



Instituto Politécnico de Coimbra

Instituto Superior de Engenharia

**Modelação por séries Temporais. Aplicação à estimação da
produção de aço**

Balduino Patrício César Mateus

**Dissertação para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial**

Coimbra

2019



Departamento
de Engenharia Química e Biológica

Modelação por séries Temporais. Aplicação à estimação da produção de aço

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Balduino Patrício César Mateus

Orientador

Luís Manuel Santos Melo Margalho

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, junho, 2019

*Importância Deus,
Importância á ti ,
Importância aos seus."
Sem definir limites."*

~

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, que permitiu a minha existência e de uma forma abstracta sempre me ajudou no meu percurso. Em segundo quero agradecer a minha mãe que desde sempre me ensinou a disciplina do trabalho. Quero agradecer de tudo o Professor Margalho, pelo ensinamento passado e pelo tempo disponível que apesar das suas múltiplas ocupações esteve sempre presente ao longo deste processo da elaboração da dissertação.

Em quarto lugar quero também agradecer ao professor Celestino que disponibilizou o seu pouco tempo para a revisão da parte literária do ferro, ajuda dada que foi imprescindível para elaboração de um bom trabalho. Também quero agradecer ao Professor Fernando Simões pela ajuda dada na compreensão da base de dados.

Por último gostaria de agradecer a minha família que apesar das dificuldades e da distância conseguiram manter o contacto. porque diz o velho ditado "a união faz a força", de uma certa forma sou grato a esta união e a força.

RESUMO

Cada vez mais a globalização tem a noção da importância de efetuar previsões frente a alguns fenômenos que podem ocorrer, como por exemplo catástrofes naturais ou conflitos armados, uma vez que estes são um dos factores que apresentam grande influência na estabilidade económica e política de um país. Por consequência as empresas têm desenvolvido a procura de respostas sólidas de forma a reunir condições bastante suficientes para que se faça frente aos problemas.

O presente estudo utiliza as séries temporais (ARMA e SARIMA) de forma a ser possível a construção de um modelo de previsão que melhor se ajusta aos dados de produção do aço, no caso, o país da comunidade europeia com valor de produção e consumo significativo de aço (Alemanha). Com a utilização das séries temporais, foi possível apresentar previsões que melhor se ajustam num espaço de tempo de 5 anos.

Neste trabalho é apresentado um estudo exploratório relativamente à produção do aço, tendo como base de estudo a produção de ferro/aço da Alemanha. A previsão mostra o crescimento do processo que futuramente pode ser uma mais valia as empresas devido a sua eficiência no que diz respeito à produção de aço, gerando assim práticas sustentáveis e saudáveis ao meio ambiente. Também foram apresentados fatores que podem ser importantes para uma futura prática da economia circular.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento e análise do estudo estatístico é o software open *source R studio*.

Palavras-chaves: Aço, Produção, Séries temporais, ARMA, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Increasingly globalization is aware of the importance of forecasting some phenomena that may occur, such as natural disasters or armed conflict, as these are one of the factors that have a great influence on the economic and political stability of a country. As a consequence, companies have developed a search for sound answers so as to bring in enough conditions to deal with the problems. The present study uses the time series (ARMA and SARIMA) in order to be able to construct a forecast model that best fits the steel production data, in this case the country of the European community with significant production and consumption value of steel (Germany). With the use of the time series, it was possible to present forecasts that best fit within a period of 5 years.

In this work an exploratory study is presented concerning steel production, based on the study of iron / steel production in Germany. The forecast shows the growth of the process that in the future can be a value to the companies due to its efficiency with respect to the production of steel, thus generating sustainable and healthy practices to the environment. Also presented were factors that may be important for a future circular economy practice. The tools used for the development and analysis of the statistical study are the open source software R studio.

Keywords: Steel. Production. Time series. ARMA. Sustainability

ABREVIATURAS

ACF - Autocorrelation Function

ADF - Augmented Dickey-Fuller

AIC - Akaike's Information Criterion

AR - Autoregressive model

ARIMA - Autoregressive Integrated Moving Average

ARMA - Autoregressive–moving-average model

BIC - Bayesian Information Criterion

CO₂ - Dióxido de carbono

MA - Moving-average model

Fe – Ferro

USA - United States of America

RCLE - Regime de comércio de licenças de emissão

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PIB - Produto interno bruto

Mt - Milhões toneladas

IISI - International Iron and Steel Institute

M.P.A - Material Para a Produção do Aço

S.P.A - Sucata Para a Produção do Aço

SIMBOLOS

λ -Letra grega minúscula Lambda

β - Letra grega minúscula Beta

ϵ -Letra grega minúscula Èpsilon

Θ -Letra grega maiúscula Theta

θ - Letra grega minúscula Theta

Γ - Letra grega maiúscula Gamma

γ - Letra grega minúscula Gamma

ρ - Letra grega minúscula Ró

μ - Letra grega minúsculo mu

π - Letra grega minúscula pi

Π – Pi maiúscula

FIGURAS

Figura 1 - Tabela Periódica (Completa, 2019) -----	6
Figura 2 – Construção Da Sustentabilidade-----	8
Figura 3 – Produção Do Aço Global (Worldsteel Association)-----	10
Figura 4 – Segmentação Do Uso Do Aço (Worldsteel Association).-----	10
Figura 5 - Heterogeneidade Dos Coeficientes Na Ocde (Crompton, 2015) -----	12
Figura 6 – Previsão De Consumo De Aço (Xiang E Wenying, 2013). -----	13
Figura 7 – Previsão Da Procura De Aço Para Construção De Edifícios (Xiang E Wenying, 2013). ---	14
Figura 8 – Sensibilidade Do Consumo De Aço A Quatro Parâmetros (Xiang E Wenying, 2013). -----	15
Figura 9 – Processo De Produção E Conformação Das Ligas Ferrosas. -----	17
Figura 10 – Fornos De Forno Aberto (Stell Script, 1991).-----	18
Figura 11 – Fornos Oxigénio (Infomet) -----	19
Figura 12 – Fornos Elétrico (Rizzo, 2006)-----	20
Figura 13 – Sucata De Aço (Rcr Sucatas).-----	21
Figura 14 – Principais Variáveis Em Estudo -----	38
Figura 15 - Variáveis Em Estudo -----	41
Figura 16 – Autocorrelação Produção A Partir Do Minério De Ferro-----	42
Figura 17 – Autocorrelação Produção A Partir Dos Ferros Da Sucata. -----	43
Figura 18 – Resultados Dos Modelos (Material Para A Produção Do Aço).-----	44
Figura 19 – Resultados Dos Modelos (S.P.A).-----	45
Figura 20 – Teste De Shapiro-Wilk (M.P.A E S.P.A) -----	45
Figura 21 – Comportamento Dos Modelos (M.P.A E S.P.A). -----	46
Figura 22 – Teste De Ljung-Box (M.P.A E S.P.A) -----	46
Figura 23 – Previsão Da Produção A Partir Do Minério De Ferro. -----	48
Figura 24 – Previsão Da Produção A Partir Dos Ferros Da Sucata. -----	49
Figura 25 – Autocorrelação Produção A Partir Do Aço Bruto-----	50
Figura 26 – Teste Lung-Box (Aço Bruto).-----	50
Figura 27 – Resultados Dos Modelos (Aço Bruto)-----	51
Figura 28 – Teste Shapiro-Wilk (Aço Bruto).-----	51
Figura 29 – Comportamento Das Amostras (Aço Bruto).-----	52
Figura 30 – Previsão Da Produção Do Aço Bruto. -----	53
Figura 31 –Aço Bruto Alemanha (Tradigeconomics)-----	54

TABELA

Tabela 1-Produção Mundial De Aço Pelos Principais Processos Percentual (Souza, 1991). -----	20
Tabela 2 - Comparação Dos Vários Tipos De Processo Arma(P,Q) (Monteiro,2017). -----	34
Tabela 3 - Produção Do Ferro Gusa. -----	38
Tabela 4 - Produção Do Aço Bruto-----	39
Tabela 5 - Classificação Dos Modelos (Resumo)-----	43
Tabela 6 – Valores Da Previsão (M.P.A E S.P.A). -----	47
Tabela 7 – Erro Absoluto (M.P.A E S.P.A). -----	47
Tabela 8 – Erros Relativo (M.P.A E S.P.A).-----	48
Tabela 9 – Fatores De Correção Para Dois Tipos De Produções.-----	49
Tabela 10 – Valores Da 2º Previsão. -----	52
Tabela 11 – Erro Absoluto E Relativo (Aço Bruto). -----	53

ÍNDICE

FIGURAS.....	XIII
TABELA	XV
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 MOTIVAÇÃO PARA O PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.4 SOFTWARE PARA ANÁLISE DE DADOS TEMPORAIS.....	3
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	4
CAPÍTULO 2: CONCEITOS SOBRE O FERRO	5
2.1. METAIS	5
2.2. BREVE HISTÓRIA DO FERRO E AÇO	5
2.3. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	7
2.4. SUSTENTABILIDADE	7
2.5. NECESSIDADE DE CONSUMO DO AÇO	9
2.6. INDÚSTRIA SIDERÚRGICA NA EUROPA.	10
2.7. TENDÊNCIAS E DESENVOLVIMENTO DA REQUISIÇÃO DE AÇO NA CHINA	12
CAPÍTULO 3: PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO.....	16
3.1. PROCESSO DE FABRICO DO AÇO.....	16
3.1. RECICLAGEM DO AÇO.....	21
CAPÍTULO 4: SÉRIES TEMPORAIS.....	23
4.1. DEFINIÇÃO	23
4.2 HISTÓRIA DAS SÉRIES TEMPORAIS	23
4.3. APLICAÇÕES.....	24
4.3. TIPOS DE SÉRIES TEMPORAIS.....	25
4.3.1. PROCESSO ESTACIONÁRIOS	25
4.3.2. FUNÇÃO AUTOCORRELAÇÃO.....	26
4.3.3. FUNÇÃO AUTOCORRELAÇÃO PARCIAL.....	27
4.5. RUIDO BRANCO.....	28
4.6. PROCESSOS AUTOREGRESSIVOS, AR.....	29
4.6.1. PROCESSOS AUTOREGRESSIVOS DE PRIMEIRA ORDEM, AR (1).....	29
4.6.2. PROCESSOS AUTOREGRESSIVOS DE SEGUNDA ORDEM, AR (2).....	29
4.6.3. PROCESSOS AUTOREGRESSIVOS DE ORDEM P, AR(P).....	29
4.7. PROCESSO DE MÉDIA MÓVEL.....	30
4.7.1. PROCESSOS DE MÉDIA MÓVEL DE PRIMEIRA ORDEM MA(1).....	30
4.7.2. PROCESSOS DE MÉDIA MÓVEL DE SEGUNDA ORDEM, MA(2).....	31
4.7.3. PROCESSOS DE MÉDIA MÓVEL DE ORDEM Q, MA(Q).....	32
4.8. PROCESSOS MISTOS AUTOREGRESSIVOS E MÉDIAS MÓVEIS	33

4.9. MODELO SAZONAL.....	34
4.10 CRITÉRIO DE ESCOLHA DOS MODELOS.....	35
CAPÍTULO 5: CASO DE ESTUDO.....	37
5.1. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	37
5.2. APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE.....	40
5.3. VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE.....	40
5.4. IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS.....	42
5.4.1. ESCOLHA DOS MODELOS (M.P.A).	44
5.4.2. ESCOLHA DOS MODELOS (S.P.A).....	44
5.5. TESTES DE NORMALIDADE.....	45
5.6. TESTE DE LJUNG-BOX.....	46
5.7. PREVISÃO (M.P.A E S.P.A)	47
5.8. IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS (AÇO BRUTO).	49
5.9. TESTE DE LJUNG-BOX (AÇO BRUTO)	50
5.10. ESCOLHA DOS MODELOS (AÇO BRUTO).....	51
5.11. TESTES DA NORMALIDADE (AÇO BRUTO)	51
5.12. PREVISÃO DA PRODUÇÃO (AÇO BRUTO).....	52
CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	54
DISCUSSÃO	54
CONCLUSÕES.....	55
TRABALHOS FUTUROS.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58



CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Atualmente as empresas querem estar na linha de frente no que concerne a gestão da produção, de forma a garantir uma resposta eficaz no mercado. Uma vez que há uma contínua exigência no tempo de resposta aos clientes e na qualidade dos produtos, para cumprir com estas exigências as empresas recorrem a ferramentas estatísticas que podem ajudar nas tomadas de decisões. Com base nas previsões, é possível que a empresa tenha uma ideia do seu posicionamento no mercado em um determinado período. Ter uma noção sobre as ocorrências futuras pode trazer muitas vantagens nas empresas pois, há uma maior chance de evitar acontecimentos não benéficos como por exemplo a sobrecapacidade na produção.

Atualmente uma grande preocupação das empresas é a prevenção frente a crises. Esta leva as empresas a adquirirem o auto-conhecimento dos trilhos a seguir de forma a obterem menor efeito económico caso aconteça a indesejada crise. Existem ferramentas que podem ser exploradas a fim de evitarem que as empresas caminhem em terrenos áridos, como por exemplo efetuar estudos de previsão baseados em históricos.

A indústria siderúrgica está assente no setor de elaboração tecnológica que engloba processos de obtenção de produtos à base do ferro. Estes produtos devem apresentar características e qualidade para o mercado consumidor. Para que haja sucesso no âmbito industrial é necessário que haja boas tomadas de decisões. As boas tomadas de decisões, levam a um crescimento no que diz respeito a produções e a receitas das empresas. Com o crescimento económico das empresas muitos sectores governamentais são beneficiados, como as receitas do país e a empregabilidade, o que leva a uma vantagem na economia global dos países.

Com isso os países têm tido preocupação com políticas de sustentabilidade, numa forma promocional os governos têm apresentado soluções que favorecem as empresas que praticam tais atividades (reciclagem, economia circular e gestão energética) e não a exploração massiva dos recursos naturais.

O século XX é considerado como o advento da construção de estruturas complexas, com elevada exigência mecânica, em todo o mundo. Este advento também se deu em outros setores, como por exemplo o sector petrolífero e o sector elétrico. No que diz respeito ao sector siderúrgico houve uma grande necessidade de produção de aço, que era na sua totalidade direcionada à construção civil. Um dos grandes exemplos é a construção de um complexo de benefício público (ponte do Brooklyn), com um comprimento de 1825 metros sustentada por aço na sua maioria.

O aço tem sido a sustentação fundamental no que diz respeito à transformação do modo de vida da humanidade. Após a segunda guerra mundial, o crescimento da produção do aço e da sua procura foi exponencial, com uma taxa média anual de aumento de produção de 5% no período 1945-1979. (CNPQ, 2016)

Após um período de paralisação na década de 80, a indústria siderúrgica começou um período de reestruturação, não pelo motivo da baixa procura no mercado relativamente à produção, mas sim por inovações tecnológicas em processos de produção, maior concentração acionária e menor número de trabalhadores (Costa, 2002). Estas soluções têm vindo de motivações científicas que se preocupam com a sustentabilidade do sector siderúrgico, uma vez que há uma oportunidade em tornar o mais ecológico possível.

1.2 Motivação para O Problema

A motivação para o desenvolvimento do problema da dissertação está assente na preocupação da previsão da produção do aço no mundo e na implementação da economia circular no sector, tendo como base o estudo dos dados da Alemanha. Este país foi escolhido devido à sua posição mundial no que diz respeito a produção do aço e por ser um país industrializado, uma vez que apresenta uma história sólida nos mercados do aço. A Alemanha, para além de ser um país bastante desenvolvido a nível industrial, é um país que tem uma política que leva a que as empresas encontrem caminhos sólidos de sustentabilidade. Tendo como um dos principais objetivos a preocupação com o ecossistema, o país tem apresentado ao mundo muitas soluções referentes a sustentabilidade energética, como por exemplo no setor automóvel, onde há uma

tentativa de abandono de combustíveis fósseis, no que diz respeito à geração de energia mecânica.

Hoje em dia o mundo tem apresentado uma sensibilidade no que diz respeito ao meio ambiente, há uma evolução cultural e intelectual com uma preocupação constante ao meio ambiente. Quando se fala do meio ambiente está-se a falar em diversos aspetos, como por exemplo aspetos climáticos, aspetos do ecossistema ou a qualidade do ar. Num contributo para uma melhor sociedade, é necessário que haja intervenções no modo de utilização dos recursos naturais, fazendo com a reciclagem seja uma cultura de reaproveitamento de matérias após a utilização.

Apresentando estas preocupações, surge a ideia de estudar dados da produção de aço da Alemanha, de forma a encontrar possíveis oportunidades e soluções que possam trazer vantagens às empresas siderúrgicas, reduzindo a pegada ambiental, sem que haja comprometimento nas suas receitas.

1.3 Objetivos do Trabalho

O objetivo da investigação está em elaborar uma previsão da produção do aço baseada em dados da produção de aço da Alemanha, focalizada nos principais processos de obtenção deste produto. Utilizando as amostras anteriormente referidas e um modelo ARMA (autoregressive-moving-average), é possível compreender o comportamento temporal de forma a identificar os processos de produção com melhor desempenho relativamente a produção do aço.

A partir dos dados e utilizando ferramentas estatísticas de análise de previsão, é possível compreender o comportamento dos tipos de produção do aço. Com isso, é possível mostrar às empresas siderúrgicas que existem processos mais económicos a nível energético, que diretamente poderá afetar as contas das indústrias, e que estes mesmos processos são soluções para a sustentabilidade. Além disso, o estudo apresenta comportamentos dos processos de produção de modo a evidenciar fatores de sustentação da economia circular.

1.4 Software para análise de dados temporais

Desde o aparecimento dos computadores surgiram novas formas de resolver problemas que antes eram mais complexas, através de ferramentas denominadas por *software* muitos destes problemas foram ultrapassados. Existem vários *softwares* que apresentam soluções relativamente a área de estatística, como *Excel*, *SPSS*, *matlab* e o *R studio*. Para o presente

trabalho foi escolhido o *software R studio* devido a algumas particularidades que serão apresentadas sobre o mesmo.

1.5 Estrutura do documento

A presente dissertação está organizada por capítulo e secções. Em cada capítulo são apresentados de uma forma resumida os conteúdos abordados no mesmo. No capítulo 2 serão apresentados conceitos sobre o metal em estudo, a sua importância e como este material tem acompanhado o desenvolvimento secular da humanidade. De seguida, o capítulo 3 apresentará os processos de produção mais comuns para a obtenção deste produto.

No capítulo 4 são apresentados conceitos teóricos sobre séries temporais, necessários para elaborar um modelo de previsão com sucesso. No capítulo 5 são apresentados os dados e é realizado um estudo de previsão. Por último, no capítulo 6 é feita a discussão dos resultados obtidos e são apresentadas algumas conclusões.

CAPÍTULO 2: CONCEITOS SOBRE O FERRO

O ferro tem uma grande influência na história da humanidade e tem sido um grande aliado no que diz respeito à tecnologia. Neste capítulo são abordados alguns conceitos sobre os metais, em particular o ferro, de modo a compreender a sua natureza química.

2.1. Metais

Os materiais metálicos são normalmente combinações de dois ou mais elementos químicos em que pelo menos um deles é metálico. Esses materiais possuem um número grande de elétrons não localizados, isto é, sem estarem ligados a qualquer átomo em particular. Muitas propriedades dos metais são atribuídas diretamente a tais elétrons (Borgs, 2011) como por exemplo a propriedade da condutibilidade elétrica.

Os metais são bons condutores de eletricidade e de calor, não são transparentes à luz visível e apresentam uma aparência lustrosa quando as respectivas superfícies são polidas (Torres, 2010). Além disso, os metais são geralmente muito resistentes, tendo por isso muitas aplicações em componentes estruturais como por exemplo pontes, edifícios e meio de transportes (Williamd; Callister, 2016).

2.2. Breve História Do Ferro E Aço

O ferro é classificado como um componente químico do grupo 8 da tabela periódica (Fig.1), representado com o símbolo Fe, possui número atômico 26, sendo o elemento metálico mais abundante na natureza (Alpers et al. 1990). A sua importância é histórica, devido à sua utilização desde os tempos remotos. Estas afirmações são evidenciadas em elementos arqueológicos e tal período remoto foi classificado como a idade do ferro (Beirão e Gomes, 1983).

GRUPO

PERÍODO

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

1 H hidrogênio 1,008 He hélio 4,0026

2 Li lítio 6,94 Be berílio 9,0122 B boro 10,81 C carbono 12,011 N nitrogênio 14,007 O oxigênio 15,999 F flúor 18,998 Ne neônio 20,180

3 Na sódio 22,990 Mg magnésio 24,305 Al alumínio 26,982 Si silício 28,085 P fósforo 30,974 S enxofre 32,06 Cl cloro 35,45 Ar argônio 39,948

4 K potássio 39,098 Ca cálcio 40,078 Sc escândio 44,956 Ti titânio 47,867 V vanádio 50,942 Cr cromo 51,996 Mn manganês 54,938 Fe ferro 55,845(2) Co cobalto 58,933 Ni níquel 58,693 Cu cobre 63,546(3) Zn zinco 65,38(2) Ga gálio 69,723 Ge germânio 72,630(8) As arsênio 74,922 Se selênio 78,971(8) Br bromo 79,904 Kr criptônio 83,798(2)

5 Rb rubídio 85,468 Sr estrôncio 87,62 Y ítrio 88,906 Zr zircônio 91,224(2) Nb nióbio 92,906 Mo molibdênio 95,95 Tc tecnécio [98] Ru rutênio 101,07(2) Rh ródio 102,91 Pd paládio 106,42 Ag prata 107,87 Cd cádmio 112,41 In índio 114,82 Sn estanho 118,71 Sb antimônio 121,76 Te telúrio 127,60(3) I iodo 126,90 Xe xenônio 131,29

6 Cs césio 132,91 Ba bário 137,33 Hf háfnio 178,49(2) Ta tântalo 180,95 W tungstênio 183,84 Re rênio 186,21 Os ósmio 190,23(3) Ir irídio 192,22 Pt platina 195,08 Au ouro 196,97 Hg mercúrio 200,59 Tl tálio 204,38 Pb chumbo 207,2 Bi bismuto 208,98 Po polônio [209] At astato [210] Rn radônio [222]

7 Fr frâncio [223] Ra rádio [226] Rf rutherfordio [261] Db dubnio [268] Sg seabórgio [269] Bh bóhrnio [278] Hs hássio [285] Mt meitnério [288] Ds darmastádio [289] Rg roentgênio [293] Cn copernício [295] Nh nihônio [296] Fl fleróvio [299] Mc moscóvio [300] Lv livermório [303] Ts tenessino [304] Og oganessônio [304]

72 La lantânio 138,91 Ce cério 140,12 Pr praseodímio 140,91 Nd neodímio 144,24 Pm promécio [145] Sm samário 150,36(2) Eu európio 151,96 Gd gadolínio 157,25(3) Tb térbio 158,93 Dy disprósio 162,50 Ho hólmio 164,93 Er érbio 167,26 Tm túlio 168,93 Yb ítrbio 173,05 Lu lutécio 174,97

89 Ac actínio [227] Th tório 232,04 Pa protactínio 231,04 U urânio 238,03 Np netúnio [237] Pu plutônio [244] Am amerício [243] Cm cúrio [247] Bk berquélio [247] Cf califórnio [251] Es einstênio [252] Fm fermío [257] Md mendelécio [258] No nobélio [289] Lr laurencio [262]

57-71 89-103

■ Não metais
 ■ Metais alcalinos
 ■ Semimetais
 ■ Outros metais
 ■ Lantanídeos
■ Gases nobres
■ Metais alcalino-terrosos
■ Halogênios
■ Metais de transição
■ Actinídios

3 — número atômico
 Li — símbolo químico
 nome
 peso atômico
 (ou número de massa do isótopo mais estável)

TodaMatéria toda материя.com.br

Figura 1 - Tabela periódica (completa, 2019)

Após o desenvolvimento das técnicas de trabalhar o ferro, essas técnicas foram aperfeiçoadas para outros metais como o cobre e bronze. Numa linha temporal, o homem desenvolveu e usou tais técnicas a partir de 1200 a.c no Médio Oriente, mas na Europa essas técnicas começaram a ser utilizadas a partir de 700 a.c.

A partir da idade média (476 d.c.) o ferro começou a ter um papel essencial no fabrico de ferramentas agrícolas e de locomoção, nomeadamente ferraduras para cavalos, charruas entre outros. Durante esse período, o ferro continuou a ser usado com frequência, principalmente em armas, ferramentas e armaduras de combates, ou em acessórios como espadas, dobradiças, fechaduras e grampos para união de pedras ou blocos de construção (CNPQ, 2005).

Durante os séculos XX e XXI, o ferro e as respetivas ligas (aços) têm tido uma vasta panóplia de utilizações, como componentes de máquinas industriais de pequeno, médio, e grande porte, incluindo equipamentos ou ferramentas mais básicas e também a construção de estruturas de elevada resistência mecânica (CNPQ, 2005). Como consequência da evolução dos estudos das propriedades do metal nas indústrias siderúrgicas, atualmente são produzidos diversos tipos de aços.

2.3. Evolução Histórica da Indústria Siderúrgica

A evolução da indústria siderúrgica deu-se, a partir de 1914, com as tomadas de decisão nas capitais da Europa, nomeadamente na Alemanha, que era a principal potência continental, em termos militares e económicos (Fernandes, 2003). Neste período a Alemanha tinha já passado a Inglaterra na produção do ferro gusa (produto imediato da atenuação do minério de ferro pelo coque ou carvão e calcário em um alto forno) e aço, com exclusão na produção do carvão. Antes do ano de 1914 já havia um progresso industrial fora da Europa. Por exemplo, os Estados Unidos, apresentavam uma produção do ferro gusa superior a da Alemanha. Depois da segunda guerra mundial, os Estados Unidos ficaram posicionados como a maior potência industrial do mundo. Esta afirmação deve-se à sua entrada tardia nos conflitos militares, tendo assim um período de fornecimento de material bélico para a Grã-Bretanha e os seus aliados. Após a guerra, com a Europa já pacificada, os Estados Unidos estavam a produzir 43% de todo o minério de ferro do mundo, 45% do aço bruto, 60% das locomotivas e 74% dos veículos automotores. Após a guerra, ocorreu ainda uma grande expansão industrial na Europa, devido a planos políticos de ajudas e acordos bilaterais, tornando-se assim a comercialização das matérias primas mais fácil entre os países (CNPQ, 2016).

Com a evolução industrial deu-se o aparecimento de novos conceitos, tendo como principal objetivo reduzir a pegada ambiental no sector siderúrgico.

2.4. Sustentabilidade

Desde a evolução da ciência dos materiais, a engenharia do ferro e aço procurou sempre utilizar tecnologias de altos benefícios, tanto económico como ecológico. Um dos desafios está diretamente relacionado com o sector dos transportes, uma vez que esses metais incorporam uma boa parte das estruturas dos veículos (Fernandes, 2003).

O conceito de sustentabilidade foi apresentado pela primeira vez em 1994 por Charles, durante a Conferência Internacional sobre Construção Sustentável que teve lugar em Tampa, cidade da Flórida, USA, em que é definida da seguinte forma (traduzida): "*sustentabilidade é o planeamento responsável de um ambiente construído de forma saudável com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos*". Habitualmente a sustentabilidade é definida em três dimensões, que se encontram representadas na Fig. 2 (Seidel, 2016).

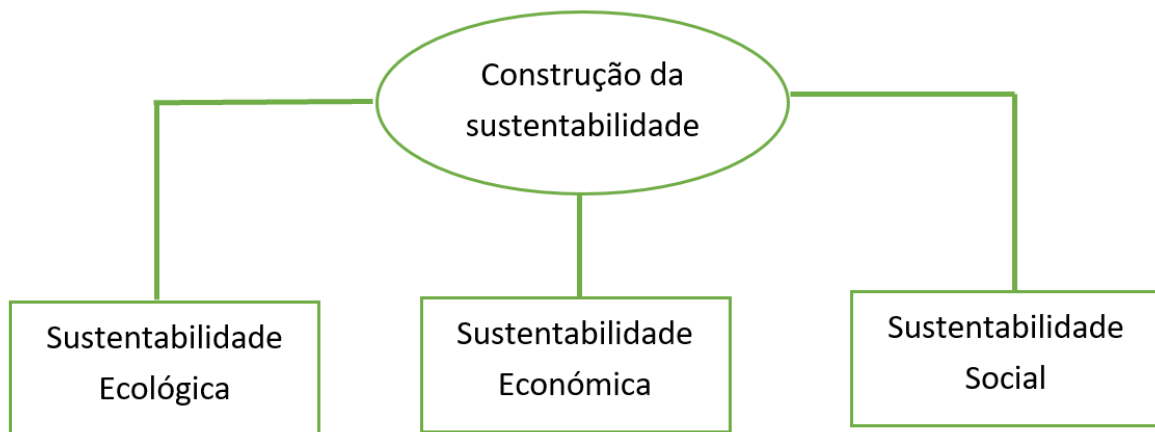


Figura 2 – Construção da sustentabilidade

Sustentabilidade ecológica – é um termo cada vez mais utilizado por instituições e indivíduos preocupados com as relações entre os seres humanos e o meio ambiente global, que traduz a ideia de um desenvolvimento ecologicamente correto, um processo de gestão positiva do meio ambiente para benefício humano (Becky et al., 1987).

Sustentabilidade económica – é a capacidade de produção, partilha e utilização equitativa das riquezas produzidas pelo homem (Guedes, 1998).

Sustentabilidade social – segundo Miriam Jorge, a sustentabilidade social é o "*aspeto da sustentabilidade, que engloba os direitos humanos, direitos do trabalho, a coesão social, o bem-estar, a segurança, a acessibilidade, sensibilidades religiosas e culturais e a equidade, sem assim descuidar do respeito pelo meio ambiente, colaborando, desta forma, para o desenvolvimento sustentável do planeta*" (Jorge, 2015).

A indústria siderúrgica é muito ativa a nível de produção de materiais e consumo de energia. Durante o processo de transformação dos materiais é inevitável o aparecimento de elementos poluentes, nomeadamente gases e resíduos sólidos. Nas emissões lançadas para a atmosfera, existem quantidade de gases que contribuem de uma forma significativa para efeito de estufa, sendo o CO_2 o gás de referência (Júnior, 2015).

Segundo a Comissão Europeia, a indústria siderúrgica é um dos principais setores fontes de emissões de CO_2 . Devido a este facto, há limitações impostas pela Comissão Europeia de forma controlar a quantidade de emissões de CO_2 . Por exemplo, a cada indústria siderúrgica será

atribuída licença de emissão a 100% do valor de referência a título gratuito. Caso o valor de referência seja ultrapassado, a empresa passa a ser taxada. No âmbito das orientações relativas aos auxílios estatais em matéria de RCLE (regime de comércio de licenças de emissão), o setor pode receber uma compensação financeira desde 1 de janeiro de 2013 até 31 de dezembro de 2020, no âmbito da terceira fase do RCLE, de forma a dar um incentivo às indústrias que estejam dentro deste intervalo de emissão (Europeia, 2013).

2.5. Necessidade de Consumo do Aço

O aço é um metal que apresenta propriedades muito importantes entre as ligas metálicas. A produção do aço em 2009 a nível global foi de 1250 milhões de toneladas. Segundo a revista da *Worldsteel (International Iron and Steel Institute)* há cerca de 100 países que produzem aço, sendo a empresa *Thyssenkrupp*, localizada na Alemanha, posicionada em 29ª na lista de empresas com produção superior a 3 milhões em 2017. Nesta revista a primeira posição é ocupada pela empresa *ArcelorMitta*, localizada no Luxemburgo (Worldsteel, 2017).

Há uma grande variedade de aços, cada tipo com características específicas em termos de composição química, tratamentos térmicos e propriedades mecânicas. Este metal é produzido em função da sua necessidade no mercado, ou seja, das exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado (Worldsteel, 2017). De facto, é possível identificar mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Isso mostra a grande evolução que o sector tem experimentado (Seidel, 2016).

Desde ano 2000, o mercado mundial de aço tem tido um crescimento devido ao desenvolvimento industrial dos países emergentes (Seidel, 2016). Segundo a *associação Worldsteel*, há uma clara ascendência no crescimento do consumo do aço. Numa visão abrangente das atividades industriais, é possível relacionar o consumo, ou até mesmo o fluxo comercial deste material, que é um bem intermediário de maior consumo industrial. Segundo o estudo da *Worldsteel* ilustrado na Fig. 3 é apresentado os registos evolutivo do aço nos últimos anos em referência a produção.

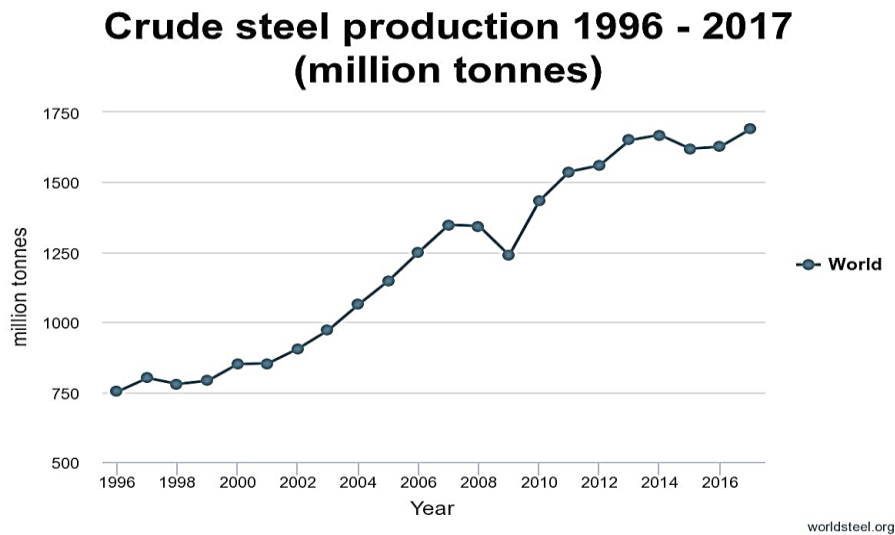


Figura 3 – Produção do aço Global (Worldsteel Association)

Uma boa parte do aço produzido em todo o mundo é consumido pelo setor de construção civil. Isso deve-se ao aumento populacional que leva a necessidades de construção. De uma forma resumida, mais de 15% do aço produzido em todo o mundo é usado no setor dos transportes, incluindo estradas, pontes, portos, estações e aeroportos (Fig. 4).



Figura 4 – Segmentação do uso do aço (Worldsteel Association).

2.6. Indústria Siderúrgica Na Europa.

A siderurgia é um setor forte, competitivo e importante. É uma base na indústria europeia, uma vez que a união europeia é o segundo maior produtor mundial de aço, fornecendo habitualmente mais de 177 milhões de toneladas em cada ano. Esta participação na produção mundial chega

aos 11 %, englobando diversos setores, nomeadamente a indústria automóvel, a construção, a engenharia eletrónica, a mecânica e a elétrica.

A crise económica de 2009 conduziu a uma marcada recessão da atividade industrial e da respetiva procura de aço, que permanece 27 % abaixo dos níveis anteriores à crise. Como resultado, vários locais de produção foram encerrados ou diminuíram a sua produção, com um consequente desemprego a nível europeu, nos últimos anos, de cerca de 40 000 postos de trabalho. Por conseguinte, a pressão exercida sobre esta indústria para se reestruturar e reduzir a capacidade de produção continuará a ser um dos principais desafios para a indústria europeia num futuro próximo (Europeia, 2013).

A indústria siderúrgica europeia tem vindo a ter problemas com os efeitos simultâneos do baixo nível da procura e da sobrecapacidade produtiva num mercado siderúrgico globalizado, onde, ao mesmo tempo, tem de encarar os elevados preços da energia e de investir para se adaptar à economia verde e para gerar produtos inovadores, reorganizar e reduzir a capacidade de produção. Esta será uma das metas para a indústria europeia num futuro próximo (Europeia, 2013).

Crompton no ano de 2015 apresentou um estudo que teve como objetivo investigar as fontes de variação temporal e entre países no consumo de aço per capita. Neste estudo foram identificadas as principais relações, a nível do mercado siderúrgico em países desenvolvidos da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico). Foi ainda testado o “*leapfrogging*”, que é um conceito de salto que foi originalmente utilizado no contexto de teorias de crescimento económico e em estudos de inovação de organização industrial, com foco específico na concorrência entre empresas (Crompton, 2015).

Nestes estudos foram identificados países com diferentes elasticidades (capacidade de ajuste) de rendas dos consumos de aço, em particular, a compreensão se tais diferenças são sistemáticas ou aleatórias. A ferramenta utilizada para a análise do consumo foi a série de modelos de painel de efeitos fixos, usando dados de 26 países da OCDE no período de 1970 a 2012. O consumo do aço está ligado aos gastos com investimento, grau de industrialização e taxa de urbanização. Na Fig. 5 são apresentados os coeficientes elasticidade da renda, elasticidade do investimento, elasticidade da industrialização e elasticidade da urbanização.

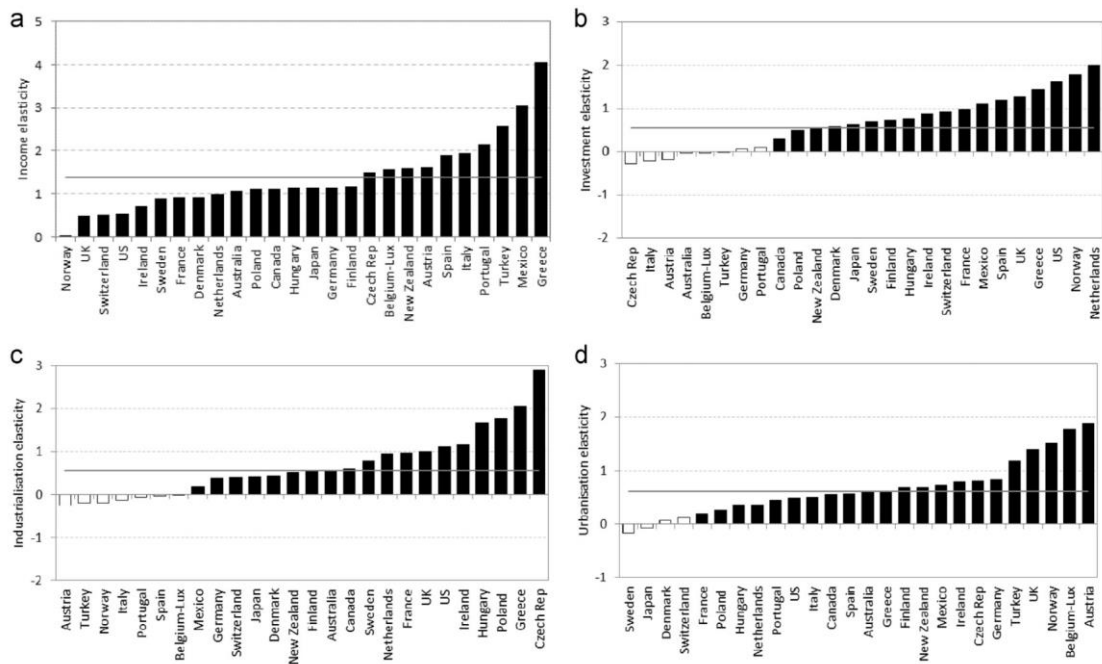


Figura 5 - heterogeneidade dos coeficientes na OCDE (Crompton, 2015)

Os autores dos estudos verificaram que as elasticidades das variáveis são geralmente menores que as do PIB per capita, e insignificantes em várias instâncias. Além disso, verificaram que não existe uma relação clara entre esses três conjuntos de elasticidades e o estágio de desenvolvimento económico, medido pelo PIB per capita. No período de 1970 a 2012, os resultados do mesmo estudo indicam que o consumo de aço per capita na europa caiu em até 50%, devido ao desenvolvimento no uso e substituição do material em alguns setores, como por exemplo algumas partes dos automóveis que eram aço passaram a ser plásticos. (Crompton, 2015).

2.7. Tendências e desenvolvimento da requisição de aço na China

Segundo os estudos de Xiang e Wenying (2013), a procura do aço na maioria das indústrias atingirá o seu pico antes de 2025, e a procura total de aço aumentou de 600 Mt em 2010 para 702 Mt em 2015, aumentará para 753 Mt em 2025, e então gradualmente diminuirá para cerca de 510 Mt em 2050, como consta na Fig. 6.

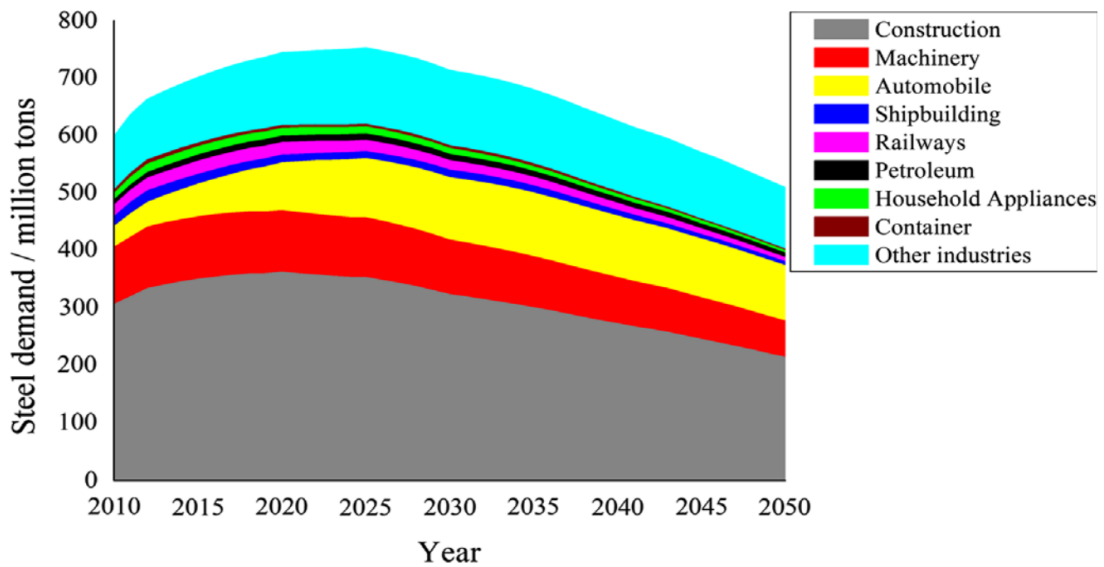


Figura 6 – Previsão de consumo de aço (Xiang e Wenying, 2013).

Os autores também afirmam que o consumo de aço no setor de construção terá um aumento de 306 Mt em 2010 para 363 Mt em 2020, e então diminuirá gradualmente para 214 Mt em 2050. Entretanto, a participação do setor de construção no consumo total de aço diminuirá de 51,1% em 2010 para 42,0% em 2050. O consumo de aço no setor automobilístico aumentará rapidamente, atingindo o pico de 111 Mt em 2034 e depois caindo levemente para 97 Mt em 2050, com a participação do setor automobilístico aumentando de 6,0% em 2010 para 19,0% em 2050.

Embora os níveis de construção sejam comparáveis para os sistemas de habitação rural e urbana, o estudo aponta que quase 90% da procura do aço está relacionada com a construção de edifícios residenciais urbanos (Fig. 7). Segundo os autores, o consumo de aço para edifícios urbanos aumentará lentamente de 119 Mt em 2010 para um pico de 126 Mt em 2020, e então diminuirá para 62 Mt em 2050, enquanto que o a procura do aço para edifícios rurais diminuirá constantemente de 16 Mt em 2010 para 9 Mt em 2050.

Ainda segundo este estudo, o consumo de aço para edifícios comerciais aumentará rapidamente no futuro, alcançando 76 Mt em 2028 em relação a 2010, em que foi registado o valor de 52 Mt, e apresentará um declínio para cerca de 59 Mt em 2050. Como resultado, a procura de aço para edifícios comerciais, terá uma participação na procura total de aço de mais de 45% em 2050, comparando com 2010 que foi de 27,9 % (Xiang e Wenying, 2013)..

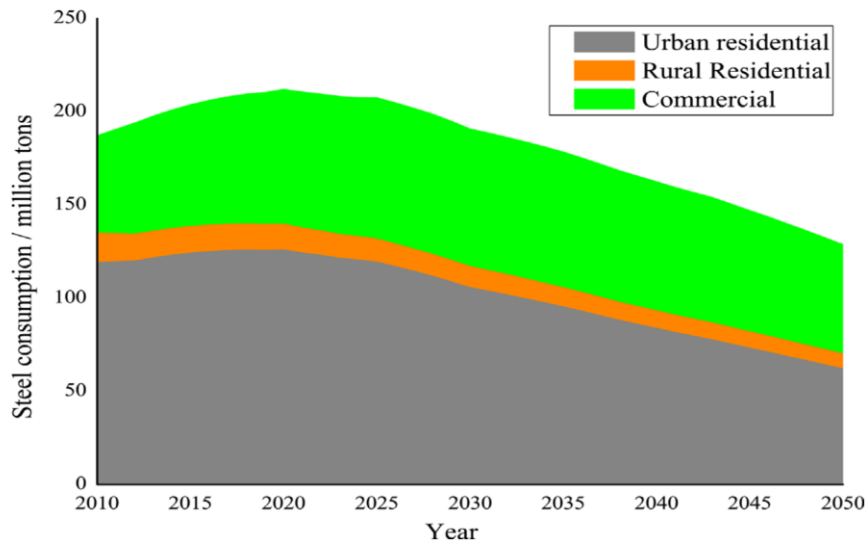


Figura 7 – Previsão da procura de aço para construção de edifícios (Xiang e Wenying, 2013).

Na China, com o passar do tempo, a magnitude das mudanças na procura do aço deve-se à possibilidade da diminuição do PIB, mas com a taxa de urbanização. Enquanto isso, a vida útil dos edifícios tem pouco efeito sobre a procura de aço no futuro próximo. A procura total de aço só diminuirá em 8% em 2030, quando a vida média útil dos edifícios aumentar em 30%. No entanto, essa influência torna-se muito óbvia após 2030, uma vez que haverá uma redução de 23% na procura do aço até 2050 (Xiang e Wenying, 2013)..

Na Fig.8 são apresentados os quatro parâmetros do em estudo na procura do aço, sendo os seguintes:

- PIB;
- Taxa de urbanização
- Nível de saturação de propriedade
- Tempo de vida dos edifícios.

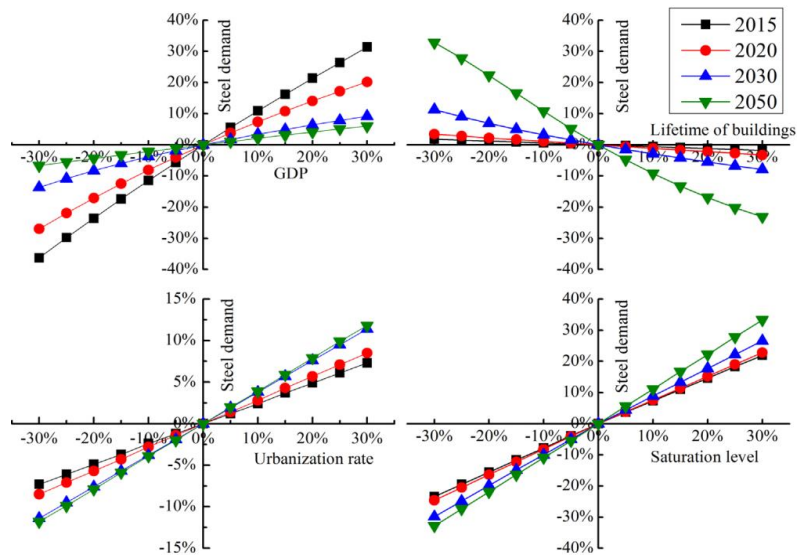


Figura 8 – Sensibilidade do consumo de aço a quatro parâmetros (Xiang e Wenying, 2013).

São ilustradas mudanças futuras na procura do aço por unidade em função de quatro parâmetros. A procura do aço aumenta à medida que o PIB, a taxa de urbanização ou o nível de saturação da propriedade aumenta, mas diminui à medida que o tempo de vida dos edifícios aumenta.

CAPÍTULO 3: PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO

Cada vez mais o homem tem vindo a aprimorar as tecnologias de fabrico de aço, devido á eficiência energética das mesmas. No texto que se segue são apresentados diferentes tipos de processos utilizados para a fabricação de aço.

3.1. Processo de Fabrico do Aço.

A siderurgia é o setor industrial envolvido na metalurgia de elaboração das ligas ferrosas e sua conformação. Este processo oferece produtos acabados e semiacabados aos diversos ramos industriais. A produção do aço pode compreender várias linhas, dependendo das matérias primas utilizadas, mas em qualquer caso é possível evidenciar três operações fundamentais: elaboração, vazamento e conformação, conforme é ilustrado na Fig. 9 (Barralis e Maeder, 2005).

Elaboração é a forma como é fabricado o ferro gusa através de minérios de ferros ou por via de sucatas.

Vazamento é a passagem do ferro ao canal do alto forno em um estado líquido para respetivos canais de vazamento.

Conformação consiste em dar forma à matéria prima e pode ocorrer nos processos de laminagem, estampagem, trefilagem, etc.

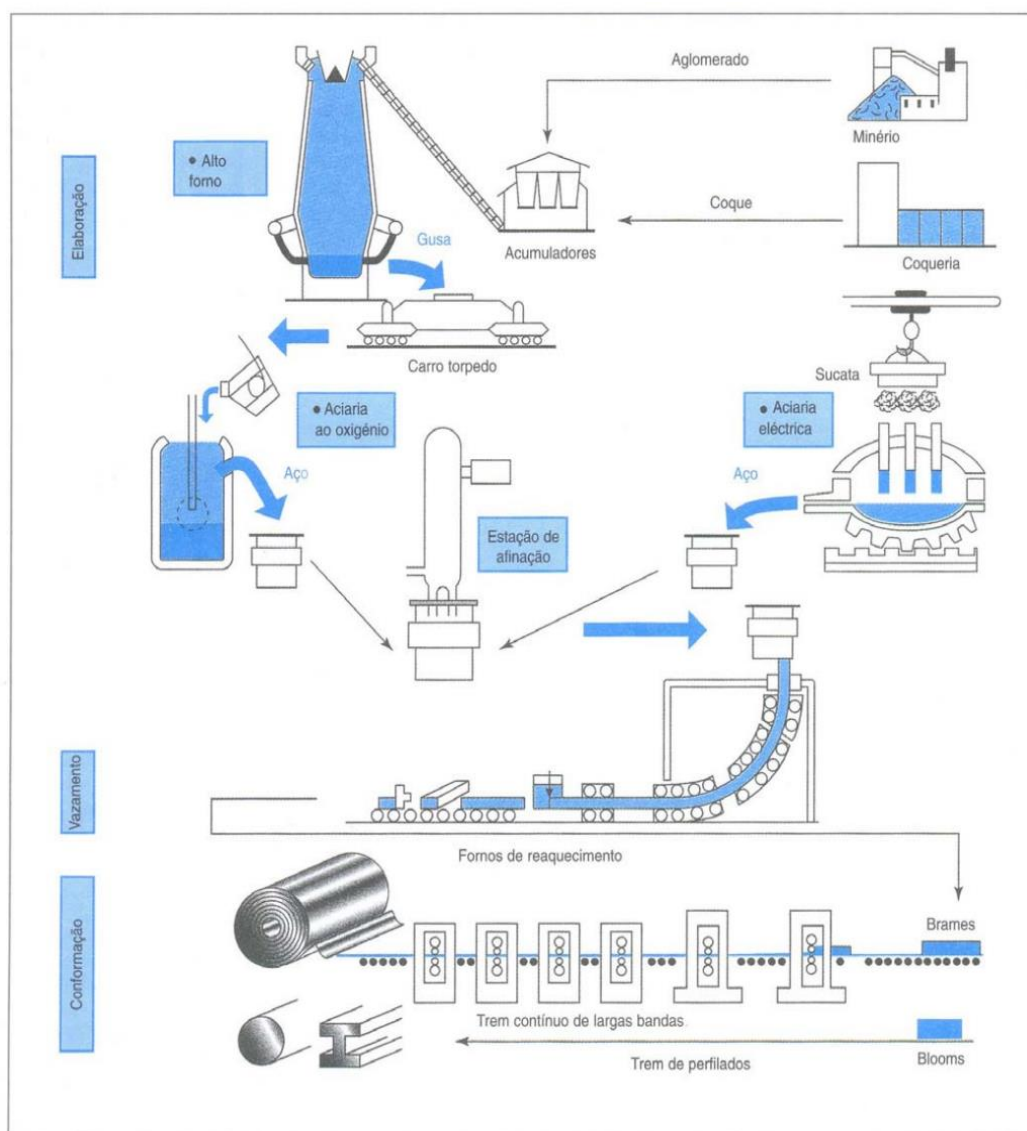


Figura 9 – Processo de produção e conformação das ligas ferrosas.

Segundo o estudo desenvolvido pelo International Iron and Steel Institute (IISI), da década de 50 até meados da década de 70, o consumo específico de gusa teve um comportamento de crescimento, tendo o valor de 715 kg por tonelada de aço em 1955 aumentado para 731 kg em 1975. A partir deste ano, este mesmo estudo já previa um decréscimo do consumo.

A partir do século XVII, o período da industrialização, até à 2ª Guerra Mundial, a produção do aço no setor siderúrgico mundial teve um desenvolvimento baseado na utilização dos 3 seguintes processos:

- Bessemer – este processo foi o primeiro processo industrial de baixo custo utilizado na produção em massa de aço a partir de ferro gusa fundido.
- Thomas (O forno conversor Thomas) – as características físicas e sistema de sopragem, são idênticos ao forno conversor Bessemer. O que os diferencia basicamente é o seu revestimento, de dolomita, que permite a injeção de ferro gusa com alto teor de fósforo e o tipo de carga, pois é adicionada cal para eliminação do fósforo.
- Siemens Martin (S.M.) – foi desenvolvido pela primeira vez pelo engenheiro alemão Carl Wilhelm Siemens em 1865. Posteriormente o engenheiro francês Pierre-Emile Marlin obteve uma licença de utilização da Siemens a produção de aço. Este processo era conhecido como o processo Siemens-Martin e o forno era denominado como um forno aberto ou SM. O forno aberto é abastecido com sucata leve, como chapas metálicas, veículos triturados ou resíduos de metal, e aquecido usando gás em combustão (Fig. 11).

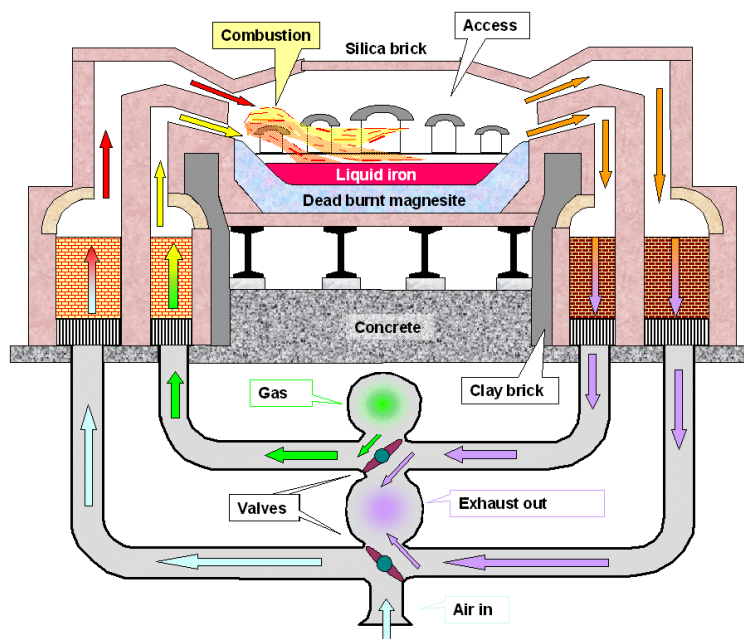


Figura 10 – Fornos de forno aberto (Stell script, 1991).

Na década de 40, o uso dos fornos S.M. passou a ser o procedimento preferido pela indústria siderúrgica. O forno S.M. trabalhava com 60 a 70% de sucata adquirida no mercado e os restantes 40 a 30% eram completados com gusa e granulados especiais (Andrade et al, 2000).

- Forno a oxigénio – a partir da década de 50, passaram a ocorrer profundas mudanças na tecnologia siderúrgica e uma das principais foi o forno a oxigénio (Fig.11), disseminado industrialmente na década de 60, substituindo os fornos S.M.

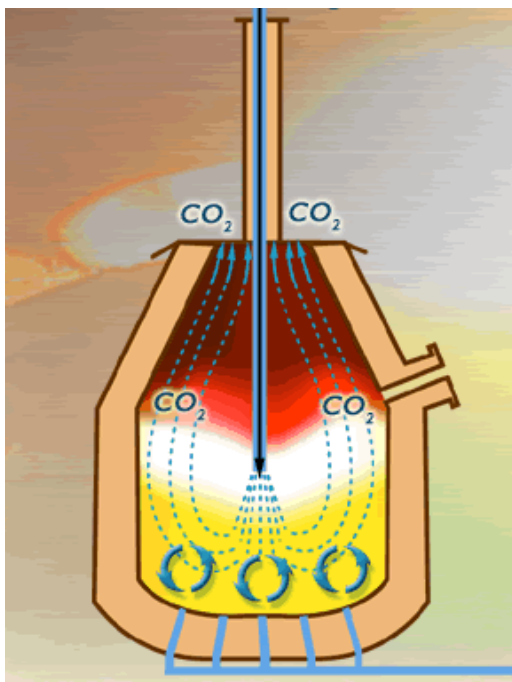


Figura 11 – Fornos oxigénio (infomet)

A partir da década de 50, com aparecimento de novas tecnologias nas indústrias siderúrgicas, se começou a utilizar a tecnologia do forno a oxigénio, disseminado industrialmente na década de 60, substituindo os fornos S.M..

- Forno elétrico - Os aços de alta qualidade são feitos, na sua maioria, em fornos elétricos (Fig. 12). O funcionamento destes fornos consiste em fazer passar uma corrente elétrica muito alta pelos eletrodos no forno, o que provoca a fusão da sucata de aço e do ferro (ferros gusas). A qualidade do aço produzido pode ser controlada pelos valores das temperaturas do forno, sendo que para cada temperatura é possível obter um tipo de estruturas molecular no metal. Com o surgimento da tecnologia do forno elétrico, houve um crescimento na produção de aço, mas, a partir da metade da década de 70 os países mais industrializados optaram preferencialmente por a tecnologia de forno a oxigénio uma vez que apresenta elevados benefícios energéticos (Souza, 1991).

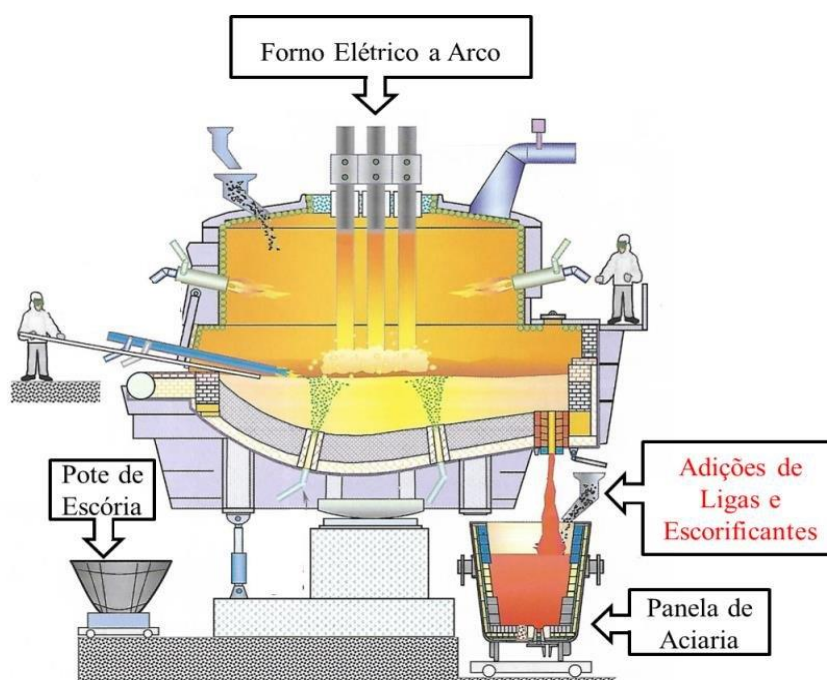


Figura 12 – Fornos elétrico (Rizzo, 2006)

A tecnologia presente nos fornos elétricos e a oxigênio apresenta vantagens na produção do aço por via das sucatas, proporcionando um aumento na importância da reciclagem, reduzindo o espaço para a utilização do ferro gusa.

Apesar de o forno elétrico ter começado a ser utilizado após o forno a oxigênio, devido ao consumo elevado de energia necessária para o funcionamento do forno elétrico as empresas siderúrgicas por retomar pelo processo de produção a partir do forno a oxigênio, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1-Produção mundial de aço pelos principais processos percentual (Souza, 1991).

Anos	SIEMENS MARTIN	OXIGÊNIO	ELÉTRICO
1960	72,0%	3,7%	10,7%
1970	43,9	36,9	13,8
1975	26,1	58,0	13,8
1980	22,4	55,3	22,1
1985	18,5	56,3	25,1
1989	16,6	56,8	26,5

3.1. Reciclagem do Aço

A reciclagem é definida como o processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos, em que os mesmos são separados segundo as suas propriedades, transformados e recuperados, envolvendo economia de matérias-primas e energia, de modo a combater o desperdício, redução da poluição ambiental e valorização dos resíduos (Galbiati, 2012).

De forma geral a sucata é obtida pela eliminação de resíduos industriais e na obsolescência de bens. As indústrias siderúrgicas podem gerar sucatas internamente ou podem ser adquiridas no mercado. Os processos de transformação dos resíduos em sucata passam por várias fases que são indispensáveis, como:

- Processo de colagem, como ilustrado na Fig. 10;
- Processamento por equipamentos como prensas, tesouras e shredders;

Após estes processos, a indústria siderúrgica fica responsável por realizar tratamento para obtenção do produto final com as qualidades exigidas pelo mercado (Andrade et al, 2000).

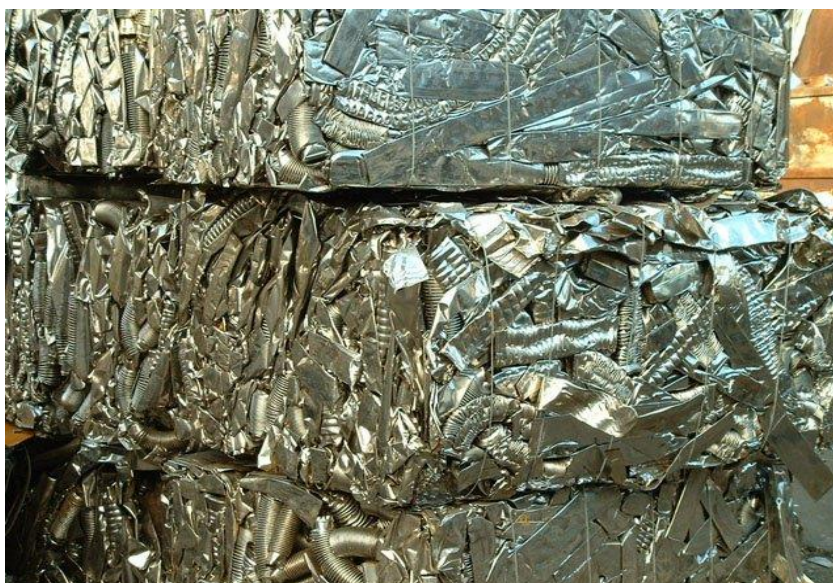


Figura 13 – Sucata de aço (RCR sucatas).

Com o desenvolvimento das tecnologias e com a preocupação da sustentabilidade, tem havido a ocorrência de mudanças nas técnicas de produção e os mercados das sucatas têm apresentado um crescimento, predominantemente em regiões cujas políticas promovem a sustentabilidade, já que esta prática traz vários benefícios para os investidores e boas parcerias com os

fornecedores. A sucata é comercializada em diversas formas e varia quanto à densidade e pureza. Com base na sua origem pode-se salientar os seguintes tipos de sucata:

- Geração Interna (Home scrap, Circulating scrap) - é o aço recolhido na própria empresa, que geralmente é redirecionado diretamente para o processo de fundição;
- Geração Industrial (Prompt scrap, industrial scrap) - é a sucata oriunda das montadoras e indústrias transformadoras de produtos siderúrgicos. São sucatas de alta qualidade devido à sua baixa contaminação química (Andrade et al, 2000).
- Obsolescência (Obsolete scrap) – são bens de consumo de aço já obsoletos pelo uso, por exemplo automóveis, eletrodomésticos, etc (Andrade et al, 2000).
- Bens de capital recolhido (Capital scrap) – é obtida com a destruição de unidades industriais e/ou obsolescência de máquinas e equipamentos (Andrade et al, 2000).

CAPÍTULO 4: SÉRIES TEMPORAIS

Neste capítulo é apresentado o conceito de série temporal e suas aplicações. Também são apresentados de forma resumida, os tipos de modelos e avaliação das séries segundo os mesmos.

4.1. Definição

Uma série temporal é uma sequência de observações realizadas no tempo: por exemplo, uma sequência mensal da quantidade de mercadorias embarcadas numa fábrica, uma série semanal do número de acidentes rodoviários, quantidades diárias de chuva, observações por hora sobre o rendimento de um processo químico e assim por diante (Box et al., 2016). O aparecimento das séries temporais não se deu repentinamente, mas antes houve uma evolução dos conceitos ao longo do tempo.

4.2 História das séries temporais

Desde a existência humana sempre houve a necessidade de se prever acontecimentos, como ocorrência de chuvas de forma a garantir a atividade do cultivo, ou a ocorrência de mudanças climáticas para a emigração. Com o surgimento dos números tornou-se mais fácil registrar estes acontecimentos, facilitando a previsão de acontecimentos com base nos registos que já havia.

Foi a principal contribuição de Yule (1927), que lançou a noção de processo estocástico em séries temporais, concluindo que cada série temporal pode ser considerada como a realização de um processo estocástico. Com base nessa ideia simples, vários métodos de séries temporais foram desenvolvidos desde então. Investigadores matemáticos como Slutsky, Walker, Yaglom e Yule foram os primeiros a formular o conceito de modelos autorregressivo (AR) e média móvel (MA) (Gooijer e Hyndman, 2006). A partir de 1950, foi proposta também a técnica do

alisamento exponencial, que consiste em suavizar dados de série temporal. Nesta época também se deu o aparecimento de novas ferramentas matemáticas e tecnológicas que ajudaram no tratamento destes modelos de previsões por, exemplo o computador (Ehlers, 2009).

Em 1970 foi publicado o livro *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (Box et al., 2016) que aborda a análise de séries temporais, neste livro são apresentadas aplicações importantes das metodologias e os modelos de médias móveis integrado e autorregressivo, denominado por ARIMA, bem como extensões destes modelos. Nele também foram apresentadas propriedades dos modelos e critérios de seleção dos mesmos, estimativas dos parâmetros e verificação do modelo (Box et al., 2016).

4.3. Aplicações

Uma série temporal é um sistema causal (relação de causa e efeito) mais ou menos constante, diretamente relacionado com o tempo. Este sistema causal costuma atuar padrões não aleatórios que podem ser analisados graficamente ou recorrendo a processos estocásticos. A análise de uma série temporal tem como objetivo compreender a dependência dos dados atuais e passados, e explorá-los de modo que seja possível prever o comportamento futuro (Hyndman e Athanasopoulos, 2018).

A previsão de eventos futuros é relevante em muitos tipos de processos de planeamento e de tomada de decisão de uma organização industrial, sendo aplicada em departamentos como:

Gestão de Operações: As organizações empresariais têm utilizado previsões de vendas de produtos ou posição de venda de forma a tentar realinhar com a produção de forma a eliminar os excessos de stocks. Um dos grandes benefícios da sua aplicação é a gestão da cadeia de abastecimento, de forma a conciliar a mão de obra necessária para a realização de tarefas. Com uma previsão é possível elaborar e planear a capacidade, determinação de alguns misturas de produtos de forma a satisfazer a necessidade do cliente (Bronze et al. 2012).

Marketing: A previsão é importante em tomadas de decisões de marketing. As previsões de resposta de vendas em relação aos gastos publicitários, novas promoções ou mudanças nas políticas de preços permitem uma avaliação de eficácia das empresas, permite a avaliação das metas e os seus ajustes, se necessários (Parker, 1994, Bronze et al., 2012).

Finanças e Gestão de Riscos: Os investidores em ativos financeiros têm interesse em prever o retorno dos seus investimentos (previsões). Esses ativos incluem, ações, ativos fixos tangíveis

ou intangíveis (edifícios, computadores, carros, imagem da marca), títulos etc. Estas decisões e outra relacionadas com risco podem ser tomadas em função às previsões de taxas de juros, opções e taxas de câmbio (Bronze, et al., 2012).

Economia Geral: Governos, instituições financeiras e organizações políticas impõem previsões de variáveis económicas, como produto interno bruto, crescimento populacional, desemprego, taxas de juros, inflação, produção e consumo. Com as previsões é possível ter uma orientação fidedigna nos planos e decisões de política monetária e fiscal e dos orçamentos dos governos, das organizações empresariais e instituições financeiras (Granger e Newbold, 1986).

Controle de Processos Industriais: As previsões ajudam na caracterização dos produtos, parametrização das críticas de qualidade (feedback), e com isso os processos de produção podem ser ajustados, permitindo uma monitorização e ajuste de processos industriais, e com isso evitar inconvenientes, como a sobrecapacidade da produção (Chung e Leung, 2005).

Estudo Demográfico: Previsões de população por país ou regiões são feitas com frequência em quase todos os países, muitas vezes estratificadas por variáveis como sexo, idade ou raça. Os demógrafos também preveem taxas futuras de natalidade, mortalidade e comportamentos emigratórios de populações. Os governos usam essas previsões para planear políticas e ações de serviços sociais, como gastos com planos de saúde, programas de reformas ou programas de combate á pobreza. Muitas empresas usam previsões de populações por faixas etárias para fazer planos estratégicos sobre o desenvolvimento de novas linhas de produtos ou os tipos de serviços que serão oferecidos (Fox e Piquero, 2003).

4.3. Tipos de séries temporais

4.3.1. Processo estacionários

Uma série temporal $\{X_t, t 0, \pm 1, \dots\}$ é dita estacionária se apresenta propriedades estatísticas semelhantes às da série "deslocada no tempo" $\{X_{t+h}, t 0, \pm 1, \dots\}$, para cada inteiro h . Restringindo a atenção a essas propriedades que dependem apenas dos momentos de primeira e segunda ordem de $\{X_t\}$, podemos tornar essa ideia precisa com o seguinte definição (Brokwell, P. J. e Davis, R. A., 1991):

Definição 4.1:

Seja $\{X_t\}$ uma série temporal com $E(X_t^2) < \infty$. A função média de (X_t) é

$$\mu_X(t) = E(X_t).$$

A função de covariância de $\{X_t\}$ é

$$\gamma_X(r, s) = \text{cov}(X_r, X_s) = E[(X_r - \mu_X(r))(X_s - \mu_X(s))]$$

para todos os inteiros r e s .

Um estimador da função de autocovariância é função da autocovariância amostral, definida por

Definição 4.2:

$$\hat{\gamma}(h) = n^{-1} \sum_{t=1}^{n-|h|} (x_{t+h} - \bar{x})(x_t - \bar{x}), \quad -n < h < n$$

Estacionaridade fraca: implica que os dois primeiros momentos (ou seja, a média e a matriz de variância-covariância) da repartição de probabilidade conjunta da variável estocástica têm um comportamento constantes ao longo do tempo (Pais, 2017), isto é

$\{X_t\}$ apresenta estacionaridade fraca se:

- (i) $\mu_X(t)$ é independente de t
- e
- (ii) $\gamma_X(t+h, t)$ é independente de t para cada h .

4.3.2. Função Autocorrelação.

Para um processo estacionário de segunda ordem define-se a função de autocorrelação

$$\rho_h = \text{Corr}[X_t, X_{t+h}] = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\text{Cov}[X_t, X_{t+h}]}{\sigma^2}$$

A função de autocorrelação mede a correlação entre pares de valores do processo separados por um intervalo de amplitude h .

Propriedades:

1. $\rho_1 = 1$
2. $\rho_h = \rho_{-h}$, i.e trata-se de uma função par

$$3. |\rho_h| \leq 1$$

Notas:

- A representação gráfica da FAC costuma chamar-se correlograma teórico
- Se h aumenta então γ_h e ρ_h diminuem, isto é a memória desvanece ao longo do tempo
- Se $h \rightarrow \infty$ então $\gamma_h \rightarrow 0$ e $\rho_h \rightarrow 0$

4.3.3. Função Autocorrelação Parcial

Por vezes interessa estudar, além da correlação de uma forma global, também a correlação parcial entre X_t e X_{t+h} , quando se fixam as variáveis intermédias $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{t+h-1}$. O conjunto de autocorrelações parciais de desfaseamento h é dado por $\{\phi_{hh} : h = 1, 2, \dots\}$ onde:

$$\phi_{hh} = \frac{|P_h^*|}{|P_h|} \quad 4.1$$

e P_h^* representa uma matriz de dimensão $h \times h$ de autocorrelações onde a última coluna é substituída por $[\rho_1 \rho_2 \dots \rho_h]^T$ (Monteiro R. M. A, 2017). A matriz P é dada por

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{h-1} & \rho_h \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{h-2} & \rho_{h-1} \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{h-3} & \rho_{h-2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \rho_h & \rho_{h-1} & \rho_{h-2} & \rho_{h-1} & \rho_1 & 1 \end{bmatrix}$$

Propriedades:

$$1. \phi_{11} = \rho_1$$

$$2. \phi_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2}$$

$$3. \phi_{33} = \frac{\rho_3(1 - \rho_1^2) + \rho_1(\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_2)}{(1 - \rho_2)(1 + \rho_2 - 2\rho_1^2)}$$

4.5. Ruído branco

Processos de ruído branco ou puramente aleatórios são processos estacionários de segunda ordem.

Um processo estacionário diz-se de ruído branco se:

1. $E[X(t)] = \mu$ (*usualmente* $\mu = 0$)
2. $Cov[X(t_1), X(t_2)] = 0$, $t_1 \neq t_2$
3. $Var[X(t)] = \sigma^2$, *independentemente de t (homocedástico)*

Nota: Se $\sigma = 1$, então trata-se um ruído branco reduzido.

4.6. Processos autoregressivos, AR

Uma vez que uma série temporal é uma sequência de variáveis aleatórias, deve-se saber que tipo de comportamento estas variáveis apresentam. Uma primeira aplicação de um modelo autorregressivo (AR) registou-se no trabalho de G. U. Yule nas décadas de 1920 e 1930 (Tomás, 2018), em que era admitido que ϵ_t era um processo aleatório com média zero e variância σ_ϵ^2 .

4.6.1. Processos autoregressivos de primeira ordem, AR (1)

Diz-se que uma série temporal X_t segue um modelo autorregressivo de primeira ordem, se satisfaz a equação seguinte:

$$X_t = \phi X_{t-1} + \epsilon_t \text{ ou } (1 - \phi)X_t = \epsilon_t \quad 4.2$$

Onde ϕ é um número real tal que $|\phi| < 1$ e ϵ_t é um processo de ruído branco de forma que, adicionalmente, ϵ_t é independente de X_{t-h} para $\forall h > 0$.

4.6.2. Processos autoregressivos de segunda ordem, AR (2)

Considerando que X_t depende linearmente tanto do valor da série no instante anterior, X_{t-1} , como do observado dois instantes antes, X_{t-2} , diz-se, então, que o processo X_t é AR (2) quando satisfaz a equação às diferenças estocásticas (Monteiro, 2017).

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \epsilon_t \text{ ou } (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)X_t = \epsilon_t \quad 4.3$$

onde $\Phi_B = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2$ é denominado como polinómio de 2º ordem, ϵ_t é o ruído branco, que é independente de X_t para $\forall h > 0$.

4.6.3. Processos autoregressivos de ordem p, AR(p)

Uma série temporal diz-se AR(p) quando satisfaz a seguinte equação:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t \quad 4.4$$

Ou

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)X_t = \epsilon_t \quad 4.5$$

A equação $\Phi_B = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ trata-se de um polinómio de ordem p , ϵ_t é um processo de ruído branco independente de X_{t-h} para $\forall h > 0$.

Função de autocorrelação, FAC

A partir da função de autoregressão obtém-se a função da covariância de ordem p :

$$\gamma_h = E[X_t X_{t-h}] = \phi_1 \gamma_{h-1} + \phi_2 \gamma_{h-2} + \dots + \phi_p \gamma_{h-p}, \quad h \geq 1 \quad 4.6$$

Dividindo esta expressão por γ_0 , obtém-se

$$\rho_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_0} = \phi_1 \rho_{h-1} + \phi_2 \rho_{h-2} + \dots + \phi_p \rho_{h-p} \quad h \geq 1 \quad 4.7$$

4.7. Processo de Média Móvel

Os modelos de média móvel empregam a média das observações registadas, como previsão para um determinado período no futuro. Nestes modelos tem-se que as médias móveis podem ser classificadas em simples, centradas ou ponderadas. O termo médio móvel é assim caracterizado porque à medida que uma observação está disponível, a média das observações é recalculada com a utilização deste valor e desprezando o mais antigo (Portalaction, 2013).

$$X_t = \frac{x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-n}}{n} \quad 4.8$$

onde n é o número de observações e X_t é a média.

4.7.1. Processos de média móvel de primeira ordem MA(1)

Um processo de médias móveis MA(1) é formulado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ou} \quad X_t &= \epsilon_t - \theta \epsilon_{t-1} \\ X_t &= (1 - \theta B) \epsilon_t \end{aligned} \quad 4.9$$

onde ϵ_t é um processo do ruído branco. Um processo de médias móveis é sempre estacionário. Adicionalmente, se $|\theta| < 1$, pode-se ter uma representação do processo em termos do inverso do polinômio que envolve os operadores de atraso,

$$(1 - \theta B)^{-1} = 1 + \theta B + \theta^2 B^2 + \dots$$

ficando

$$\epsilon_t = (1 - \theta B)^{-1} X_t = (1 + \theta B + \theta^2 B^2 + \dots) X_t$$

o que é equivalente a

$$\epsilon_t = X_t + \theta X_{t-1} + \theta^2 X_{t-2} + \dots$$

Tendo em conta a expressão anterior pode-se representar um processo MA(1) como um processo AR (∞),

$$X_t = \sum_{i=1}^{\infty} \theta^i X_{t-i} + \epsilon_t \quad 4.10$$

A condição $|\theta| < 1$ é a condição de invertibilidade. Em termos práticos, isto significa que a dependência do passado vai-se diminuindo cada vez mais à medida que o passado se torna mais remoto.

Função de autocovariância e autocorrelação total.

Utilizando a definição de um processo MA (1), obtêm-se as funções de autocovariância e de autocorrelação:

$$\gamma_h = \begin{cases} \sigma_e^2(1 + \theta^2) & \text{se } h = 0 \\ -\theta\sigma_e^2 & \text{se } h = 1 \\ 0 & \text{se } h \geq 2 \end{cases}$$

$$\rho_h = \begin{cases} 1, & \text{se } h = 0 \\ -\frac{\theta}{1 + \theta^2}, & \text{se } h = \pm 1 \\ 0, & \text{se } h \geq |2| \end{cases}$$

4.7.2. Processos de média móvel de segunda ordem, MA(2)

Um processo de médias móveis MA(2) é formulado da seguinte forma:

$$X_t = \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) * \epsilon_t \quad 4.11$$

Função de autocovariância e autocorrelação total.

- $\gamma_0 = \sigma^2 * (1 + \theta_1^2 + \theta_2^2)$
- $\gamma_1 = \sigma^2 * (-\theta_1 + \theta_1 \theta_2)$
- $\gamma_2 = \sigma^2 * (-\theta_2)$
- $\gamma_h = 0, h \geq 3$

$$\rho_1 = \frac{-\theta_1 + \theta_1 \theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2}$$

$$\rho_2 = \frac{-\theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2}$$

$$\rho_h = 0 \text{ para } h = 3, 4, \dots$$

4.7.3. Processos de média móvel de ordem q, MA(q)

O processo de médias móveis de ordem q, MA(q) é:

$$\begin{aligned} \text{Ou} \quad X_t &= \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q} \\ X_t &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \epsilon_t \end{aligned} \quad 4.12$$

onde $\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ é o polinómio de médias móveis de ordem q. Estes processos apresentam estacionaridade. O processo será invertível se a equação $\theta_q(B) = 0$ tiver todas as suas raízes fora do círculo unitário.

A função de autocovariância é dada por:

$$\gamma_h = \begin{cases} \sigma_\epsilon^2 \left(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i^2 \right) & \text{se } h = 0 \\ \sigma_\epsilon^2 \left(-\theta_h + \sum_{i=1}^{q-h} \theta_i \theta_{h+i} \right) & \text{se } h < 1, 2, \dots, q \\ 0 & \text{se } h \geq q + 1 \end{cases}$$

e a função de autocorrelação é dada por

$$\rho_h = \begin{cases} 1 & \text{se } h = 0 \\ \frac{(-\theta_h + \sum_{i=1}^{q-h} \theta_i \theta_{h+i})}{(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i^2)} & \text{se } h < 1, 2, \dots, q \\ 0 & \text{se } h \geq q + 1 \end{cases}$$

Note-se que a FACP de um processo $MA(q)$ tem a mesma estrutura que a FAC de um processo $AR(p)$.

4.8. Processos mistos autoregressivos e médias móveis

A diferença básica entre a regressão clássica e os modelos de séries temporais é que nos modelos de séries temporais ARMA (ou ARIMA) não se pode assumir independência entre observações. Ao contrário, os modelos autoregressivos e de médias móveis vão modelar o grau de autocorrelação entre desvios e observações desfasadas (Cock, K. D., 2002).

Quando o processo gerador de série temporal corresponde a modelos compostos por parte autorregressiva e parte médias móveis, os modelos utilizados dizem-se ARMA (p, q).

Um processo ARMA (p, q) vem definido pela seguinte equação:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

Ou

$$\Phi_p(B)X_t = \Theta_q(B)\epsilon_t$$

4.13

onde ϵ_t é um processo ruído branco, com ϵ_t independente de X_{t-h} , $\forall h > 1$ e os polinómios $\Phi_p(B)$ e $\Theta_q(B)$ são dados por

$$\Phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

e

$$\Theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

- Para o processo ser estacionário, as raízes de $\Phi_p(B)$ devem estar fora do círculo unitário.

- Para o processo ser invertível as raízes de $\theta_q(B)$ devem estar fora do círculo unitário.

A Tabela 2 tem como principal objetivo, através do comportamento dos desfasamentos temporais nas funções FAC e FACP, identificar o modelo adequado a uma série temporal.

Tabela 2 - Comparação dos vários tipos de processo ARMA(p,q) (Monteiro,2017).

	AR(P)	MA(q)	ARMA (p, q)
Modelo em termos dos valores anteriores de X_t	$\Phi_p(B)X_t = \epsilon_t$ Série infinita em X_t	$(\Phi_q(B))^{-1} X_t = \epsilon_t$ Série infinita em X_t	$(\Phi_q(B)^1)^{-1} \Phi_p(B)X_t = \epsilon_t$ Série infinita em X_t
Modelo em termos dos valores anteriores de ϵ_t	$X_t = (\Phi_p(B))^{-1} \epsilon_t$ Série infinita em ϵ_t	$X_t = \Phi_q(B)\epsilon_t$ Série infinita em ϵ_t	$X_t = (\Phi_p(B))^{-1} \Phi_q(B)\epsilon_t$ Série infinita em ϵ_t
Condições De estacionariedade	Raízes de $\Phi_p(B)=0$ Fora do círculo unitário	Sempre estacionários	Raízes de $\Phi_p(B)=0$ Fora do círculo unitário
Condições De invertibilidade	Sempre invertíveis	Raízes de $\Theta_q(B)=0$ fora do círculo unitário	Raízes de $\Theta_q(B)=0$ fora do círculo unitário
FAC	Decaimento exponencial e /ou sinusoidal Para zero	Decaimento brusco para zer a partir de $h = q + 1$	Decaimento exponencial e /ou sinusoidal Para zero
FACP	Decaimento brusco Para zero a partir de $h = p + 1$	Decaimento exponencial e /ou sinusoidal Para zero	Decaimento exponencial e /ou sinusoidal Para zero

4.9. Modelo Sazonal.

Muitas séries temporais podem ter uma componente periódica sazonal. Um modelo autorregressivo sazonal é caracterizado pela existência de correlação significativa entre as observações espaçadas por um intervalo de tempo múltiplo (Khandelwal et al, 2015). Nos modelos SARIMA existe uma parte não sazonal, a que correspondem os parâmetros (p, d, q), e uma parte sazonal a que corresponde os parâmetros (P, D, Q). Logo temos uma componente

sazonal autorregressiva SAR(P) e média móvel SMA(Q), sendo apresentado como SARIMA (p, d, q) (P, D, Q), em que D se refere à ordem de diferenciação sazonal (Xavier, 2016).

A definição do modelo SARIMA é dada por:

$$\phi(B)\Phi(B^s)W_t = \theta(B)\Theta(B^s)a_t \quad 4.1$$

onde $W_t = \nabla_s^d \nabla^d X_t$ e com os seguintes operadores:

Modelo Autorregressivo

$\Phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_1 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ – operador autorregressivo não sazonal;

$\Phi_p(B^s) = (1 - \phi_s B^s - \dots - \phi_p B^{ps})$ – operador autorregressivo sazonal;

Modelo de média móvel

$\Theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ – operador média móvel não sazonal;

$\Theta_q(B^s) = (1 - \theta_s B^s - \dots - \theta_p B^{qs})$ – operador média móvel sazonal;

∇^d – operador diferença não sazonal de ordem d ;

∇_s^d – operador diferença sazonal de ordem D

Processos mistos sazonais, $ARMA(P, Q)_s$

O processo de sazonalidade misto pode ser descrito igualando os operadores, ficando da seguinte forma:

$$\Phi(B^s) = \Theta(B^s) \quad 4.2$$

4.10 Critério de escolha dos modelos.

Existem vários critérios de seleção que permitem uma melhor escolha do modelo a utilizar para a previsão (ARMA). Os critérios de informação mais frequentes na literatura são os de *Akaike* (AIC), *Bayesiano* (BIC) e de *Hannan-Quinn* (HQC), que apresentam as seguintes definições:

Akaike (1974), mostrou que o viés é dado assintoticamente por p , em que p é o número de parâmetros a serem estimados no modelo, e definiu seu critério de informação como:

$$AIC = -2 \log(L(\hat{\theta})) + 2(p)$$

onde $\hat{\theta}$ é o vetor de estimativa dos parâmetros do modelo.

Em 1985 Lütkepohl apresentou um estudo sobre a parametrização de modelos. O autor chegou à conclusão que os critérios que apresentavam maior eficiência eram BIC, AIC e HQ. Outros autores reforçaram a mesma afirmação, mas apontado boas qualidades ao critério de informação AIC, por apresentar uma grande eficiência para números de amostras significativos (Lütkepohl, 1985).

No caso em estudo, a escolha do modelo será feita a partir do critério de informação de Akaike , Um valor mais baixo de AIC representa o melhor modelo ajustado de entre todas as opções (Muller, I. et al., 2006).

CAPÍTULO 5: CASO DE ESTUDO

Neste capítulo consta a análise dos dados, começando pela sua descrição e o tratamento de forma a cumprirem com os requisitos pretendidos, a construção do modelo de previsão que melhor se ajusta aos dados e, de seguida, a realização de previsões para os processos de produções.

5.1. Descrição da amostra

O presente estudo foi realizado tendo por base amostras disponibilizadas pelo site *Destatis Statistisches Bundesamt*. As amostras representam a produção de ferro/aço na Alemanha desde ano de 1950 a 2009, embora o estudo esteja apenas focalizado na produção do aço bruto. Ainda nesta mesma recolha de dados foi possível completar as amostras relativas a produção do aço bruto, pelo site *Trading Economic* até ao ano 2016.

Conforme se havia referido, a produção do aço até ao produto final passa por vários tipos de processos de conformação.

Cada secção da tabela apresenta amostras que representa a quantidade de matéria utilizada na produção anual e o total de cada tipo de produção, sendo que o total é a soma de cada processo por secção. É normal que a soma dos processos não dê o valor exato devidos a perdas que ocorrem durante os processos. De uma forma resumida, apresenta-se no fluxograma (Fig.14) as principais variáveis em estudo e os tipos de processos de fabrico do aço, sendo estes:

- Material para produção do aço.
- Oxigénio e outros aços

- Aços elétricos.

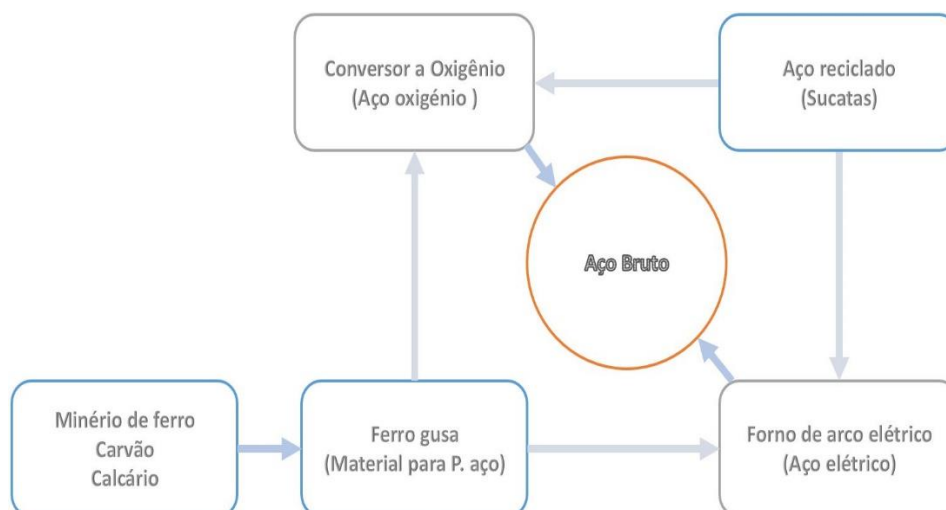


Figura 14 – Principais variáveis em estudo

Uma vez que a soma dos dois tipos de aços (oxigênio e aços elétricos) formam o aço bruto, e a subtração do aço bruto em relação ao ferro fundido para produção do aço forma a sucata, então o estudo estará focalizado nas principais variáveis de produção do aço:

- Material para produção do aço (ferro fundido para produção do aço)
- Produção do aço brutos.

De uma forma ilustrativa nas tabela 3 e 4 são apresentadas as amostras em estudo, relativa ao período de 1998 até 2009. Este resumo de dados deve-se à extensão elevada da amostra.

Tabela 3 - Produção do ferro gusa.

Total	Total	Ferro fundido para produção do aço	Fundição e outros gusa
1998	30162	29515	648
1999	27934	27354	580
2000	30845	30182	664
2001	29184	28768	416
2002	29427	28658	768
2003	29481	28700	782
2004	30018	29179	838
2005	28854	28188	666

2006	30360	29516	844
2007	31150	30289	862
2008	29111	28320	793
2009	20104	19561	543

Tabela 4 - Produção do aço bruto

Ano	Total	Oxigénio e outros aços	Aço elétrico
1998	44046	31951	12096
1999	42062	29795	12267
2000	46376	33051	13324
2001	44803	31654	13150
2002	45015	31809	13206
2003	44809	31377	13432
2004	46374	32158	14217
2005	44524	30857	13667
2006	47224	32550	14674
2007	48550	33535	15016
2008	45833	31194	14641
2009	32670	21335	11336

Ferro Gusa

Produto obtido no alto-forno pela reação de redução do minério de ferro com carvão e coque, juntamente com calcário. É considerado como uma liga de ferro e carbono e é usado para obter outras ligas de ferros e aços. Na base de dados a produção do ferro gusa está dividida conforme está representado na Fig.14 (Angus, 2013).

Aço elétrico

O aço bruto é produzido em fornos elétricos. Após o carregamento do forno elétrico com uma mistura pré-determinada de matéria-prima (por exemplo, sucata, ferro-gusa), a energia elétrica é aplicada em concordância com um perfil de fusão controlado pelo sistema computacional (Pfeil, 2008).

Oxigênio e outros aços

Neste tipo de processo o forno não precisa de combustível. A alta temperatura é conseguida e mantida, devido às reações químicas que acontecem quando o oxigênio do ar injetado entra em contato com o carbono da gusa líquida (Pfeil, 2008).

5.2. Apresentação do software.

A modelação foi realizada em termos computacionais utilizando o Software Rstudio, devido à sua facilidade em termos de estudos na área da estatística e também por ser um Software grátis (Gandrud, 2013).

A *package* utilizado na identificação do modelo para previsões designa-se “*forecast*”. Este *package* permite apresentar previsões utilizando modelos ARIMA, de alisamento exponencial, Holt-Winters ou Croston e, com os valores de previsões, realizar cálculos de erros associados (Hyndman e Khandakar, 2008).

O caso de estudo está diretamente focalizado na previsão dos próximos consumos, com base no histórico de produção de aço na Alemanha, tendo como um dos principais objetivos realizar um estudo a nível de consumo vs produção, e tentar verificar a viabilidade do processo de economia circular através do modelo de previsão que melhor se ajusta.

5.3. Verificação da Estacionariedade.

Para a formulação dos modelos de previsão, realizou-se uma preparação dos dados para as devidas leituras no *Software R*. Para isso foi necessário transformar os dados em objetos da classe *time series*:

```
Sucata <- ts(dados$Total.1, frequency = 1, start = c(1950,1))
```

Após a transformação dos dados em objetos séries temporais, através das funções apresentada abaixo foi possível realizar a construção dos gráficos relacionados com as variáveis em estudo,

de modo a oferecer uma percepção visual e uma possível compreensão do comportamento das variáveis material para produção do aço (ferro gusa) e sucata para a produção do aço (sucata); ao longo do tempo (Fig.15).

```
FF <- ts(dados\F.F.para.produção.do.aço,frequency = 1,start = c(1950,1));
```

```
plot(FF);
```

```
FGusa <- ts(dados\Fundição.e.outros.gusa,frequency = 1,start = c(1950,1));
```

```
plot(FGusa);
```

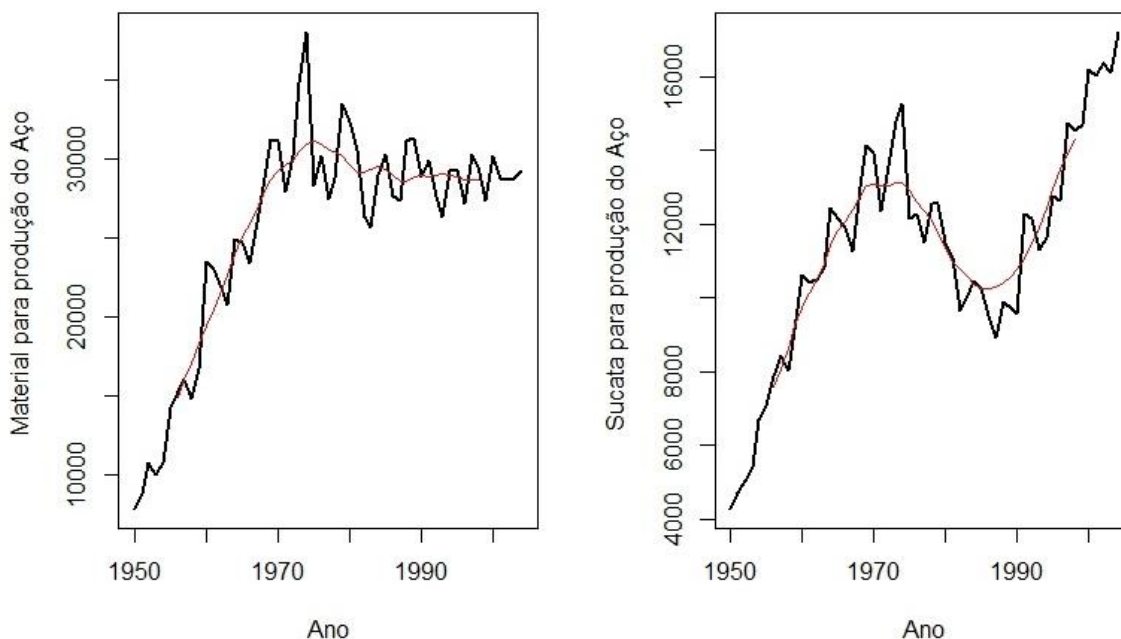


Figura 15 - Variáveis em estudo

Da análise do gráfico pode-se verificar que as variáveis em estudo (matérias primas), apresentam comportamentos diferentes, que são justificados pela procura de ambas as matérias primas e pelos consumos das matérias acabadas. Os gráficos apresentam quantidades diferentes, expressa em milhões de toneladas (Mt).

Isto vem reforçar a ideia acima apresentada sobre a preocupação das indústrias siderúrgicas relativamente à economia circular e à necessidade de eliminar processos de produção ineficientes e apostar em métodos de produção que apresentam uma eficiência energética significativa. Com as variáveis apresentadas e com a compreensão das diferenças entre elas, o

foco principal será que a partir da previsão se descubra uma evidência de exploração no âmbito da economia circular.

5.4. Identificação de Modelos.

Estando os dados organizados deu-se início à identificação do modelo que melhor se ajusta aos dados, começando pela análise de estacionaridade e a determinação de correlações entre as variáveis. Recorrendo as funções FAC e FACP podem ser identificadas as possíveis combinações de defasamento temporais, o que é um bom indicativo para a escolha do modelo ARMA (p, d, q).

Uma vez que ambas as variáveis (Produção a partir do minério de ferro, Produção a partir dos ferros da sucata) apresentavam comportamentos diferentes ao longo do tempo, dá-se que o comportamento das funções de autocorrelação é também diferente (Fig. 15 e 16).

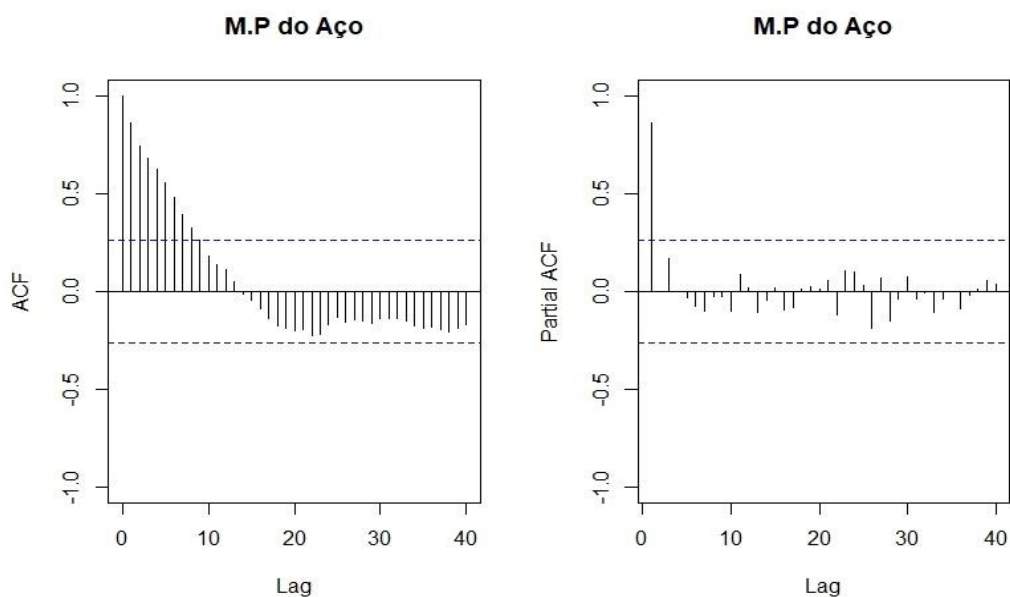


Figura 16 – Autocorrelação Produção a partir do minério de ferro

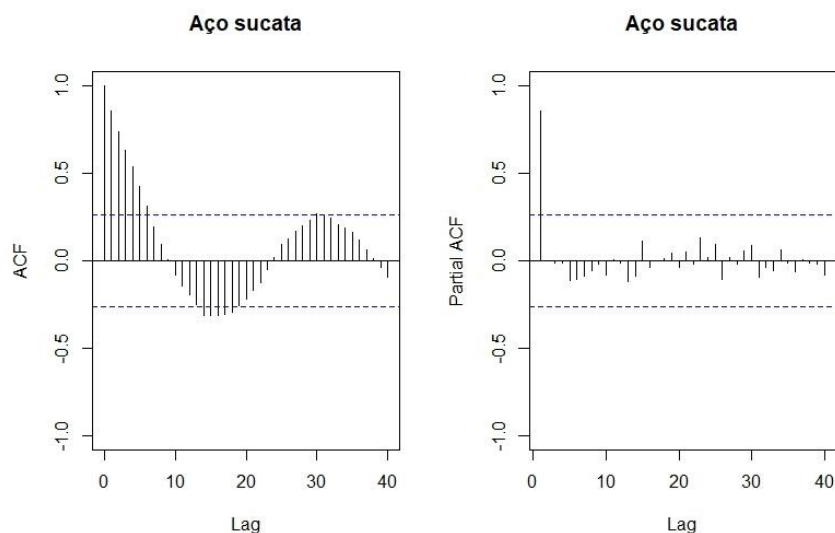


Figura 17 – Autocorrelação Produção a partir dos ferros da sucata.

Na Fig. 16 verifica-se que a FAC relativa a material para produção do aço (M.P do Aço), apresenta um corte ao fim de 9 anos, representado pela linha tracejada, e apresenta também um decréscimo exponencial. já função FACP apresenta um corte brusco logo no desfasamento de 1 ano, o que leva a concluir que se trata de um modelo AR (1).

Em relação a variável da Sucata para a produção do aço (Fig.17) o comportamento na função FAC apresenta uma mistura de comportamentos exponencial e ondas sinusoidais, enquanto que a função FACP apresenta um corte brusco logo no desfasamento , o que leva a concluir que se trata de um modelo AR (1).

A tabela 5 corresponde a concretização da tabela 2, observando o comportamento gráfico das funções FAC e FCP.

Tabela 5 - Classificação dos modelos (Resumo)

Modelo	ACF	PACF
AR(1)	Mistura de exponenciais e / ou ondas Sinusoidal	1 pico no lag 1

Função de autocorrelação amostra (ACF) é construída no software pela seguinte expressão:

$acf(ts(GusaAço,freq=1),lag.max=40,main="FAC P. de Aço Bruto",ylim=c(-1,1))$

onde

- M.P do Aço: variável em estudo;
- lag max: input de número de lag máxima;

5.4.1. Escolha dos modelos (M.P.A).

Recorrendo a função *forecast*, ela procurará a modelo que apresente o melhor ajuste tendo como o principal parâmetro os valores apresentados em AIC. Uma vez que a geração de vários modelos, construídos para diferentes afastamentos temporais, pode conduzir em erro ao modelo que melhor se ajusta, com a função *forecast* o processo torna-se mais rápido e eficiente Fig. 18.

```
library(forecast)

fm1=auto.arima(GusaAço)

P1=forecast(fm1,5)

arimaModel_1=arima(GusaAço, order=c(2,1,0))

Call:
arima(x = GusaAço, order = c(2, 1, 0))

Coefficients:
      ar1      ar2
-0.1021 -0.3049
s.e.    0.1288  0.1273

sigma^2 estimated as 6609027:  log likelihood = -500.73,  aic = 1007.46
```

Figura 18 – Resultados dos Modelos (material para a produção do aço).

5.4.2. Escolha dos modelos (S.P.A).

Em relação ao modelo para sucata, o procedimento utilizado foi equivalente ao ilustrado atrás (Fig. 19).

```
library(forecast)

fm2=auto.arima(Sucata)

P2=forecast(fm2, 5)
```

```

Ca11:
arima(x = sucata, order = c(0, 1, 0))

sigma^2 estimated as 1014836:  log likelihood = -450.04,  aic = 902.08

```

Figura 19 – Resultados dos Modelos (S.P.A).

5.5. Testes de normalidade

Existem vários testes para verificação da normalidade de uma serie temporal. Para os dados em estudo foi aplicado o teste Shapiro-Wilk, para a seguinte formulação de hipóteses:

H_0 : *resíduos* ~ *Normal*

H_1 : *resíduos* \neq *Normal*

Considerando o nível de significância de $\alpha = 5\%$ obtiveram-se os seguintes resultados:

```

Shapiro-wilk normality test

data:  arimaModel_1$residuals
W = 0.95827, p-value = 0.05396

Shapiro-wilk normality test

data:  arimaModel_2$residuals
W = 0.96428, p-value = 0.1013

```

Figura 20 – Teste de Shapiro-Wilk (M.P.A e S.P.A)

Os p-valores apresentam valor superiores ao nível de significância, isto não, rejeitamos a hipótese nula, concluindo que ambos apresentam uma distribuição normal.

Para obtenção dos gráficos que constam na Fig.21 foi utilizado a função “*qqnorm*”, que é uma função genérica cujo método padrão produz um gráfico QQ normal. Também foi utilizada a função “*qqline*”, com o objetivo de colocar uma linha de tendência normal. Com isso é possível nesta figura ter uma compreensão sobre os comportamentos dos modelos apresentados pela função “*forecast*”. Na Fig.21 é possível verificar comportamentos com ajuste a distribuição normal.

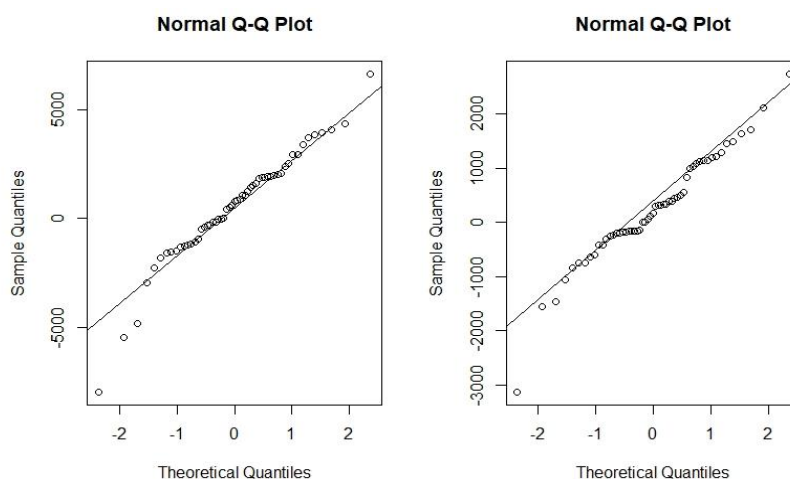


Figura 21 – Comportamento dos modelos (M.P.A e S.P.A).

5.6. Teste de Ljung-Box

Após a construção do modelo, realizou-se o teste Ljung-Box, que nos dá a possibilidade de testar se uma série de observações ao longo do tempo é aleatória e independente, de modo a ter uma previsão mais aproximada (Ehlers, 2013). Isto é verificado através do comportamento dos resíduos, conforme é apresentado na Fig 22.

Considerou-se o nível de significância de 0.05 para testar as hipóteses

H_0 : Os resíduos são independentes

H_1 : Os resíduos não são independentes

Box-Ljung test

```
data: arimaModel_1$residuals
X-squared = 5.5133, df = 5, p-value = 0.3565
```

Box-Ljung test

```
data: arimaModel_2$residuals
X-squared = 10.172, df = 5, p-value = 0.07052
```

Figura 22 – Teste de Ljung-Box (M.P.A e S.P.A)

Pode-se verificar que não se rejeita a hipótese nula para ambos os casos, uma vez que o p-valor é superior ao nível de significância. Este teste veio confirmar as independências das variáveis.

5.7. Previsão (M.P.A e S.P.A)

Tendo identificado o melhor modelo de previsão, fez-se uma previsão a 5 anos, para que seja possível a comparação dos valores previstos com os dados reais. Para esta comparação, a construção do modelo foi baseada os dados do período de 1950 a 2004. A tabela seguinte apresenta os valores observados e os valores estimados quer para material para a produção do aço quer para sucata para a a produção do aço:

Tabela 6 – Valores da previsão (M.P.A e S.P.A).

Ano	M.P.A(real)	M.P.A(estimado)	S.P.A(real)	S.P.A(estimado)
2005	28188	29667,18	16336	17434,28
2006	29516	30008,49	17708	17673,56
2007	30289	30366,24	18261	17912,83
2008	28320	30770,77	17513	18152,11
2009	19561	31163,6	13109	18391,39

Com os valores da previsão fez-se uma análise comparativa recorrendo ao erro absoluto (E.A.), que é calculado pela seguinte fórmula:

$$E. A. = |\text{Valor observado} - \text{Valor esperado}|$$

obtiveram-se os erros absolutos médios para cada modelo ajustado:

Tabela 7 – Erro Absoluto (M.P.A e S.P.A).

Ano	M.P.A	S.P.A
2005	1479.18	1098.28
2006	492.49	34.44
2007	77.24	348.17
2008	2450.77	639.11
2009	11602.6	5282.39

Recorrendo aos mesmos valores da previsão, fez-se uma análise comparativa dos erros relativos (E.R) que são calculados pelas seguintes fórmulas:

$$E. R = \frac{|\text{Valores observado} - \text{Valor esperado}|}{\text{Valores observado}}$$

Tabela 8 – Erros relativo (M.P.A e S.P.A).

Ano	M.P.A	S.P.A
2005	5,1%	5,0%
2006	0,1%	1,6%
2007	1,6%	0,3%
2008	5,4%	8,0%
2009	33,7%	37,2%

Relativamente à interpretação das tabelas 7 e 8 pode-se verificar que tanto os erros absolutos como os erros relativos apresentam valores superiores no ano de 2009. e isso é de se esperar, uma vez que houve um decréscimo nos valores reais nesta data, como consequência da crise económica ocorrida a partir do ano de 2009.

Nas Fig. 23 e 24 apresentam-se os gráficos relativos aos valores previstos bem como a região de confiança a 80% e 95% para estes valores previstos.

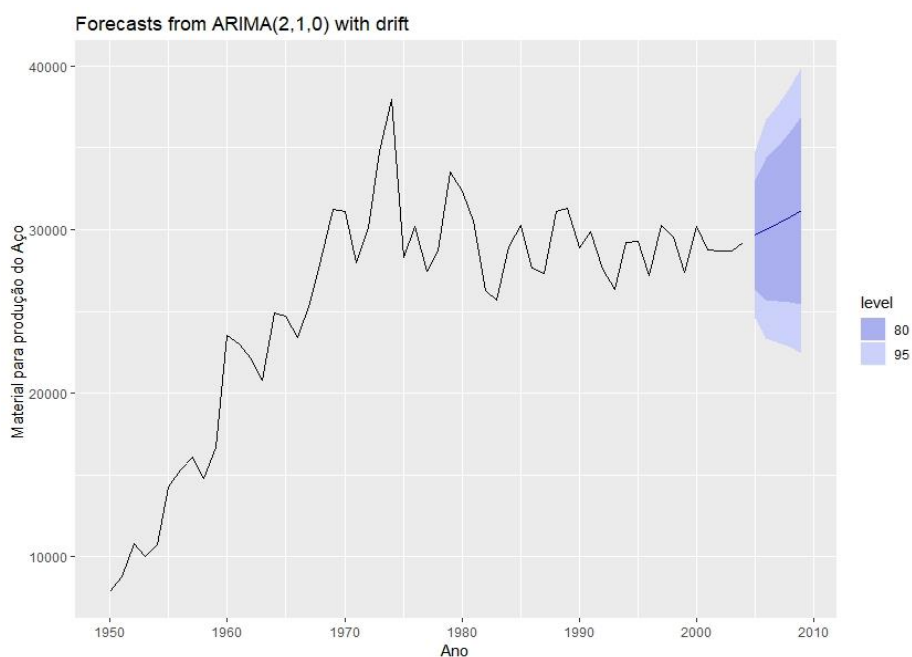


Figura 23 – Previsão da Produção a partir do minério de ferro.

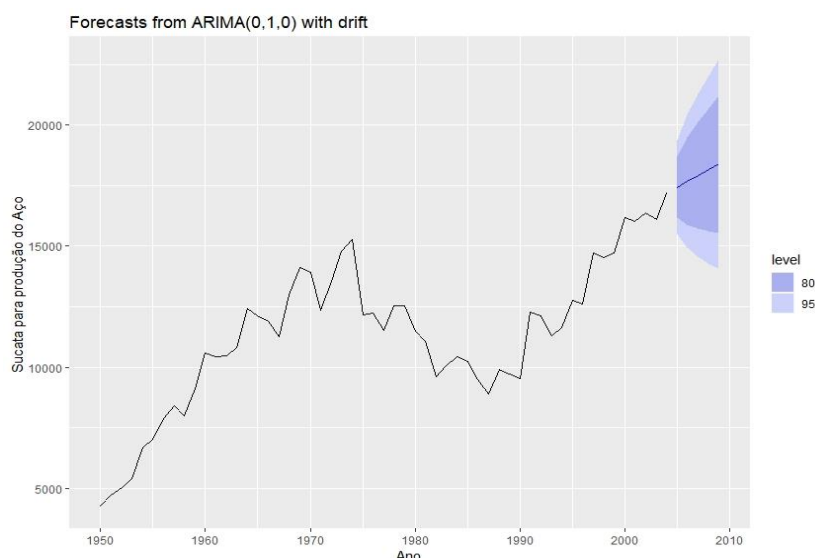


Figura 24 – Previsão da Produção a partir dos ferros da sucata.

Fatores correção

É uma forma direta de calcular a correção da produção, é dada pela seguinte fórmula:

$$F.C = \frac{\text{Valor observado}}{\text{Valor Esperado}}$$

Na tabela 9 estão presente os valores do fator, para os dois processos de fabrico. Anteriormente já foi referida a grande importância da produção de aço bruto pelo processo de aços elétricos e oxigénio. Estes processos têm tido muita adesão pelas indústrias siderúrgicas devido à sua eficiência e possibilidade de produzir a partir de sucatas. Na tabela 9 verifica-se que os fatores de correção para a produção a partir da sucata apresentam valores superiores aos relativos à produção a partir do minério de ferro o que reforça a importância que este processo de produção apresenta para as indústrias siderúrgicas.

Tabela 9 – Fatores de correção para dois tipos de produções.

Ano	M.P.A(real)	M.P.A(estimado)	S.P.A(real)	S.P.A(estimado)	F.C.(M.P.A)	F.C.(S.P.A)
2005	28188	16336	29667,18	17434,28	0,950	0,937
2006	29516	17708	30008,49	17673,56	0,984	1,002
2007	30289	18261	30366,24	17912,83	0,997	1,019
2008	28320	17513	30770,77	18152,11	0,920	0,965
2009	19561	13109	31163,6	18391,39	0,628	0,713

5.8. Identificação de Modelos (Aço Bruto).

Conforme referido anteriormente, a base de dados utilizada apenas apresenta valores até 2009, no que concerne à distinção entre os dois processos de produção. Está, no entanto, disponível uma outra base de dados relativa a valores de produção total de aço e referente ao período de 1950 a 2016.

No que segue, os passos a seguir foram os mesmos que os descritos anteriormente, isto é, a verificação da estacionariedade, identificação dos modelos, teste de normalidade e por último a previsão.

Verifica-se na Fig. 25 que o aço bruto, apresenta na função FAC um corte no desfasamento temporal de 9 anos e a apresenta um decréscimo exponencial. Já a função FACP apresenta um corte brusco logo no desfasamento temporal de 1 ano, o que leva a concluir que se trata de um modelo AR(1).

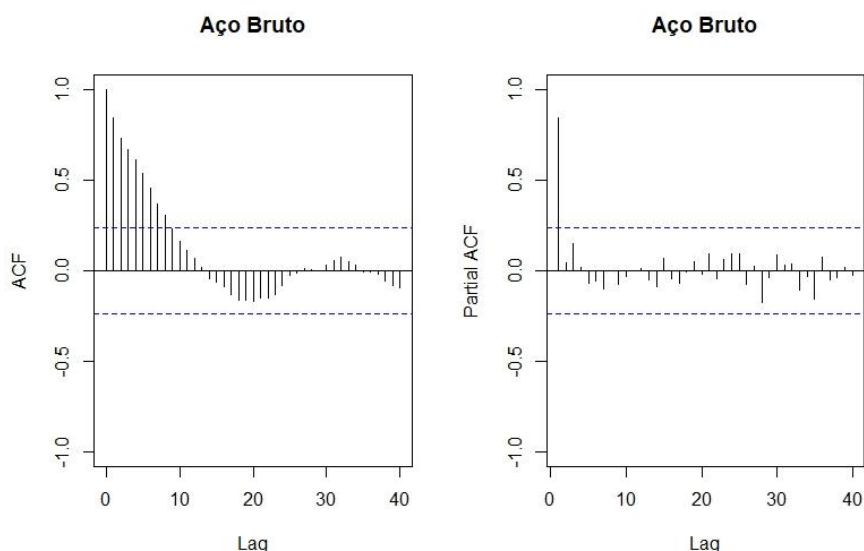


Figura 25 – Autocorrelação Produção a partir do aço bruto

5.9. Teste de Ljung-Box (Aço Bruto)

Após a construção do modelo realizou-se novamente o teste Ljung-Box, para o nível de significância de 0.05.

```
Box-Ljung test
data: arimaModel_3$residuals
X-squared = 0.41185, df = 5, p-value = 0.995
```

Figura 26 – Teste Lung-box (Aço bruto).

Relativamente a este teste verifica-se (Fig.26) que não se rejeita a hipótese nula uma vez que o p-valor é superior ao nível de significância. Este teste veio reforçar a independência das variáveis.

5.10. Escolha dos Modelos (Aço bruto).

Recorrendo novamente a função “*forecast*”, selecionando o modelo pelo critério AIC, é obtido o modelo que melhor se ajusta (Fig. 27).

```
library(forecast)

fm1=auto.arima(Aço)

P1=forecast(fm1, 6)

arimaModel_1=arima(Aço, order=c(3,1,2))

Call:
arima(x = sucata, order = c(3, 1, 2))

Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ma1      ma2
  1.1614 -0.6213  0.2808 -1.5168  0.7361
s.e.  0.1671  0.2137  0.1700  0.1439  0.2182

sigma^2 estimated as 12177599:  log likelihood = -584.81,  aic = 1181.62
```

Figura 27 – Resultados dos Modelos (Aço Bruto)

5.11. Testes da Normalidade (Aço Bruto)

Novamente é utilizado o teste Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade.

Considerando o nível de significância de $\alpha = 5\%$, obtém-se:

```
Shapiro-wilk normality test

data:  arimaModel_3$residuals
W = 0.88237, p-value = 1.236e-05
```

Figura 28 – Teste Shapiro-Wilk (Aço bruto).

O p-valor apresenta valor inferior ao nível de significância isto significa, o que significa que se rejeita a hipótese nula, concluindo que os resíduos não apresentam uma distribuição normal.

Utilizando novamente a função qqnorm, é possível verificar o comportamento da amostras no que respeita a normalidade (Fig.27).

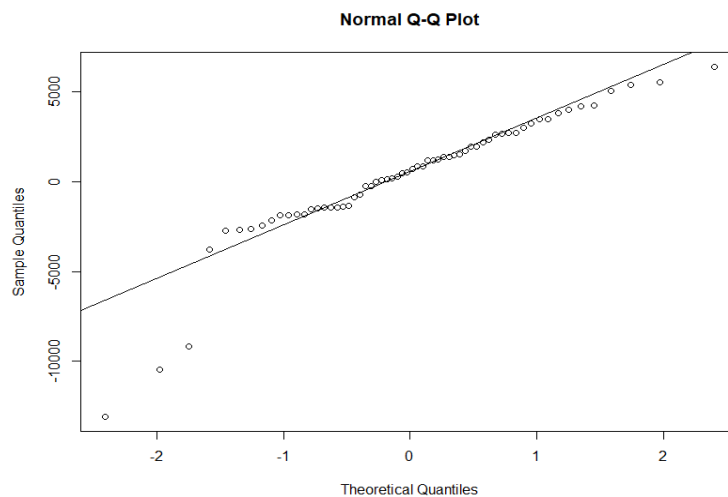


Figura 29 – Comportamento das amostras (Aço bruto).

5.12. Previsão da Produção (Aço Bruto)

Os estudos anteriores incidiram nas produções baseadas no minério de ferro (ferro gusa) e nas reciclagens. Já este estudo de previsão da produção é referente ao aço bruto, obtidos por processos de produção por forno a oxigénio e por forno elétrico, a fim de mostrar a sua evolução no que diz respeito as produções após a variação brusca no ano de 2009. Com os valores das previsões apresentados na tabela 10 e com a representação na Fig. 30 é possível verificar um crescimento na produção após o fenómeno de crise ocorrido no ano de 2009.

Tabela 10 – Valores da 2ª previsão.

Ano	Aço Bruto (real)	Aço Bruto (previsto)
2011	43800	42002,65
2012	44300	42316,56
2013	42700	42573,96
2014	42600	42668,65
2015	42900	42718,66
2016	42900	42793,85

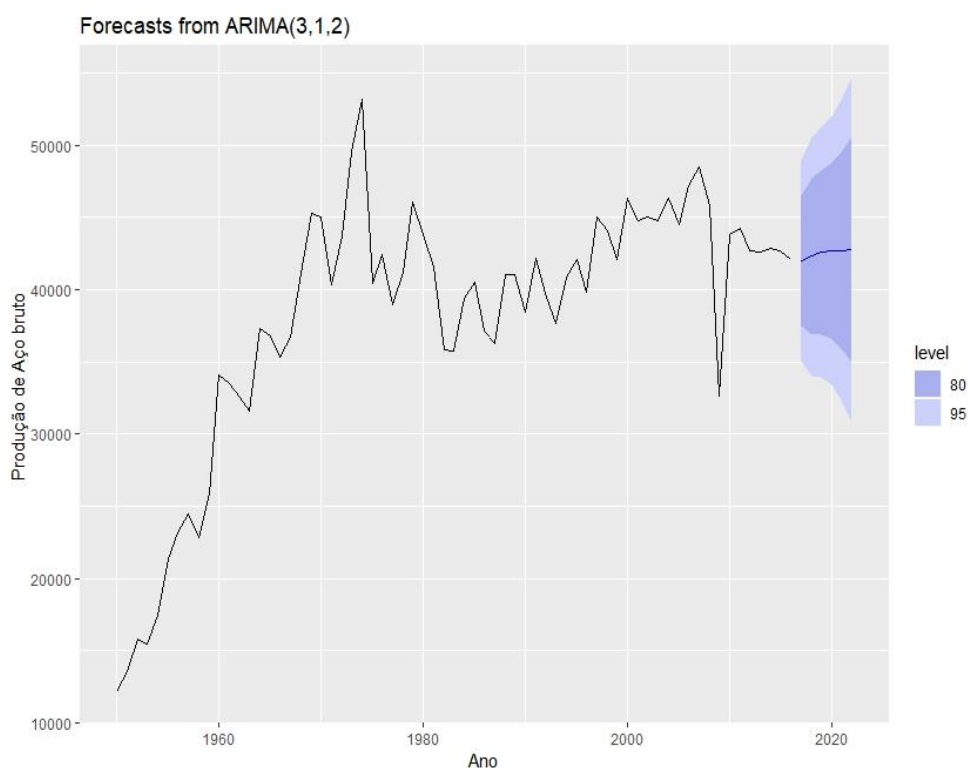


Figura 30 – Previsão da Produção do aço bruto.

Dando seguimento ao estudo, recorreu-se novamente ao estudo dos erros.

Tabela 11 – Erro Absoluto e relativo (Aço bruto).

Ano	Erro absoluto	Erro relativo
2011	1797.35	4,3%
2012	1983.44	4,7%
2013	126.04	0,3%
2014	68.65	0,2%
2015	181.34	0,4%
2016	106.15	0,2%

Por observação da tabela 11, verifica-se que o modelo tem um comportamento cada vez mais estável à medida que o período de previsão se afasta do período de crise.

CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste capítulo será apresentada uma discussão dos resultados obtidos e algumas conclusões. São ainda propostos alguns trabalhos a desenvolver.

Discussão

O presente trabalho teve como principal objetivo de estudo a análise do comportamento dos processos de produção do ferro, de forma a apresentar fatores que apresentam possibilidade de ser indicativos de uma prática de economia circular.

O estudo teve como principal ferramenta a utilização do *software Rstudio* para realização das previsões das produções do ferro na Alemanha. Com este software procurou-se identificar os modelos que melhor se ajustam aos dados e de forma a apresentar valores de menor erro de previsão possível. Com os modelos ajustados determinaram-se previsões para duas variáveis em estudo.

Sendo que este estudo precisava de uma comparação fidedigna, recorreu-se a plataforma a *Closed Source Trading Economics* que gera previsões de dados relativos a estudos de mercado, gerou-se o gráfico apresentado na Fig. 31

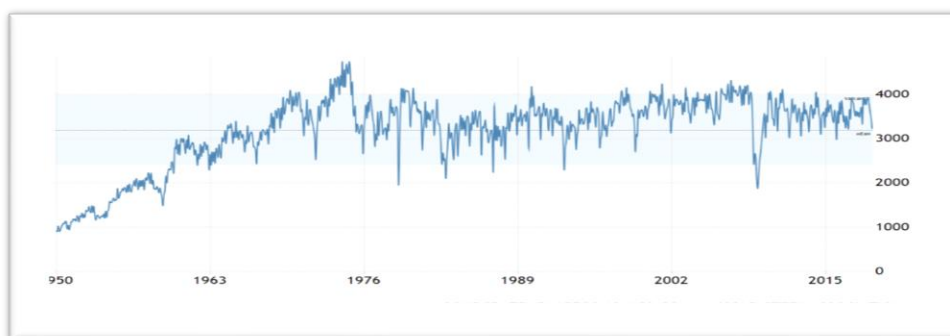


Figura 31 –Aço bruto Alemanha (Tradigecomics)

Pode-se verificar que a produção do aço, embora com oscilações, apresenta um comportamento com tende a crescer, o que esta em corcodancia com o comportamento da previsões apresentada na figura 30.

A necessidade do consumo do aço tem aumentado cada vez mais. Tendo por base os estudos acima referidos, pode-se afirmar que este consumo está relacionado com um desenvolvimento económico dos países e também com o crescimento populacional, uma vez que o aço é principal material na construção civil e também nos setores dos transportes, alem de outros setores onde se encontra presente, sendo que os principais meios de produção do aço são dados pelas duas variáveis em estudo (material para produção do aço a partir do minério de ferro e material da sucata para a produção do aço).

Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar processos de produção de aço através de modelos de previsã, procurando realçar vantagens nergéticas e benefícios económicos decorrentes da escolha do processo. Para a realização da previsão foi utilizado o modelo de *Box e Jenkins* (ARIMA).

No capítulo 2 foram apresentados conseitos que estão diretamente relacionados com a necessidade da eficiência e a preocupação das empresas encontrarem processos com menor desperdício possível. Há uma necessidade evidente nas mudanças de paradigma.

Hoje há uma preocupação com a sustentabilitam e a saúde ambiental do ecossistema. O aço é um metal que apresenta características que possibilitam uma boa exploração a nível do seu reaproveitamento (reciclagem). Para que haja uma produção sustentada pela reciclagem de ferro é preciso ter um bom sistema de recolha que possa responder a nível de competência e fiabilidade às indústrias siderúrgicas.

Tendo como ferramenta informática o *R studio*, recorrendo à função *forecast* foi possível realizar selecionar modelos que melhor se ajustam aos dados, pelo critério de informação *AIC*. Para a averiguação dos comportamentos das correlações dos mesmos modelos foi realizado também o teste de *Ljung-Box*. A escolha para as séries que melhor se ajustam recaiu sobre os modelos ARMA (2,1,0) (0,1,0) (3,1,2).

Pelos estudos realizados aos dois principais processos de produção de aço, verificou-se que os modelos de previsão propostos apresentavam valores de erros relativos abaixo de 7%, com

exceção dos 37%, relativos ao ano de 2009, que é justificado por acontecimentos não previsíveis que o correm no no de 2009. Recorrendo aos dados mais atuais relativamente a produção do aço bruto, é possível verificar uma redução muito significativa do valor do erros, que nos leva concluir sobre a eficácia do modelo utilizado.

O estudo indicou o crescimento da prática da economia circular na indústria siderúrgica alemã, embora ainda não tenha superado a quantidade de produção de ferro gusa para a produção do aço. Mostrou também que, mesmo havendo oscilações na procura do aço, a prática da reciclagem do mesmo continua em fase de crescimento até suprir a produção total dos materiais acabados. Segundo a Worldsteel Association, os processo de produção de aço hoje requerem apenas 40% da energia utilizada em 1960.

Trabalhos Futuros

No decorrer da análise efetuada, verificou-se que em alguns períodos do tempo os dados apresentam um comportamento de diminuição brusca. Relativamente a este tipo de comportamento, as previsões efetuadas podem perder relevancia. Prara incorporar no modelo de previsão comportamentos como o referido podem ser utilizadas variáveis dummy (variáveis que assumem valor 0 ou 1).

Como proposta de trabalho futuro esta a inclusão deste tipo de variáveis nos modelos de previsão, de forma a permitir uma previsão mais assertiva, utrapassando estes dilemas que os dados apresentam.

Um outro grande desafio futuro é a elaboração de um estudo relativamente à economia circular em todo setor metalúrgico, o que pode ser de grande relevância nas indústrias que a pratiquem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. IEEE Transactions on Automatic Control., Boston, vol 19, n.6, pp.716-723.
- Akaike, H. (1976). *Canonical Correlation Analysis of Time Series and the Use of an information Criterion*. System Identification Adevances and Case Studies, vol 126, pp. 27-96.
- Alpers, M.; Hoffner, J. e Zahn, U. (1990). *Iron atom densities in the polar mesosphere from lidar observations*. American Geophysical Union, vol 17, pp. 2345-2348
- Andrade, M. L. A.; Cunha, L. M. S e Grandra, G. A. (2000). *A ascensão da mini-mills no cenário siderúrgico mundial*. BNDES Setorial, vol. 12, pp. 51 -76.
- Angus, H. T. (2013), *Cast Iron : Physical and Engineering Properties*. Kingsway, Londres.
- Barralis, J., Maeder, G. (2005) *Prontuário de metalurgia: elaboração, estruturas-propriedades e normalização*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Becky, J. Mark, E. Diana, M. e Robert W. (1987). *Global sustainability: Toward definition Environmental Management*. Springer link, vol.11, n.6, pp 713–719.
- Beirão, C. M. e Gomes, M. V. (1983). *A necrópole da idade do ferro do galeado (Vila Nova de Milfontes)*, Lisboa.
- Box, G., Jenkins, G., Reinsel, C e Ljung, M. (2016). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Hoboken, New Jersey, United States of America.
- Borgs, G. E. P. (2011). *Química na siderurgia*. Dunod, Porto Alegre.
- Bronze, E., Kotler, P., Celeste, R. (2012). *Administração de Marketing*. Pearson Education São Paulo.
- Brokwell, P. J. e Davis, R. A. (1991). *Time Series: Theory and Methods: Theory and Methods*. Springer Series in Statistics, New York, United States of America (USA)
- Costa, M. M. (2002). *Princípios de ecologia industrial*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

- Cock, K. D. (2002). *Subspace angles between ARMA models*. *Systems & Control Letters*, Science Direct, vol. 46, n. 4, pp. 265–270.
- Completa, T. P. <https://www.tabelaperiodicacompleta.com/>. Tabela Periódica completa (2019).
- CNPQ, N. (2005). *História do mundo contemporâneo*. São Paulo.
- Charles J. K. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery United States of America*.
- Crompton, P. (2015). *Explaining variation in steel consumption in the oecd*. *Resources Policy*, vol. 45, n. 269, pp. 239–246.
- Chung, W.C. e Leung, S. (2005). *Collaborative planning, forecasting and replenishment: a case study in copper clad laminate industry*. *Production Planning & Control*, vol. 16, Issue 6 pp. 563-574.
- Ehlers, R. S. (1031). *Análise de séries temporais*. Laboratório de estatística e geoinformação, Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- Europeia, C. (2013). Plano de ação para uma indústria siderúrgica competitiva e sustentável na Europa. Estásburgo.
- Fernandes, J. (2003). *A Geopolítica Clássica Revisitada*. Repositório comun, N.º 105 - 2.ª Série, vol. 45, n. 269, pp. 221-244
- Floriano, E., Muller I., Finger, C. e Schneider P. (2006). *Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores*. vol. 1., n.2, pp. 177-199
- Fox, J. A.; Piquero, A. R. (2003). *Deadly Demographics: Population Characteristics and Forecasting Homicide Trends*. *Crime & Delinquency*. vol.49. n.3, pp. 339-359
- Galbiati, A. F. (2012). *O gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem*. Instituto de Permacultura Cerrado-Pantanal, Vol. <http://web-resol.org/textos/97.pdf>
- Gandrud, C. (2013). *Reproducible Research with R and R Studio*: Chapman and Hall/CRC, United States of America.
- Gooijer, J. G. e Hyndman, R. J. (2006) *25 years of time series forecasting*. *International Journal of Forecasting*, vol. 22, n. 3, pp. 443-473.

- Guedes, H. M. (1998). *As Sustentabilidades. (1972)*. (managed), Google-Books-ID: vxdyDwAAQBAJ (Portugal)., vol. 13, pp. 17.
- Granger, C.; Newbold, P. (1986). *Forecasting economic time series*. San Diego New York Boston, United States of America.
- Heij, C. Boer, P. e Franses, H. (2004). *Econometric Methods with Applications in Business and Economics*. Oxford university press.
- Hyndman, R. J.; Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*, Monash University, Australia.
- Hyndman, R. J. e khandakar, Y. (2008). *Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R*. Journal of Statistical Software, vol. 27, n. 3, pp.22.
- Hollauer, G., Bahia, L. e Issler, V. (2006). *Modelos vetoriais de correção de erros aplicados à previsão de crescimento da produção industrial*. Repositório do Conhecimento do Ipea, vol. 16, n. 1, pp. 0-23.
- Informet (1998). <https://www.infomet.com.br/siderurgia-4a-sopro-oxigenio.php> Processos a oxigênio.
- Jorge, Miriam. J. F. (2015) *A Cultura da Sustentabilidade Social, um instrumento de Humanização*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Junior, F. H. (2010). *Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Khandelwal, I. Adhikari, R. e Verma, G. (2015). *Time Series Forecasting Using Hybrid ARIMA and ANN Models Based on DWT Decomposition*. Science Direct, vol. 48, pp. 173–179.
- Knight J. e Satchell, S. (2011); Knight, J. *Forecasting Volatility in the Financial Markets*, Oxford, UK.
- Lutkepohl, H. (1985). *Comparison of criteria for estimating the order of a vector autoregressive process*. wiley online library, vol. 6, n. 1, pp. 35–52.

- Mattos, T. M. (2016). *Análise e previsão de séries temporais com modelos arima e análise espectral*. Dissertação de Mestrado, Universidade Aberta, Coimbra.
- Monteiro, R. M. A. (2017). *Amostragem preferencial: modelação de dados auto-correlacionados*, Sociedade Portuguesa de Estatística.
- Medina, H. V. (2006). *Serie Inovação e Qualidade: Eco-concepção para a qualidade do aço e do alumínio automotivos*. Rio de Janeiro.
- Pfeil, W. (2008). *Estrutura de aço: dimensionamento Prático de acordo com a NBR 8800* :Rio de Janeiro.
- Pais, J. F. (2017). *Métodos de Previsão*. Dissertação de Mestrado, Faculdade do Porto, Porto.
- Parker, P. M. (1994). *Aggregate diffusion forecasting models in marketing: A critical review*. *International Journal of Forecasting*. vol. 10, n. 2, pp. 353-380.
- Portalaction (2013). <http://www.portalaction.com.br/series-temporais/31-medias-moveis-simples-mms> *médias móveis simples (mms)*.
- Rizzo, E. M. (2006). *Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Convertedores a Oxigênio*. São Paulo.
- Souza, G. S. (1991). *A dinamica do mercado transoceanico de minerio de ferro: evolução historica e perspectivas do ano 2000*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Seidel, L. G. (2016). *Metalografia e ensaio de tração no aço 1020 e 1045*. WEB artigo, vol. 13, pp.17.
- Sucatas (2018). <http://www.rcsucatas.com.br/> *Compra e Venda de Sucata em Geral* União Europeia (UE), (2013). *Plano de Ação para uma indústria siderúrgica competitiva e sustentável na Europa*, Estrasburgo.
- Steel Script (1991). https://www.tf.unikiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/illustr/ia_5_1.html , *Large Pictures*
- Torres, A. K. (2010). *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal, Quebec H2W 2B2.

- Tomas, D. F. M. (2018) *Integração de metodos preditivos em sistemas de informação na Quidgest*. Dissertação de Mestrado Faculdade de Economia e Gestão de Lisboa, Lisboa.
- Williamd, R. e Callister, J. (2016) *Ciência e engenharia de materiais uma introdução*. Printed in the United States of America.
- Worldsteel (2017). https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:1a0978ce-d387-4ce9-8d1b-5f929f343ac1/2017_2016%2520top%2520steel%2520producers_Extended%2520list.pdf
Top steelmakers in 201.
- Xiang, Y.; Wenying, C. (2013). *Trends and development of steel demand in China. A bottom-up analysis (2013)*. Resources Policy, vol. 38, n. 4, pp. 407–415.
- Xavier, J. M. (2016). *análise e previsão de séries temporais com modelos arima e análise espectral singular*. Mestrado em Bioestatística e Biometria. Universidade Aberta (Portugal).
- Yule, G. U. (1927). "On a Method of Investigating Periodicities in Disturbed Series, with Special Reference to Wolfer's Sunspot Numbers". Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 226 (636–646): 267–298.