forest Products Laboratory. 1977. 37 p.

GLOBAL **Cement report**. International Cement Review. 11th Edition. 2015. 386 p. Disponível em: <<https://www.cemnet.com/content/publications/Global-Cement-11/Global-Cement-Report-World-Overview.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. da; NÓBREGA, M. V. da. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para o uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n. 5. p. 537-542, set./out. 2007.

GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. da; NÓBREGA, M. V. da. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para o uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5. p.537-542, set./out. 2007.

GORETTI, C. **Uma breve história do concreto armado**. PET Engenharia Civil, UFJF, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2013/07/31/a-historia-do-concreto-armado/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest and wood service – an introduction**. Iowa: Iowa University, 1985. 495 p.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. 1. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IABR). **Relatório de sustentabilidade 2014**. 2016. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_Sustentabilidade_2014.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2017.

JACOBS, L. W.; SYERS, J. K.; KEENEY, D. R. Arsenic adsorption by soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 34, p. 750-754, 1970.

JACOMINO, V. M. F.; CASTRO, L. F. A.; RIBEIRO, E. D. L. *et al.* **Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente. Segrac Editora e Gráfica Ltda., 2002. 302 p.

JACQUES, L. **História do plástico**. 2011. Disponível em: <<https://nossofuturoroubado.com.br/historia-do-plastico/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

JAMBECK, J.; WEITZ, K.; SOLO-GABRIELE, H.; TOWNSEND, T.; THORNELOE, S. CCA-Treated wood disposed in landfills and life-cycle trade-offs with waste-to-energy and MSW landfill disposal. **Wast Manag.**, v. 27, n. 8, p. S21-28, Apr. 2007.

JATOBÁ, I. **Impactos ambientais das siderúrgicas**. Universo Jatobá. 2013. Disponível em: <<http://www.universojatoba.com.br/sustentabilidade/consumo-consciente/impactos-ambientais-das-siderurgicas>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

JORNAL ESTADO DE MINAS (EM). **Projeção do Focus para Selic no fim de 2017 e de 2018 permanecem em 7,50% ao ano**. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2017/08/14/internas_economia,891675/projecao-do-focus-para-selic-no-fim-de-2017-e-de-2018-permanecem-em-7.shtml>. Acesso em: 13 jan. 2018.

SILVA, B. A.; SCHMID, A. L.; TAVARES, S. F. **Materiais naturais e qualidade do ar nos interiores** – o caso dos preservativos de madeira. In: ENCONTRO NACIONAL, 6., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 4., 2011. Vitória. **Anais...** Vitória: ELECS, 2011. 6 p. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_103.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

KHAN, D. H.; FRANKLAND, B. Effects of cadmium and lead on radish plants with particular reference to movement of metals through soil profile and plant. **Plant Soil**, v. 70, p. 335-345, 1983.

LARSSON, T. **Multibody dynamic simulation in product development**. Division of Computer Aided Design – Department of Mechanical Engineering – Lulea University of Technology, Lulea, 2001.

LELIS, A. T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J. L. G. et al. **Manual de biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: IPT, 2001. 54 p.

LUNZ, A. M.; CARVALHO, A.G. Degradação da madeira de seis essências arbóreas dispostas perpendicularmente ao solo causada por Scolytidae (Coleoptera). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 351-357, 2002.

MACHADO, J. S. P. **Projetos econômicos: uma abordagem prática de elaboração**. São Paulo: Nobel, 2002. 182 p.

MALARD, A. A. M. **Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais**. 2009. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

MARAGON, E. **Aspectos do comportamento e da degradação de matrizes de concreto de cimento Portland reforçados com fibras provenientes da reciclagem de garrafa pet**. Trabalho de conclusão de curso. 2004. 74 f. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2004. Disponível em: <www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2003/Aspectos_do_Comportamento_e_da_Degradacao_de_Matrizes_de_Concreto_de_Cimento_Portland_Reforçados_com_Fibras_PET.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MARQUES, L. **Substituindo peixes por plástico**. 2017. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/substituindo-peixes-por-plastico>>. Acesso em: 25 dez. 2017.

MASSCHELEYN, P. H.; DELAUNE, R. D.; PATRICK JR., W. H. Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. **Environ. Sci. Technol.**, v. 25, p. 1414-1418, 1991.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, p. 75-96, 2012.

MINOVES, J. S.; GUIMARÃES, E. H. R.; AFONSO, T.; JEUNON, E. E. Logística direta e logística reversa na produção do aço: estudo de caso em uma empresa siderúrgica. **Revista Inovação, Projetos e Tecnologias**, v. 3, n. 1, p. 137-151, 2015.

MONTANA QUÍMICA S.A. **Guia da madeira: industrialização**. 2011. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Industrializacao/>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

OHGAMI, N.; YAMANOSHITA, O.; THANG, N. D.; YAJIMA, I.; NAKANO, C.; WENTIG, W.; OHNUMA, S.; KATO, M. Carcinogenic risk of chromium, copper and arsenic in CCA-treated wood. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 456-460, 2015.

OLIVEIRA, D. Gerente de projetos da Extrusion Tech Ferramentaria. Informação pessoal, 2018.

PESQUISA DO QUILO DA LATINHA DE ALUMÍNIO, PAPEL E GARRAFA PET PARA RECICLAGEM COMPRA. Disponível em: <<http://www.mercadomineiro.com.br/pesquisa/lata-aluminio-pet-papel-pesquisa-precos>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. Metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. In: SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. (Ed). **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. p.205-232.

RECICLOTECA. Centro de informações sobre reciclagem e meio ambiente. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/?post_type=material-reciclavel&p=73>. Acesso em: 15 set. 2017.

RESO AMBIENTAL. **Polietileno: o que é e onde é utilizado**. 2015. Disponível em: <<http://resoambiental.com/2015/07/polietileno-o-que-e-onde-e-utilizado/>>. Acesso em 24 jul. 2017.

SAKATA, M. Relationship between adsorption of arsenic (III) and boron by soil and soil properties. **Environ. Sci. Technol.**, v. 21, p. 1126-1130, 1987.

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE (ANPPAS), 2., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ANPPAS, 2004. p. 1-18. Disponível em: <http://www.ifch.unicamp.br/profseva/anppas04_SantiSeva_cimento_RMBH.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2012.

SANTIAGO, A. C.; GALETI, P. A. Preservação de madeira. **Jornal da Armazenagem**, n. 15, p. 12, 1982.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1988. 125 p.

SANTOS, S. P.; MUZARDO, C. D.; PINHEIRO, L. M. **Estruturas de concreto**. 2004. (apostila). Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, M. Mecanismos de tolerância de plantas a metais pesados. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. Cap.16, p. 420-432.

SANTOS, V. L. **Estudo da dinâmica vertical de um veículo através da teoria de sistemas multicorpos**. Trabalho de conclusão de curso. 2007. 132 p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

SARGENTELLI, V.; MAURO, A. E.; MASSABNI, A. C. Aspectos do metabolismo do cobre no homem. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 290-293, 1996.

SCHMOGER, M. E. V.; OVEN, M.; GRILL, E. Detoxification of arsenic by phytochelations in plants. **Plant Physiology**, v. 122, n. 3, p. 793-801, 2000.

SILVA, J. C. Madeira preservada – os impactos ambientais. **Revista da Madeira**, Viçosa, edição nº 100, nov. 2006.

SILVA, B. et al. (2011, p. 6). Materiais naturais e qualidade do ar nos interiores – o caso dos preservativos de madeira. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_103.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

SIMÕES, C. **Cuidado ao queimar madeira tratada!** 2008. Disponível em: <<http://ambientedaserra.blogspot.com.br/2008/02/cuidado-ao-queimar-madeira-tratada.html>>. Acesso em 29 out. 17.

SOLO-GABRIELE, H.; TOWNSEND, T. Disposal practices and management alternatives for CCA-treated wood waste. **Waste Management**, v. 17, p. 378-389, 1999.

SOUZA, L. A. **Polímeros termoplásticos e termofixos**. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/polimeros-termoplasticos-termofixos.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

THOMASSON, G.; CAPIZZI, J.; DOST, F.; MORRELL, J.; MILLER, D. **Wood products treatment** – Training manual. Oregon: Oregon State University. Extension Service. Disponível em: <<http://www.oregon.gov/ODA/shared/Documents/Publications/PesticidesPARC/WoodProductsTreatmentTrainingManual.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

UNGER, A. **Conservation of wood artifacts**. Londres: Springer, 2001.

UNIÃO MADEIRAS. **Importância do tratamento da madeira**. 2018. Disponível em: <<http://www.uniaoecaliptotratado.com/informativo/eucalipto-tratado-durabilidade-15/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

USA. Code Federal Regulations – Protection of Environment – 40 CFR. Part 260. Burning of hazardous waste in boilers and industrial furnaces. Final rule. **US Federal Register**. v. 56, n. 35, p. 7134-7210. Feb 21, 1991.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. _____. **Regulatory determination on cement kiln dust**. 1996. 14 p. Disponível em: <www.epa.gov>. Acesso em: 25 jan. 2018.

WELCH, J. E.; LUND, L. J. Zinc movement in sewage-sludge treated soils as influenced by soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level. **Soil Sci.**, v. 147, p. 208-214, 1989.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Metal movement in sludge treated soils after six years of sludge addition: 2. Nickel, cobalt, iron, manganese, chromium, and mercury. **Soil Sci.**, v. 140, p. 120-125, 1985.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, análise e elaboração**. São Paulo: Atlas, 1996. 294 p.

ZIKMUND, W. G.; STANTON, W. T. Recycling solid wastes: a channel of distributions problem. **Journal of Marketing**, n. 35, v. 3 p. 34-39, 1971.

APÉNDICE

APÊNDICE A

Tabela 1A – Lista de mourões

Item	Descrição	Material	Comprimento	Diâmetro	Espessura	Volume	Densidade	Massa	Flecha Max.
			b	D	e	$V = ((\pi * D^2) / 4) * e * b$	ρ	$P = \rho * V$	(30 daN)
			mm	mm	mm	m ³	kg/m ³	kg	mm
1	Mourao 2200mm-D60mm-E3mm	PET	2200	60	3	0,0012	1400	1,65	0,709
2	Mourao 2200mm-D80mm-E3mm	PET	2200	80	3	0,0016	1400	2,24	0,288
3	Mourao 2200mm-D100mm-E3mm	PET	2200	100	3	0,0020	1400	2,82	0,145

Continua...

Tabela 1A, cont.

Item	Descrição	Processo		Estimativa de Venda		Estimativa de Receita			Consumo de Matéria-Prima por Processo/Peça (t/ano)	
		Extrusão		Mensal (unid.)	Anual (unid.)	Preço Venda (R\$)	Mensal (und.) (R\$)	Anual (und.) (R\$)	kg/mês	t/ano
1	Mourao 2200mm-D60mm-E3mm	3800	45600			10,00	38.000,00	456.000,00	6287,533	75,4503993
2	Mourao 2200mm-D80mm-E3mm	3800	45600			12,00	45.600,00	547.200,00	8493,685	101,924224
3	Mourao 2200mm-D100mm-E3mm	3800	45600			14,00	53.200,00	638.400,00	10699,84	128,398048
Total										305,7726713

Tabela 2A – Análise de viabilidade financeira (custo x receita)

Anos após Instalação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Taxa Anual de Juros:	9,0%		Preço do kWh de Energia		R\$ 0,5		Horas de trabalho mês/funcionário			144
Custo de Venda /tonelada	R\$ 100,0		Custo da Ton mat. Prima		R\$ 1.000,0		Custo Logístico/tonelada			R\$ 200,0
Imposto sobre faturamento	18,0%									
CAPEX (Custo Instalação (R\$))										
Investimentos										Custo (R\$)
Moinhos de Navalhas - Ref. MF500 - Mecanofar	R\$ 40.000,00									
Silo de Estocagem/Secagem com Alimentador	R\$ 30.000,00									
Extrudora	R\$ 380.000,00									
Ferramental	R\$ 0,00									
Torre de Resfriamento	R\$ 80.000,00									
Bomba de água de resfriamento	R\$ 15.000,00									
Talha Manual	R\$ 3.000,00									
Terreno para Instalação	R\$ 60.000,00									
Galpão	R\$ 150.000,00									
Instalações em Geral	R\$ 60.000,00									
Projeto e Licenciamento	R\$ 25.000,00									
Contigência	R\$ 210.750,00									
Custo Total do Investimento (ano)	R\$ 1.053.750,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Valor Presente Investimento (VPI)	R\$ 1.053.750,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
OPEX (Custo de Operação&Manutenção/Ano) (R\$)										
Custos Fixos										Custo (R\$)
Operadores	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00	R\$ 93.600,00
Manutentores	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00
Administrativos	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00	R\$ 57.200,00
Custos Variáveis										
Energia Elétrica	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6	R\$ 234.199,6

Matéria-Prima	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7	R\$ 305.772,7
Logística	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5	R\$ 61.154,5
Venda	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3	R\$ 30.577,3
Total (Fixos+Variáveis)	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0	R\$ 821.504,0

Receitas (R\$)

Produto de Venda	Receita por Item:										
Mourao 2200mm-D60mm-E3mm	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0	R\$ 456.000,0
Mourao 2200mm-D80mm-E3mm	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0	R\$ 547.200,0
Mourao 2200mm-D100mm-E3mm	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0	R\$ 638.400,0
Lucro Bruto (Antes do imposto)	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0	R\$ 820.096,0
Lucro Líquido (Após imposto)	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7	R\$ 672.478,7
Valor Presente (VP):	R\$ 672.478,7	R\$ 616.952,9	R\$ 566.011,9	R\$ 519.276,9	R\$ 476.400,9	R\$ 437.065,0	R\$ 400.977,1	R\$ 367.868,9	R\$ 337.494,4	R\$ 309.627,9	R\$ 277.173,9
Fluxo de Caixa:	-R\$ 381.271,3	R\$ 616.952,9	R\$ 566.011,9	R\$ 519.276,9	R\$ 476.400,9	R\$ 437.065,0	R\$ 400.977,1	R\$ 367.868,9	R\$ 337.494,4	R\$ 309.627,9	R\$ 277.173,9
Valor Presente Líquido (VPL)	-R\$ 1.435.021,32	R\$ 616.952,92	R\$ 566.011,85	R\$ 519.276,93	R\$ 476.400,85	R\$ 437.065,00	R\$ 400.977,07	R\$ 367.868,87	R\$ 337.494,38	R\$ 309.627,87	R\$ 277.173,87
TIR	NA	-57%	-12%	9%	20%	26%	29%	31%	32%	33%	34%
Payback	NA	R\$ 235.681,60	R\$ 801.693,46	R\$ 1.320.970,39	R\$ 1.797.371,24	R\$ 2.234.436,24	R\$ 2.635.413,31	R\$ 3.003.282,18	R\$ 3.340.776,56	R\$ 3.650.404,42	R\$ 3.950.000,00
Payback descontado	NA	-R\$ 818.068,40	-R\$ 252.056,54	R\$ 267.220,39	R\$ 743.621,24	R\$ 1.180.686,24	R\$ 1.581.663,31	R\$ 1.949.532,18	R\$ 2.287.026,56	R\$ 2.596.654,42	R\$ 2.900.000,00
Taxa de rentabilidade	NA	-0,78	-0,24	0,25	0,71	1,12	1,50	1,85	2,17	2,46	2,75

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 3A – Lista de equipamentos mecânicos

Área	TAG	Descrição	Quantidade	Capacidade Operacional Unitária		Características	Potência Unitária [kW]	Peso Unitário [kg]	Condição de Operação
				Nominal	Projeto				
Moagem	MO-01	Moinhos de Navalhas	01	250 kg/h	90 kg/h	Moinho de navalhas fixas e rotativas. Ref. Mecanofar - MF500	40	1.050	8 h/dia (1 turno)
Moagem	SI-01	Silo de Estocagem com Secador e Autoalimentador Automático	01	3 m ³	3 m ³	Moinho de navalhas fixas e rotativas. Ref. SI 4S 3000I - Ineal	21	280	Constante
Extrusão	EX-01	Extrudora com Puchador e Serra	01	90 kg/h	90 kg/h	Extrusora Monorosca Ref.: Extrusion Tech	90	Hold	16 h/dia (2 turnos)
Extrusão	BA-01	Bomba de Água de Refrigeração	01	Hold	Hold	Centrífuga Horizontal Ref. KSB (Hold)	Hold	Hold	16 h/dia (2 turnos)
Extrusão	TR-01	Torre de Resfriamento	01	Hold	Hold	Torre em PRV com Ventilador Ref. Alpina (Hold)	Hold	Hold	16 h/dia (2 turnos)
Geral	TM-01	Talha manual	01	3,0 ton	3,0 ton	Talha Manual com correntes e trole suspensa em trilhos Ref. Koch	NA	50	Carregamento de produtos e manutenção das máquinas

Fonte: dados da pesquisa.