

HÉLIO PEREIRA DA CUNHA FILHO

**UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE INTENSIDADE ENERGÉTICA PARA REDUÇÃO
DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E DE GÁS NATURAL**

Guaratinguetá

2024

HÉLIO PEREIRA DA CUNHA FILHO

**UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE INTENSIDADE ENERGÉTICA PARA REDUÇÃO
DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E DE GÁS NATURAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá

2024

C972u	Cunha Filho, Hédio Pereira da Utilização do índice de intensidade energética para redução das tarifas de energia elétrica e de gás natural / Hédio Pereira da Cunha Filho – Guaratinguetá, 2024. 75 : il. Bibliografia: f. 73-75 Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024. Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna 1. Energia elétrica - Consumo. 2. Siderurgia. 3. Serviços de eletricidade - Tarifas. I. Título. CDU 620.92(043)
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Alertar e desenvolver a mentalidade conservacionista em todos os ramos da sociedade, utilizando os setores industriais como alavanca. O índice de intensidade de energia apresenta resultados objetivos e retratam com precisão a evolução de medidas adotadas para a redução do consumo energético. A premiação da redução dos valores destes índices são um incentivo para adoção das medidas conservacionistas.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Notify and implement among the society an energy preservation thought using industrial sectors as a lever for this. The specific energy consumption shows very clearly how much the energy is required to produce the goods and how the measures to reduce consumption are succeeding. The reduction of cost of energy bills as a reward in case of energy consumption reduction, is a motivating force to improve the energy preservation thought.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

HÉLIO PEREIRA DA CUNHA FILHO

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador - UNESP
participou por videoconferência

Prof. Dr. RONNEY ARISMEL MANCEBO BOLOY
CEFET

participou por videoconferência

Prof. Dr. THIAGO AVERALDO BIMESTRE
UNESP

participou por videoconferência

SETEMBRO de 2022

DADOS CURRICULARES

HÉLIO PEREIRA DA CUNHA FILHO

NASCIMENTO	25/07/1952 – Guaratinguetá / SP
FILIAÇÃO	Hélio Pereira da Cunha Maria Francisca Galvão Félix da Cunha
1971/1975	Engenheiro Mecânico. Universidade Federal de Itajubá

RESUMO

Os índices de intensidade de energia (IIE) são utilizados em todo o mundo como indicador de consumo de energia para a produção de qualquer bem. Uma vez que ele expressa o total consumido em unidades de energia por unidade de produção, o índice reflete exatamente quanto a empresa gasta em energia para produzir cada unidade. Este índice é comparado diretamente aos dos concorrentes e portanto reflete quanto pode ser trabalhado em melhoria da conservação de energia na unidade produtiva. Ressalta-se que a comparação pode ser feita diretamente entre os índices das empresas, mesmo que tenham escalas produtivas completamente diferentes, uma vez que se trata de um índice resumindo o total de energia gasto para a produção do bem (GJ/t), assim como o de consumo de combustível de um automóvel (km/l). Assim, este estudo teve como objetivo analisar a aplicação do IIE no uso dos conceitos da conservação de energia no setor siderúrgico e propor uma premiação, em forma de descontos nas tarifas de energia para as mesmas. Neste sentido, foram avaliadas as condições de consumo energético e a respectiva produção do setor através de levantamento de dados fornecidos pelas entidades responsáveis no Brasil. No desenvolvimento do trabalho avaliou-se que as variáveis envolvidas bem como as premissas para cálculo dos consumos de energia são fundamentais para que se chegue a resultados confiáveis, principalmente porque o IIE terá caráter comparativo, pois este é seu objetivo. Desta forma, os procedimentos de cálculo e premissas, tais como valores dos poderes caloríficos, limites de bateria, sub-geração de energia, são fatores fundamentais para embasamento dos cálculos. As propostas para premiação foram a forma mais conveniente encontrada e podem ser alteradas conforme condições vigentes. O mesmo se aplica aos meios de subsidio ressarcimento aos descontos aplicados as premiações, no caso de redução dos IIE. Por fim, a escolha do setor siderúrgico se deu pelo fato de existirem estudos bem desenvolvidos, detalhados e publicados pelo Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética, que é um órgão do referido Ministério. No âmbito mundial também existem trabalhos significativos, reportando os consumos em diversos setores siderúrgicos, de forma a aferir e estabelecer os índices do setor como um todo, comparando-os com outros países concorrentes no mercado mundial.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de intensidade de energia; Energia; Consumo; Siderurgia; Tarifa.

ABSTRACT

The specific energy consumption (SEC) index is a worldwide concept used in all industrial enterprise. This index reflects the energy consumption needed to produce any kind of product and is considered the rate of energy measured by production unit. This index can be used to compare the energy consumption among different companies that produce the same sort of product. This comparison can be done even if the companies present different production scale, as the SEC is a ratio, and should be considered as fuel consumption of industries, and can be compared to car fuel consumption such as km/l. Thus, this study aimed to analyze the employment of SEC in the use of energy conservation concepts in the iron and steel industry sector and propose a reward in the form of discounts on energy bill and natural gas. Therefore, the conditions of energy consumption and the production of the sector were evaluated through data supplied by the official agencies and Brazilian offices responsible for this industrial sector. Along the job progress, the significance of boundary limits, fuel conversion factors became as two of most relevant subjects for right calculation and evaluation of results. The final way to award the SEC improvement presented in this job is the most convenient and applicable to the sector, but it could be changed according to the present conditions. Finally, the steel industry was chosen because it is a big energy consumer and there are many studies and papers developed around the world. In Brasil, Ministério de Minas e Energia and specifically, the Empresa de Pesquisa Energética, which is a branch of referred ministry has a very organized database. Consequently, the existing data and papers are the basis for a sustained job to be developed.

KEY WORDS: Specific energy consumption; Energy; Consumption; Iron and steel industry; Energy bill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema simplificado de uma siderurgia rota 1	19
Figura 2 – Esquema simplificado para as rotas siderúrgicas 1 e 2	22
Figura 3 – Esquema simplificado da rota tecnológica 3 de usinas semi-integradas	22
Figura 4 - Evolução do consumo e da densidade de energia na siderurgia mundial.	24
Figura 5 - Fluxograma dos limites de bateria para o setor siderúrgico.	27
Figura 6 - Consumo de eletricidade na produção de aço líquido via EAF, em kWh/t.	50
Figura 7 – Curva MAC para o setor industrial brasileiro	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sustentabilidade no setor siderúrgico brasileiro.....	25
Tabela 2 - Fatores de conversão de energia dos combustíveis.....	28
Tabela 3 - Fatores de conversão para energéticos e produtos importados.....	28
Tabela 4 – Produção siderúrgica brasileira.....	32
Tabela 5 – Consumo de energia Setor industrial de ferro-gusa e aço.....	33
Tabela 6 – Autoprodução de energia elétrica 2002-2003 e 2005-2006 GWh.....	33
Tabela 7 – Intensidade energética ano 2006 China e Estados Unidos – cenários.....	35
Tabela 8 – Consumo de energia Setor industrial de ferro-gusa e aço – fatores IEA 2005.....	37
Tabela 9 – Consumo energético do parque siderúrgico chinês no ano de 2015 - NBS.....	38
Tabela 10 – Intensidade energética consumida por setor siderúrgico da rota 1 – 2015 – tonelada de aço.....	40
Tabela 11 – Intensidade energética produzida por setor siderúrgico da rota 1 – 2015 – toneladas de aço.....	41
Tabela 12 – Intensidade energética resultante do balanço consumo x produção 2015 – toneladas de aço.....	42
Tabela 13 - Intensidade energética resultante do balanço entre consumo x produção 2015 – tonelada de aço com valores de poderes caloríficos conforme IEA 2015.....	45
Tabela 14 – Evolução do consumo, produção e intensidade energética siderurgia brasileira..	45
Tabela 15 – Subdivisão do grupo A – Tarifação elétrica.....	48
Tabela 16 – Tarifas industriais área de concessão da COMGAS.....	54
Tabela 17 – Tarifas industriais área de concessão da Naturgy.....	55
Tabela 18 – Demonstrativo da forma de aplicação da premiação e da validação do contrato.	58
Tabela 19 – Perfil da geração elétrica brasileira em 2019.....	62
Tabela 20 – Custos por tecnologia adotada para abatimento de emissões.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Energia consumida por energético	GJ
q	Quantidade consumida por energético	t/m ³
pc	Poder calorífico inferior do energético	J/kg – J/m ³
EU	Energia total por unidade	GJ
E _n	Energia de qualquer “n” energético	GJ
IIE	Índice de intensidade energética	GJ/t – GJ/m ³
P	Produção total no período	t – m ³
T	Tarifa do gás	R\$
P _G	Custos variáveis	R\$
P _T	Custo fixo	R\$
M _T	Margem de distribuição	R\$
P _V	Custo variável para o gás boliviano	R\$
P _F	Custo fixo para o gás boliviano	R\$

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABMM	Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
AF	Alto-forno.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo.
ARSESP	Agência Reguladora de Serviço Público no Estado S. P.
BEN	Balanço Energético Nacional – Ministério de Minas e Energia
BF	Blast Furnace – Alto-forno.
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BOF	Basic Oxygen Furnace – Forno de aciaria processo LD
CC	Continuous Casting – Lingotamento contínuo.
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética.
COG	Coke oven gas – gás de coqueria
COMGAS	Companhia de Gás de São Paulo.
DRI	Direct reduction iron – ferro esponja
EAF	Electric Arc Furnace – Forno elétrico para produção de aço
EIA	Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética do M.M.E.
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito estufa
GAF	Gás de alto forno.
IABr	Instituto Aço Brasil
IC	Ingot Casting – Lingotamento por lingoteiras.
IEA	International Energy Agency
IIE	Índice de intensidade de energia ou índice de intensidade energética.
LD	Linz – Donawitz – Cidades as quais se atribui o processo BOF
MME	Ministério de Minas e Energia
NBS	National Bureau of Statistics – China.
NCV	Net calorific value – Poder calorífico inferior.
SINDIFER	Sindicato da Indústria de Ferro no estado de Minas Gerais
SCE	Specific Consumption Energy – Consumo específico de energia
WSA	World Steel Association – worldsteel.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
2	A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	15
2.1	O SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO.....	17
2.2	PERFIL ENERGÉTICO DO SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO.....	19
2.3	O ÍNDICE DE INTENSIDADE ENERGÉTICA NO SETOR SIDERÚRGICO.....	20
3	METODOLOGIA.....	25
4	PROCESSAMENTO DE DADOS.....	31
4.1	CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NACIONAL.....	31
4.2	CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA DA CHINA EM 2015.....	38
4.3	CÁLCULO DA INTENSIDADE NO BRASIL EM 2015.....	39
4.4	TARIFAS ENERGÉTICAS NA SIDERURGIA NACIONAL.....	46
4.4.1	Considerações sobre o Mercado Livre de energia.....	51
4.5	TARIFAS ENERGÉTICAS PARA O GÁS NATURAL.....	53
5	PREMIAÇÃO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL.....	56
5.1	RECURSOS PARA PAGAMENTO DA PREMIAÇÃO.....	61
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
7	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Todo o ramo industrial em qualquer lugar do mundo luta arduamente na redução dos custos de sua produção, sejam eles diretos ou indiretos.

"Um dos fatos mais importantes que pode e deve ser conhecido num projeto industrial é seu provável custo unitário de produção." MURRAY D. BRYCE, 1965.

Evidentemente este é um dos primeiros passos na avaliação da viabilidade de um projeto industrial, independente de qual ramo for. O levantamento dos custos de produção são fundamentais para a avaliação da viabilidade de implantação de qualquer projeto industrial e evidentemente nesta etapa de projeto eles ainda são estimativos, da mesma forma que os demais custos do projeto para um produto novo. Dentre os custos de produção, os custos diretos relacionados ao consumo de energia para produzir determinado produto, nos dias atuais tomam peso e características especiais uma vez que em um mundo globalizado a maioria destes custos tem valores estabelecidos mundialmente e são os mesmos em diversas nações. Entretanto, dependendo da forma como os consumos das diversas formas de energia são distribuídos nas produções, que variam enormemente em cada processo produtivo, estes influenciam diretamente no lucro do negócio, uma vez que o custo do produto também é ditado pelo comércio mundial. Assim, duas formas de análise poderiam nortear este trabalho: a avaliação dos custos e impactos ao meio ambiente que todo o ciclo do produto estaria envolvido e a avaliação específica e concentrada do consumo total de energia de produção do bem. Em outras palavras, seria a avaliação entre o Ciclo de Vida do produto e a Intensidade de Energia gasta. Durante o desenvolvimento do trabalho ficará evidente que a escolha adequada é pelo Índice de Intensidade de Energia, pois o foco do trabalho é a premiação das empresas pela efetiva redução do consumo de energia de produção.

Desta forma é utilizado um índice que estabelece o consumo total das energias gastas na produção e a quantidade final produzida. Este índice recebe diversas denominações, sendo as mais usadas; Intensidade de Energia, ou Intensidade Energética e Densidade de Energia. Também se utiliza a nomenclatura de Consumo Específico e algumas literaturas adotam esta forma. Normalmente são números apresentados em unidades de energia por unidade de peso dos produtos. Melhorias contínuas dos processos industriais visando reduzir os consumos de energia produzem respectiva redução nos valores destes índices e isto é o objetivo de todas as empresas maduras e conscientes. Estes índices são usados para comparação do desempenho

entre empresas em produtos equivalentes e até mesmo para avaliação de desempenho de setores industriais similares entre diversas nações. Com isso é fácil concluir que estes índices refletem o grau de seriedade e consciência que as empresas dedicam a sustentabilidade e a conservação de energia, além de objetivar seu próprio lucro e credibilidade junto ao mercado consumidor.

Com este enfoque, serão estudados os diversos energéticos em uso no parque siderúrgico brasileiro, seus consumos, os volumes de produção e as tecnologias e processos produtivos envolvidos. Também será feito estudo sobre trabalhos desenvolvidos para outros parques siderúrgicos mundiais de forma a estabelecer-se parâmetros comparativos objetivando nivelar os resultados nacionais diante do cenário mundial.

1.1 OBJETIVOS

O propósito primordial neste trabalho é promover e estimular a melhora no desempenho produtivo do parque siderúrgico nacional no que se refere ao consumo de energia. Quanto menor for o consumo de energia para produção da mesma quantidade de aço, menores são as perdas energéticas no processo. Estas perdas podem se dar de diversas formas, mas refletem no lucro da empresa, além de pesarem negativamente na imagem de qualquer empresa que no resultado final apresente um índice de intensidade energética superior a de seus concorrentes no mercado. Desta forma, a redução dos índices de intensidade energética retratam a seriedade que as empresas dedicam à conservação de energia, à sustentabilidade e à sua imagem no mercado, adicionalmente ao objetivo final de qualquer empresa que é o lucro.

Neste trabalho, os objetivos principais estarão resumidos nos seguintes tópicos:

- Avaliar as condições de consumo energético dentro de cada rota tecnológica, conforme padrão normalmente adotado na siderurgia nacional.
- Estudar formas de premiar-se as reduções de consumo energético, que deverão ser retratadas no trabalho como melhoria nos índices de intensidade energética para o setor siderúrgico brasileiro.
- Estudar os percentuais de desconto a serem aplicados como prêmio nas tarifas dos energéticos comprados das distribuidoras.
- Avaliar as condições que melhor se apliquem à sustentação e incentivo das estratégias de implementação da medida.

Evidentemente as melhorias dos índices de densidade de energia são refletidas nas diminuições numéricas de seus valores, uma vez que este índice é o quociente da divisão do total de energia gasto pelo total produzido no período considerado. A partir dos resultados de melhoria dos índices, cada siderúrgica terá direito de requerer sua premiação, que será aplicada como desconto nas tarifas dos meios energéticos.

Certamente os valores de índice de densidade de energia deverão ser baseados em resultados comparativos a meses anteriores de cada rota tecnológica em todo o setor nacional. A periodicidade de avaliação dos resultados e o período de validade do prêmio também serão alvo de análises no transcorrer deste trabalho.

2 A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

A importância em se incluir um capítulo descrevendo genericamente e resumidamente o processo siderúrgico é a de deixar transparente o consumo de energia face as altas temperaturas alcançadas nas diversas etapas envolvidas no processamento do aço. Mesmo que o processo siderúrgico seja bem conhecido por todos, para os objetivos deste trabalho é importante descrever-se como e onde no processo estão sendo gastos os maiores níveis de energia na produção do aço. Será descrito em resumo o processo siderúrgico completo com todas as etapas envolvidas na chamada rota 1, caracterizada pelas siderúrgicas integradas, usando como base o trabalho desenvolvido por CARVALHO, P. S. Landim DE et al, Sustentabilidade da Siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade (2015), os artigos publicados pelo Ministério de Minas e Energia, pelo Instituto Aço Brasil e no livro Introdução a Siderurgia – Mourão, Marcelo Breda et al, (2007). O ferro é um minério encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina. O carbono é também muito abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal, mas aqui será focado o processo a carvão mineral.

O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas. Cerca de 1.500° Celsius na soleira e no gusa propriamente e até 2.100° Celsius, logo após as ventaneiras, junto a carga de coque, Mourão, Marcelo Breda et al, (2007), sendo temperaturas necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro do equipamento chamado alto forno. Evidentemente o minério de ferro e o carvão sofrem beneficiamentos antes de serem adicionados no alto forno de forma a melhorar seu rendimento.

O minério de ferro depois de limpo, moído e selecionado em tamanhos adequados para ser sinterizado juntamente com fundentes e o coque do carvão mineral, formando assim em um único elemento os três principais componentes para o processamento do aço. Os finos destes minérios serão processados em pelotas (pellets), juntamente com os fundentes e o coque devidamente pulverizados e transformados em pelotas.

O carvão mineral precisa sofrer um tratamento a alta temperatura, aproximadamente 1000°C, em atmosfera isenta de oxigênio, Mourão, Marcelo Breda et al, (2007) para remoção de todos os produtos voláteis de forma a ser transformado em coque, produto fundamental

para a redução do minério de ferro. Os voláteis removidos em forma de gases altamente combustíveis, são tratados e aproveitados em diversos processos de aquecimento na usina e principalmente para cogeração de energia elétrica. É o chamado COG (*Coke Oven Gas*) ou gás de coqueria. O coque é o produto principal obtido nas coquerias e contém de 90% a 95% de carbono obtido em forma de rocha após a coqueificação do carvão mineral.

O calcário, outro minério importantíssimo para a produção do aço, é tratado termicamente nas calcinações para eliminação de impurezas de forma a se obter a cal virgem que também é elemento fundamental na produção do gusa e do aço formando a escória que retém os óxidos liberados durante a fusão do minério no alto forno e também nos fornos da aciaria. Por ser o fundente mais importante na produção do gusa, a cal virgem é material que compõe a sínter e a pelota, juntamente com o minério de ferro e o coque.

Na sinterização, o coque e o minério de ferro estão granulados e formam um agregado a partir de uma pasta formada pela cal virgem moída e misturada com água. Posteriormente este agregado passa pelos fornos de sinterização em temperatura aproximada de 1.300°C. Em algumas siderúrgicas brasileiras o coque é substituído por carvão vegetal e a sínter, neste caso é com carvão vegetal ao invés de coque.

A sínter é o aditivo mais usado pelas siderúrgicas brasileiras, mas também é bastante difundido o uso das pelotas, que são agregados dos mesmos materiais, cal virgem, minério de ferro e coque, só que eles estão neste caso pulverizados. O processamento efetivo das pelotas siderúrgicas também é obtido em fornos com temperatura em torno de 1.250°C e 1.350°C.

Com estes materiais; o coque (em alguns casos o carvão vegetal), o minério de ferro, a sínter e/ou pelotas e cal virgem, após serem adicionados no alto forno, obtém-se o gusa.

O alto forno é onde os minérios são fundidos dando origem ao gusa. Os minérios e aditivos são aí processados em temperatura na ordem de 1.600°C a 2.000°C para obtenção do gusa. A partir de ar aquecido até 1.300°C, soprado pelas ventaneiras para dentro do alto forno, passando pela carga rica em coque (em alguns casos, carvão vegetal) é iniciada a combustão que é acelerada pela oxidação do carbono. Forma-se assim a carga líquida do metal e da escória formada pelas impurezas e pela cal virgem. A carga metálica mais densa fica no fundo do cadinho do alto forno e é descarregada em composições ferroviárias chamadas de carro torpedo, ou mesmo diretamente em lingoteiras. A escória é recolhida por último, transportada até os pátios de escória, resfriada e comercializada como matéria prima para diversos outros produtos, tais como, cimento, asfalto, etc.

O gusa, nos carros-torpedo ou em lingoteiras, é transferido para a aciaria onde o gusa, que comumente tem composição de 4,5% de carbono, será refinado a teores abaixo de 2% de

carbono e passar, após o refino, a ser aço. A maior parte das siderúrgicas brasileiras da chamada rota 1, que são as siderúrgicas integradas, se caracterizam pela produção do gusa a partir do minério de ferro e as aciarias mais difundidas no Brasil são as chamadas aciarias do processo LD e os fornos são os BOF. Nestes fornos, além do gusa, da sucata metálica adicionada junto a carga de gusa líquido, o oxigênio é o principal insumo que proporciona o refino do gusa em aço. O gusa é alimentado aos fornos BOF em temperaturas em torno de 1.500°C, com o sopro do oxigênio a temperatura do banho líquido pode chegar próximas a 2.000°C. Silva Mota, L, (2011) em sua Análise qualitativa da descarburização do MRPL da ArcelorMittal Inox Brasil através do teor de oxigênio do gás da exaustão avaliou o comportamento e o perfil do teor do oxigênio nos gases e exaustão de fornos BOF na produção dos aços inoxidáveis, que são aços com baixos teores de carbono e ricos em ligas tais como, cromo, níquel, etc. Estes aços dependem de grande remoção do carbono do aço e para estes casos utilizou como referência a temperatura máxima 1870 °C.

Lembrando que, tanto nos fornos da aciaria como nos alto fornos, são gerados gases a altíssima temperatura e muito ricos em CO, que são tratados e reaproveitados nos processos como combustível.

O tipo final do aço é então obtido assim, em teores de carbono sempre inferiores a 2%, dependendo da receita a ser seguida. Adições de ligas também são usuais nestes fornos BOF para produção dos chamados aços baixa liga.

O aço líquido, em temperatura sempre superior a 1.500°C é transferido para o lingotamento, que pode ser em máquinas de lingotamento contínuo e que dá origem as placas ou em lingotes para então iniciar o processo de laminação nos laminadores de placas, que na verdade é um processo antigo em desuso, sendo mais utilizado o lingotamento contínuo. As etapas seguintes são sempre as de conformação final do produto se dividindo nas diversas etapas de laminação, dependendo da forma final do produto.

2.1 O SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO

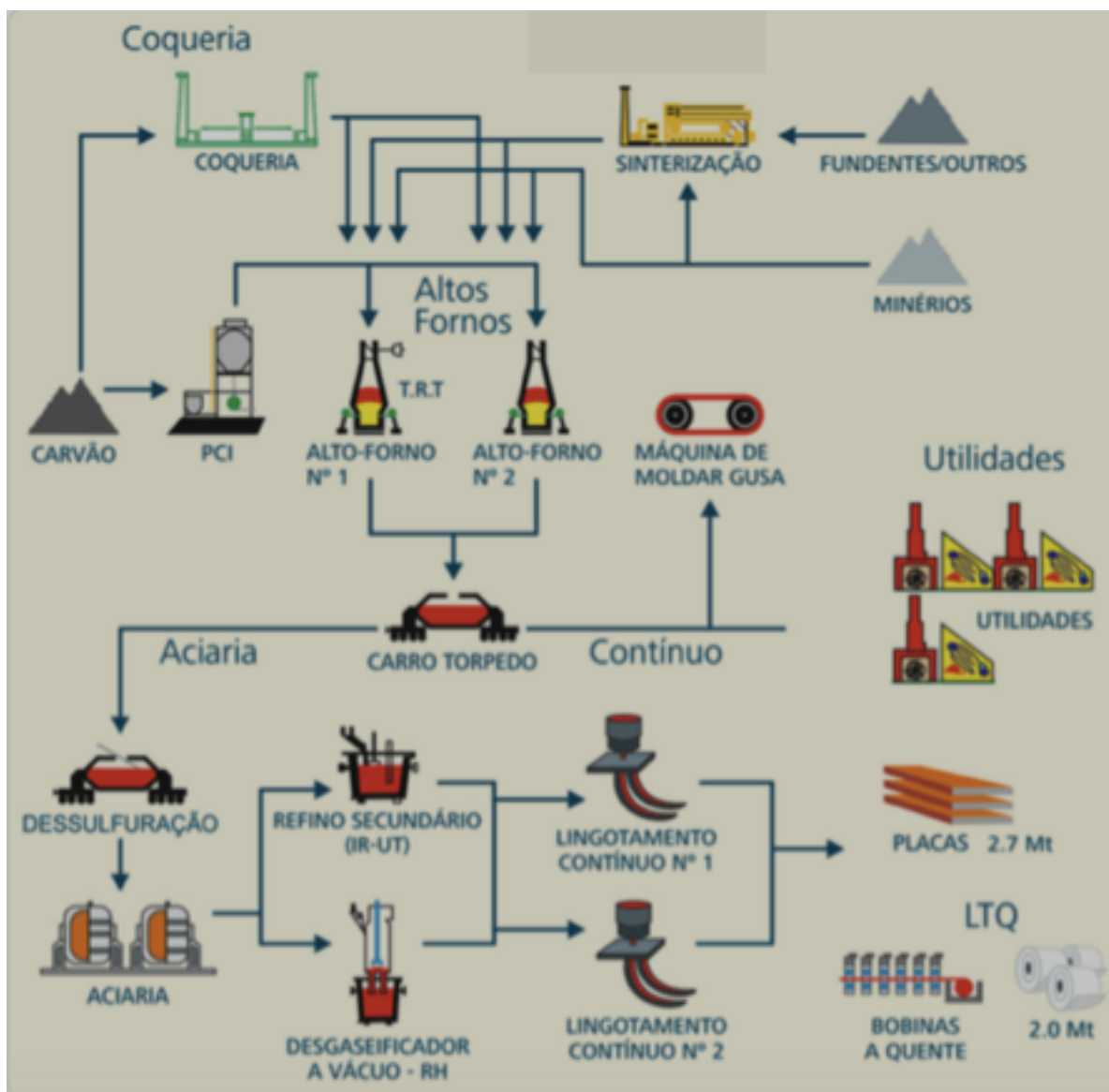
O setor siderúrgico no Brasil se particulariza pelas grandes usinas siderúrgicas integradas da rota 1, como indicado na figura 6, oriundas do período de início da industrialização do país no século passado, comandadas e controladas pelo domínio estatal. Atualmente, todas foram privatizadas e compõe o perfil do setor no Brasil, compartilhando com algumas fortes multinacionais do ramo (dados conforme Anuário do IABr).

As usinas integradas se caracterizam por executarem as três etapas principais de produção de aço: a redução, onde o minério é transformado em ferro metálico (gusa), nos altos-fornos; o refino, que é a etapa onde o gusa é transformado em aço, com a redução de impurezas e do teor de carbono e primordialmente no Brasil é utilizado o processo BOF (Basic Oxygen Furnace), via conversores LD; a conformação mecânica, onde o aço é finalizado em lingotes e laminados nas formas finais, chapas, barras, tubos, vergalhões, etc. As usinas integradas rota 1, como indicado na figura 1, também se caracterizam por incluírem em suas plantas, setores de manuseio e beneficiamento de minério, pelas coquerias, a sinterização, pelletização (poucos casos, pois grande parte das pelotas é produzida pelas mineradoras), alto-forno, aciaria até o lingotamento e as laminações. Esta é uma denominação mundialmente adotada e assumida no Brasil pelo MME e pelo IABr. No parque siderúrgico brasileiro, as usinas integradas são as maiores, com capacidades de produção próximas a 50.10^6 ton/ano. A figura 1 resume as etapas de uma usina integrada, incluindo .

As usinas semi-integradas são caracterizadas por iniciarem a produção a partir da fase de refino, ou seja, não utilizam altos-fornos. A principal matéria-prima é a sucata e as aciarias são predominantemente com o processo EAF (Electric Arc Furnace), em fornos elétricos. Obviamente nas usinas semi-integradas não se incluem as coquerias, sinterizações, pelletizações e evidentemente os altos-fornos, com suas áreas agregadas.

O Brasil integra a lista dos 10 maiores produtores de aço de mundo já há algumas décadas. Sua produção se situa acima das 30.10^6 ton/ano desde 2003, com pequenas variações através dos anos. O maior produtor de aço no mundo é a China e completam a lista dos 10 maiores produtores mundiais; Japão, Estados Unidos, Índia, Rússia, Coreia do Sul, Alemanha, Turquia e Ucrânia, não necessariamente nesta ordem.

Figura 1 – Esquema simplificado de uma siderúrgica rota 1 (Usina de Tubarão, ArcelorMittal)



Fonte: Siderurgia. – Silva, J. (2007).

2.2 PERFIL ENERGÉTICO DO SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO

As usinas siderúrgicas são grandes consumidoras de energia em suas diversas formas, seja ela energia elétrica ou por consumo de combustíveis para geração de calor no processo. Na verdade, no mundo todo, o setor siderúrgico é o maior consumidor de energia em todas as suas formas (ARENS, WORREL & SCLEISCH, 2012). As usinas que se baseiam no

processo EAF com fornos elétricos tem seu consumo energético concentrado no consumo de eletricidade, sendo isto muito variável de siderúrgica para siderúrgica e difícil de estabelecer percentual do consumo elétrico comparativamente aos demais energéticos. Nas usinas integradas, com processo a BOF e conversores LD, o consumo de eletricidade perde significância em presença dos demais energéticos, ficando em média em torno de 1% do total consumido, descontada a geração própria. Evidentemente as usinas integradas têm o perfil consumidor muito maior que as usinas semi-integradas, que utilizam fornos de aciaria a EAF.

As atividades e setores periféricos manuseiam cargas elevadas no transporte, seja de minérios ou do gusa e aço já processados. O processo BOF demanda quantidades elevadas de produção de oxigênio de alta pureza e a produção do oxigênio, por sua vez consome muita energia elétrica. Por estas razões, o consumo aproximado de energia elétrica no setor siderúrgico em 2016 foi cerca de 15.800 GWh para produzir 31.000.000 toneladas de aço, conforme Anuário do IABr, 2016 2016 e BEN do MME.

Evidentemente, para produzir as 31.000.000 toneladas de aço o consumo total de energia foi muito maior. Existem várias outras fontes de energia utilizadas, como o carvão vegetal, carvão mineral, o coque, o gás natural, o óleo diesel, óleo combustível, e diversos outros combustíveis. As fontes de energia variam muito em função do perfil da usina, pois em uma usina integrada o carvão mineral é uma fonte de energia fundamental para a produção do gusa, apenas para citar uma variável característica do processo. Entretanto, o carvão mineral precisa ser coqueificado antes. Ou seja, o carvão mineral será transformado em coque nos fornos de coqueria para eliminação dos voláteis indesejáveis na fundição do minério de ferro. Neste processo são gerados gases altamente inflamáveis que são recolhidos, limpos e armazenados para uso como combustível em diversas etapas dentro de uma usina integrada.

O mesmo ocorre durante o processo nos altos-fornos: os gases oriundos da fundição do minério são ricos em CO e portanto, muito inflamáveis. Também são reprocessados e utilizados como combustível nas próprias siderúrgicas. Da mesma forma, os gases gerados no refino do aço nas aciarias com conversores LD são muito ricos em CO e também são utilizados como combustível em diversos setores nas usinas.

De uma forma geral, em usinas siderúrgicas, sejam elas integradas ou não, o potencial de cogeração é muito grande face aos subprodutos oriundos das operações de transformação do aço e as altas temperaturas de processo.

2.3 O ÍNDICE DE INTENSIDADE ENERGÉTICA NO SETOR SIDERÚRGICO.

Evidentemente no setor siderúrgico são manuseadas diversas fontes energéticas e em grandes quantidades. Segundo ARENS, WORREL, e SCHLEISCH, (2012), o setor siderúrgico é o maior consumidor de energia no mundo industrial, além de ser o maior emissor de CO₂.

Da mesma forma isto ocorre no Brasil, pois o Brasil é de longa data um dos maiores produtores de aço no mercado mundial marcando forte presença entre os dez maiores, apesar de ser um setor altamente competitivo. O alto consumo de energia não é exclusividade da siderurgia, mas uma vez sendo o maior consumidor, a utilização de qualquer índice que retrate o total de energia consumida para produção é muito útil e muito bem-vindo.

A determinação e cálculo do índice de intensidade energética não exigem refinamentos técnicos, mas uma vez que é usado como forma de comparação de resultados, algumas regras precisam ser aplicadas. A metodologia de cálculo, fatores de conversão e escopo das considerações de análise precisam estar dentro de conceitos e rotinas usadas mundialmente ou estabelecidas por organismos oficiais e reconhecidos mundialmente. Uma vez que estes índices são usados com a finalidade de comparar usos e consumos de energia para produção de bens, especificamente neste caso, no setor siderúrgico, é preciso estabelecer o campo de aplicação e de entendimento do que precisa estar incluído no setor em cada nação para que os valores sejam correspondentes.

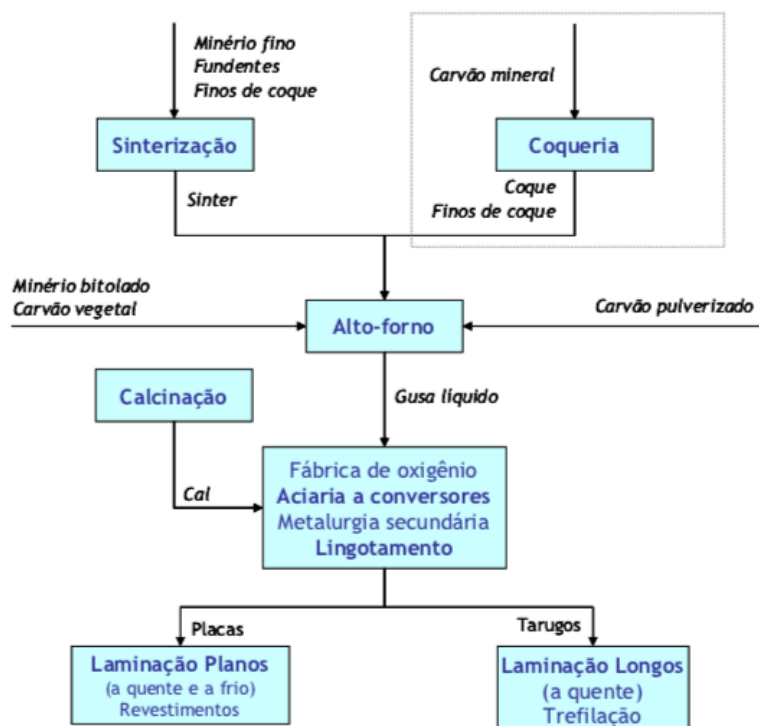
Evidentemente, os valores do índice de intensidade energética são muito dependentes da rota siderúrgica considerada, ou tipo de usina, se do tipo integrada ou do tipo semi-integrada. A EPE, em seu trabalho “Caracterização do uso da energia no setor siderúrgico brasileiro (Nota Técnica DEA 02/09)” caracteriza três rotas tecnológicas:

- a rota 1 onde são incluídas todas as usinas integradas com coque de produção própria.
- rota 2 é composta pelas usinas integradas com coque terceirizado (não inclui coqueria em sua planta).
- rota 3 se caracteriza pelas usinas semi-integradas, que produzem o aço a partir de sucata e gusa adquirido externamente.

É importante mencionar que esta caracterização por rotas siderúrgicas é usada mundialmente e não somente no Brasil. A figura 2 esquematiza as rotas tecnológicas 1 e 2 e a figura 3 sintetiza a rota tecnológica 3.

Detalhe que não se pode passar despercebido é que na figura 2, canto superior direito está representada a coqueria, onde o carvão mineral é processado dando origem ao coque siderúrgico, o que caracteriza a rota tecnológica 1.

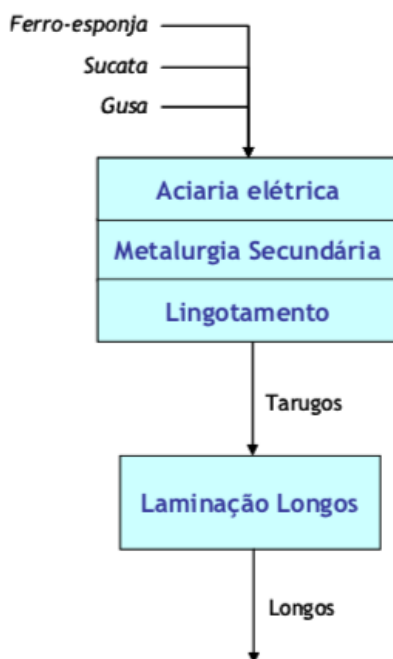
Figura 2 – Esquema simplificado para as rotas siderúrgicas 1 e 2



Fonte: EPE Nota Técnica DEA 02/09 (2011).

Como no caso das usinas integradas da rota 2, que não incorporam a coqueria ao seu parque siderúrgico, está em destaque uma linha divisória em seu perímetro destacando como o elemento externo, sendo assim o coque adquirido de terceiros.

Figura 3 – Esquema simplificado da rota tecnológica 3 de usinas semi-integradas



Fonte: EPE Nota Técnica DEA 02/09 (2011).

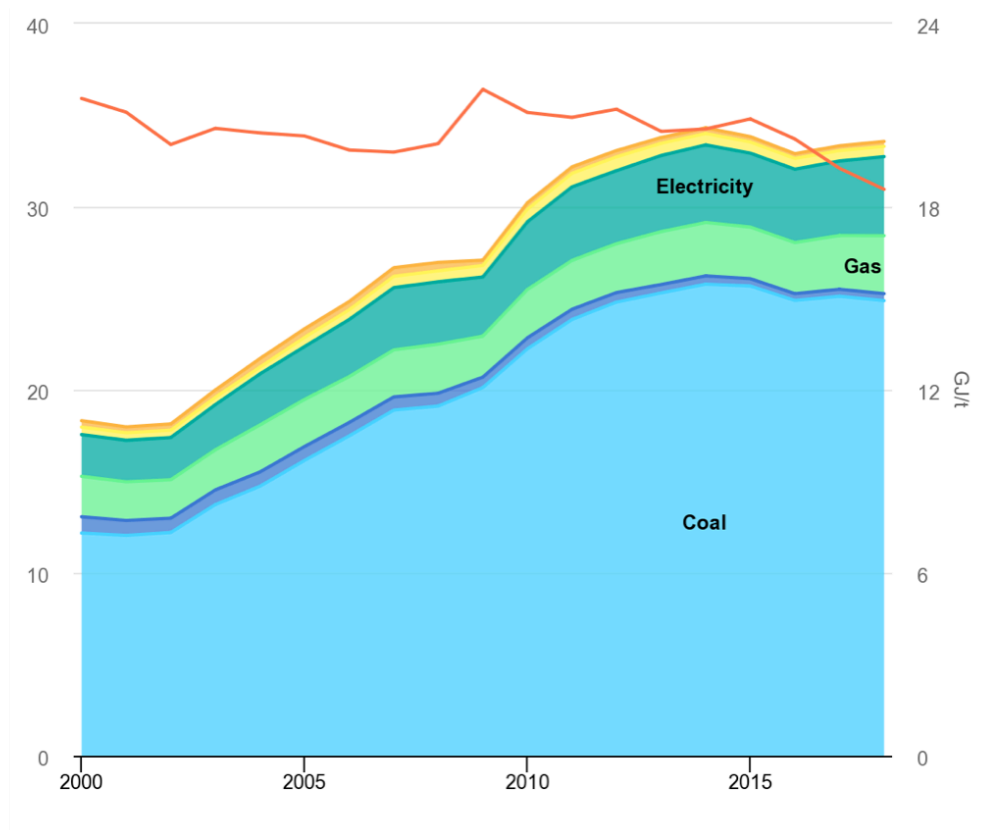
Na figura 3 representa-se o fluxograma esquemático das usinas semi-integradas que representam a rota tecnológica 3, que é uma das 3 divisões das rotas tecnológicas para produção do aço em suas formas finais no parque siderúrgico brasileiro.

O estudo desenvolvido por Hasanbeigi et al (2011), sob o título *A Comparison of Iron and steel production energy use and energy intensity in China and U. S.*, aborda sobre uma diferença de enfoque entre os setores americano e chinês. No setor americano, conforme instituições e orientações internacionais, não estão incluídos os fabricantes de ferros-liga, que se enquadram em categoria diferente e na China eles estão incorporados aos dados de fabricação de aço em geral.

No trabalho de Hasanbeigi et al (2011) então foram retirados os dados relativos aos fabricantes de aços-liga do mercado chinês de forma que fossem comparados setores sobre as mesmas condições produtivas. Nos dados brasileiros pesquisados pela EPE e que servirão como base deste trabalho estão incluídos apenas os aços e aços-liga, não os fabricantes de ferros-liga e portanto são valores correspondentes aos do trabalho desenvolvido por Berkeley National Laboratory.

A utilização desta forma de comparação na racionalização do consumo de energia para fabricação de determinado bem vem em uso há bastante tempo, inclusive no setor siderúrgico. A IEA (International Energy Agency) publica dados sobre consumo energético e na figura 4 está reproduzido o gráfico da evolução mundial do consumo de energia no setor exclusivamente siderúrgico pelos anos de 2000 a 2018, bem como o resultado (em linha vermelha) do consumo específico mundial do setor. É importante identificar que enquanto o consumo específico é dado em GJ/t, os valores de consumo individual para cada energético é representado em EJ, ou seja, em exajoules. Em outras palavras, a ordenada da direita do gráfico estão representados os números para valores da intensidade de energia em GJ/t e a ordenada esquerda representa os números do consumo de energia em EJ.

Figura 4 - Evolução do consumo de energia e da densidade de energia na siderurgia mundial.



Fonte: IEA - International Energy Association (2018)

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente trabalho, em resumo, é baseada na coleta dos dados levantados pelas próprias siderúrgicas, coletados e publicados pelos organismos e entidades representativas das empresas siderúrgicas. Isto é válido, tanto para os dados de produção como para os dados de consumo dos energéticos. No Brasil, o Instituto Aço Brasil e a Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, são as fontes principais. O estudo apresentado pelo BNDES no setor siderúrgico brasileiro, dando ênfase a eficiência energética e ao meio ambiente, usando como base a intensidade energética e as emissões de dióxido de carbono é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Sustentabilidade no setor siderúrgico brasileiro.

Sustentabilidade ambiental	2009	2010	2011	2012
Emissão de gases do efeito estufa (t CO₂ equivalente/t de aço bruto)				
WSA	1,8	1,8	1,7	1,7
IABr	1,59	1,7	17	1,7
Intensidade energética (GJ/t de aço bruto)				
WSA	20,1	20,7	19,9	19,6
IABr	18,2	18,7	19,4	n/d
Eficiência de materiais (% de material convertido em produtos, coprodutos e subprodutos)				
WSA	97,9	97,7	94,4	96,4
IABr	98,5	98,1	98,1	n/d

Fonte: Adaptado de P. S. Landin de Carvalho (2015).

Os dados usados como referência na tabela 1, divulgados pelo BNDES em seu boletim setorial 41 de março de 2015 são baseados em duas fontes distintas: WSA - World Steel Association – que apresenta os índices de intensidade energética calculados com base nos desempenhos médios de suas associadas e os correspondentes valores do índice divulgados pelo IABr, que se trata do Instituto Aço Brasil. É importante observar que estes dados reproduzem os valores obtidos na média de cada setor siderúrgico nos anos em referência. O Instituto Aço Brasil deixou de divulgar os dados de densidade energética a partir de 2012. A World Steel Association continua a divulgar os dados equivalentes anualmente e sempre que possível estão mencionados no trabalho.

Outro ponto importante para destaque é quanto ao enquadramento do tipo de rotas siderúrgicas a serem incluídas no estudo. Partindo das comparações com dados mundiais, e o nosso parâmetro neste requisito será o trabalho do laboratório Ernest Orlando Lawrence Berkeley já referenciado aqui, e que utiliza o conceito da comunidade siderúrgica

internacional, que considera somente as siderúrgicas que produzam aço desde o refino até a conformação mecânica e as siderúrgicas que processem o aço a partir de aço adquirido externamente (inclui também produção a partir de gusa de fabricação externa). A este conceito se aplicam as siderúrgicas das rotas 1 e 2, conforme divisão adotada no Brasil, ou seja, incluindo-se as siderúrgicas integradas e as semi-integradas.

Observação importante é que nos casos de China e Estados Unidos, que são grandes importadores de insumos básicos como; gusa, ferro esponja, coque e outros, nos cálculos eles consideram a energia necessária para produzir estes insumos. Por outro lado, quando estes insumos são exportados, a energia usada para produzi-los deverá ser excluída do cálculo. Como exemplo, em 2015 o Brasil exportou cerca de 2.752.000 toneladas de gusa (IABr Anuário 2020). A energia usada para produzir este montante deve ser excluída dos cálculos. Foram importadas 2.295.000 toneladas de coque e da mesma forma, a energia necessária para produzir este total de coque terá de ser incluída no balanço.

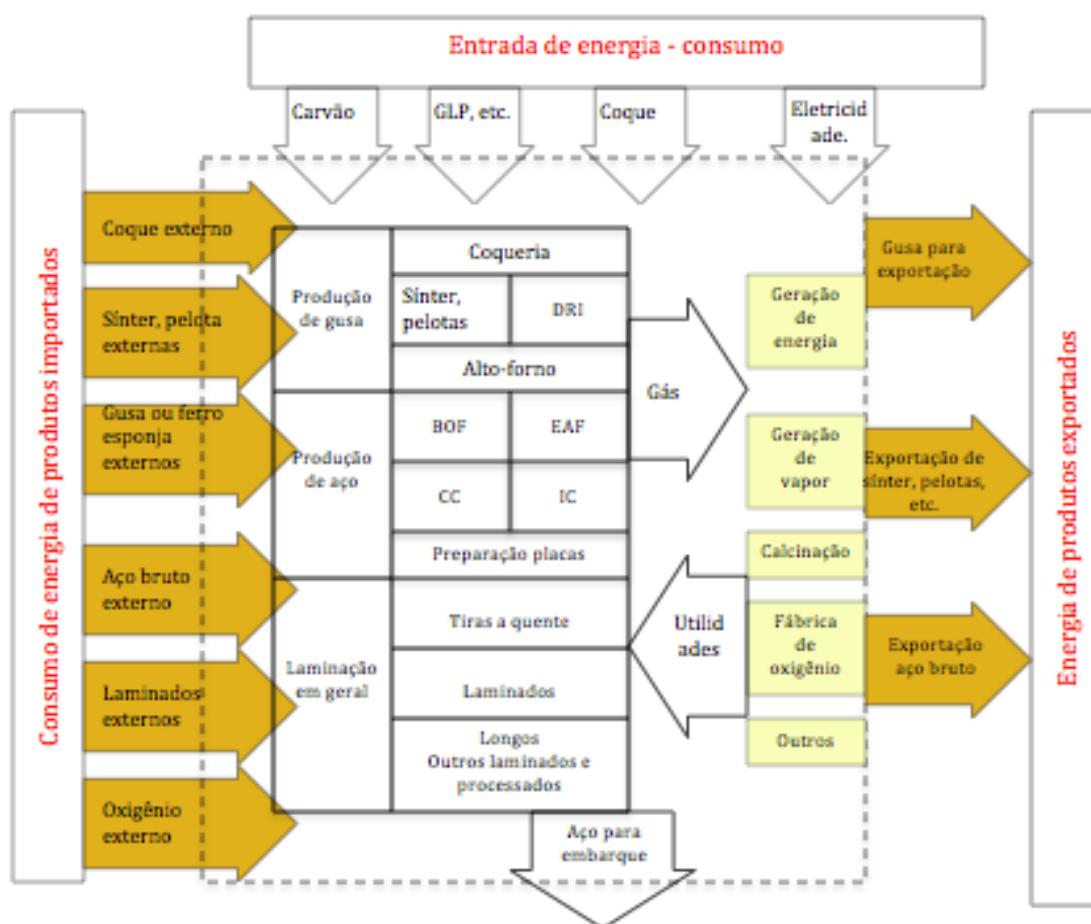
A figura 5 representa esquematicamente as contribuições das parcelas de energia e as parcelas a serem excluídas do cálculo da intensidade de energia do setor siderúrgico, conforme conceito aplicado no estudo comparativo do laboratório Lawrence Berkeley, observando que somente são utilizadas as fontes primárias de energia. É importante observar que no caso brasileiro, grande parte das usinas produzem o próprio oxigênio para consumo na aciaria, mas existe uma parcela de oxigênio adquirido externamente ao parque siderúrgico e por isso é indicado como importado, mesmo que seja no mercado nacional, mas significando que é externo ao parque siderúrgico, o mesmo ocorrendo com a cal virgem e a energia necessária para calcinar o calcário. Não serão considerados os valores energéticos para produção do aço utilizado na forma de sucata, assim como também no estudo do laboratório Lawrence Berkeley estes valores não são considerados no cálculo.

Um outro ponto merecedor de destaque pelo laboratório Lawrence Berkeley é o dos fatores de conversão de energia relacionados aos combustíveis do meio siderúrgico. Sempre serão adotados os valores relativos aos poderes caloríficos inferiores. Evidentemente, alguns combustíveis variam seus valores de país para país, dependendo da composição e teor dos componentes. O gás natural brasileiro tem valor do poder calorífico inferior diferente em relação ao dos Estados Unidos e da China.

Para estabelecer-se padrão comparativo, na tabela 2 são apresentados os valores usados no Brasil em relação aos valores adotados no estudo do laboratório Lawrence Berkeley. O estudo utiliza os dados da tabela conforme a coluna IEA 2005 para manter-se o mesmo critério que servirá de base para comparação dos índices.

De qualquer forma é necessário utilizar os valores disponíveis nos sítios das entidades brasileiras envolvidas, como o IABr (Instituto Aço Brasil), BNDES, EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e outras que sempre serão mencionadas no texto para que em casos onde sejam fornecidos valores em unidades de energia, se faça a devida conversão para obter-se quantidades dos insumos. Neste sentido foi construída a tabela 2, a partir de dados compilados das publicações do IABr para o ano de 2015 com os dados de produção das diversas etapa e consumos de energéticos.

Figura 5 - Fluxograma dos limites de bateria para o setor siderúrgico.



Fonte: Adaptado de Berkeley International USA x China (2011).

Os valores apresentados na Tabela 2 serão referências no presente trabalho. Estes dados tem importância fundamental nos cálculos de consumo e consequentemente nos cálculos dos índices de intensidade energética. Os valores energéticos considerados nos cálculos realizados por Arens, M. et al (2012), no trabalho **Energy intensity in germany iron and steel industry**, expressam valores significativamente diferentes destes da Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de conversão de energia dos combustíveis

Combustível	IEA 2005	China	EUA	Brasil
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg
Carvão metalúrgico	28,2	26,34	30,56	30,9838
Coque	27,45	28,44	28,85	28,8903
Gás natural (MJ/m ³)	35,04	38,93	38,33	30,7669134
Óleo combustível (destilado)	40,19	41,82	40,94	40,15333
Diesel	45,66	42,65		42,2887
GLP	46,15	50,18	45,81	46,4757

Fonte: Autor, adaptado de Lawrence Berkeley Laboratory e EPE (2011).

A tabela 2 representa alguns dos principais combustíveis utilizados nos parques siderúrgicos no estudo em desenvolvimento. Os valores estão em , MJ/kg, menos o gás natural que está expresso em MJ/m³. É importante ressaltar que os valores indicados na coluna IEA 2005 correspondem aos valores padronizados pelo International Energy Agency para o ano de 2005. Esta tabela foi construída a partir das fontes mencionadas incluindo os valores padrões no setor siderúrgico brasileiro fornecidos pela EPE.

Para o caso de produtos importados deve ser usado um número médio entre os valores dos Estados Unidos, China e Brasil, uma vez que estes produtos são oriundos de diversos países. Baseado nisto foi criada mais uma tabela que já apresenta os valores específicos de energia por peso dos produtos importados e que foram adotados no estudo da Lawrence Berkeley e que também deverão ser usados no caso brasileiro. Para isto foi montada a Tabela 3, com base nos dados do mencionado trabalho.

Tabela 3 - Fatores de conversão para energéticos e produtos importados

	Coque	Ferro	DRI	DRI	Pelotas	Aço bruto	Calcáreo	Oxigênio
	gusa	carvão	gás					
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/m ³
Fatores Worldsteel (energia prim.)	4	20,9	17,9	14,1	2,1	18,9	4,5	6,9
Fatores Worldsteel (energia final)	3,7	19,8	17	13,4	2,1	16,5	4,1	2,5
Percent. Eletricidade energ. Prim.	11,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	20,00%	15,00%	100,00%

Fonte: Adaptado de Lawrence Berkeley Laboratory (2011).

Outro fator de importância dentre os critérios adotados no trabalho do laboratório Lawrence Berkeley é a geração de energia elétrica a partir dos gases residuais do processo siderúrgico e subtrair esta parcela do consumo total.

Na mesma linha, é preciso ressaltar que são levados em conta no cálculo de consumo de energias somente os consumos primários, ou seja, somente os relativos aos combustíveis primários. Evidentemente estes fatores também deverão ser contabilizados no caso do parque

siderúrgico brasileiro, pois existe importação de coque, além da produção de energia elétrica com os gases de processo. Tanto o parque siderúrgico americano como o chinês importam diversos produtos e matérias-primas, incluindo gusa e ferro fundido e portanto, a Tabela 3 tem muita importância no trabalho desenvolvido pelo laboratório Lawrence Berkeley. Produtos e matérias-primas negociados dentro de um mesmo parque siderúrgico, evidentemente não precisam ser calculados, uma vez que a fabricação destas matérias-primas já está incluída no levantamento.

Neste trabalho é fundamental que primeiramente seja feita a avaliação dos dados das siderúrgicas brasileiras comparativamente as siderúrgicas americanas e as chinesas e posteriormente calcular-se os dados de cada rota. No primeiro caso avalia-se a consistência dos valores do parque nacional, para posteriormente ter-se parâmetros específicos para cada tipo de siderurgia de forma a caracterizar-se assim faixas de premiação para enquadramento diferenciado conforme a rota em que as siderúrgicas se enquadram.

Resumidamente os cálculos se baseiam na conversão da carga consumida de qualquer energético, multiplicado pelo seu poder calorífico (sempre utilizado o poder calorífico inferior), e as fórmulas básicas estão apresentadas a seguir:

Determinação da energia por energético, conforme Equação (1).

$$E = q * pci \quad (1)$$

Onde:

E = energia total consumida por energético, normalmente expressa em GJ.

q = quantidade utilizada do energético, normalmente em toneladas ou metros cúbicos.

pci = poder calorífico inferior do energético, normalmente em kJ/t ou kJ/m³.

Determinação da energia consumida na unidade produtiva, conforme Equação (2).

$$EU = \sum^n E_n \quad (2)$$

Onde:

EU = energia total consumida na unidade, normalmente expressa em GJ.

E_n = energia total por cada “n” energéticos consumidos na unidade considerada, GJ.

Determinação do índice de intensidade energética, conforme equação (3).

$$IIE = EU/P \quad (3)$$

Onde:

IIE = índice de intensidade de energia, normalmente expressa em GJ/t.

EU = energia total consumida na unidade, normalmente expressa em GJ.

P = produção total, normalmente expressa em toneladas (t).

É importante ressaltar que no transcorrer do trabalho o índice de intensidade de energia pode se referenciar ao total de energia consumida na unidade pela produção total de aço bruto produzido com os subprodutos aí gerados, ou se referenciar a produção total de uma dada unidade. Como exemplo, se a coqueria de determinada usina integrada consumiu cerca 16.956.000 GJ de energia em um ano para produzir cerca 1.515.000 t de coque, sendo que a produção correspondente de aço bruto pela mesma siderúrgica foi de 4.000.000 t. Tem-se daí que o índice de intensidade energética da coqueria para produção das 1.515.000 t de coque foi de aproximadamente 11,2 GJ/t de coque. O mesmo índice de intensidade energética, mas em relação a produção da siderúrgica foi de 4,24 GJ/t.

4 PROCESSAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados do setor siderúrgico brasileiro se baseia nas publicações oficiais do IABr obtidos junto a todas as siderúrgicas associadas que formam o parque siderúrgico brasileiro. É necessário estabelecer-se dois critérios de avaliação: primeiramente calcular-se o número da intensidade energética do parque siderúrgico nacional de forma completa, sem diferenciar os tipos ou rotas siderúrgicas, para assim ser estabelecido o nível do setor brasileiro perante aos dados mundiais e depois avaliar-se individualmente os dados de siderúrgicas conforme a rota siderúrgica. No primeiro caso, como se trata de estudo comparativo entre os dados nacionais e os dados de fabricantes mundiais, teremos o valor de intensidade energética do parque siderúrgico nacional que orientará os passos seguintes permitindo situar o parque brasileiro comparativamente ao setor mundial. Posteriormente serão avaliadas as rotas siderúrgicas do parque nacional. Este cálculo será feito para avaliação e classificação a premiação das tarifas por rota, pois como poderá ser confirmado mais a frente, os valores de intensidade energética variam conforme enquadramento às rotas siderúrgicas consideradas.

O estudo comparativo dos valores de intensidade energética entre os parques siderúrgicos dos Estados Unidos e da China, no trabalho de Hasanbeigi et al (2011), é a principal e mais detalhada fonte de estudos para estes índices disponível para consulta. Foi utilizado em diversos tópicos aqui como referência e fonte de dados para os estudos específicos ao parque siderúrgico nacional.

4.1 CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NACIONAL.

O ano base de cálculo no trabalho de Hasanbeigi et al (2011) foi 2006. Como se trata de data antiga para consolidação do trabalho, foi necessário recálculo dos índices para anos mais recentes, utilizando-se as mesmas premissas e procedimentos do trabalho base, com base nos dados de produção e consumo do ano mais recente a ser considerado. Aqui neste trabalho adotou-se as mesmas bases do trabalho de Hasanbeigi et al (2011), com o ano base de referência de 2006 e posteriormente recalculou-se com os dados para o ano base de 2015, tanto para o parque nacional como para o parque chinês. Portanto, como partida e início dos estudos, o ano base para os cálculos relativos ao parque siderúrgico brasileiro também é o de 2006, para efeito comparativo com os dois parques siderúrgicos. Entretanto, o IABr em seus anuários disponíveis para consulta contabilizam os dados a partir do ano de 2010. Desta

forma utilizaremos os dados calculados pela EPE em seu trabalho Nota Técnica DEA 02/09 (2009), Caracterização do Uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro, onde são utilizados os dados relativos ao ano de 2006. Desta forma, os cálculos apresentam diretamente os resultados não demonstrando, por exemplo, a inclusão de eventual aquisição de coque produzido fora do parque siderúrgico brasileiro. Estão descontados os valores de energia elétrica produzida a partir dos subprodutos energéticos, principalmente da rota 1.

Pode-se relacionar os dados globais do setor siderúrgico nacional para o ano em questão a partir dos dados do Balanço Energético Nacional e da Nota Técnica DEA 02/09, ambos divulgados pelo Ministério de Minas e Energia via EPE e o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, também do Ministério de Minas e Energia. Os dados disponíveis pelo IABr são a partir do ano de 2010 então para o ano de 2006 utiliza-se os dados com base na EPE. Desta forma, confirma-se que foram produzidas 30.901.000 t de aço bruto no Brasil em 2006 (Tabela 4).

Tabela 4 – Produção siderúrgica brasileira

PRODUÇÃO BRASILEIRA TOTAL DE AÇO BRUTO POR COMPANHIA - unidade 10 ³ t					
EMPRESAS	2002	2003	2004	2005	2006
Usiminas/Cosipa	8.447	8.621	8.951	8.661	8.770
Gerdau	5.999	6.976	7.284	6.889	6.994
CST - Arcelor Brasil	4.904	4.812	4.958	4.850	5.136
Belgo-Arcelor Brasil	2.827	2.889	3.250	3.272	3.569
CSN	5.107	5.318	5.518	5.201	3.499
Acesita	709	749	835	753	810
Aços Villares	595	661	816	680	704
V & M do Brasil	500	551	611	592	659
Barra Mansa	387	421	564	579	638
Villares Metais	105	113	122	133	122
MWL Brasil	24	36	0	0	0
Total 10³t	29.604	31.147	32.909	31.610	30.901

Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico – MME, publicação EPE (2009)

Da mesma forma chega-se ao consumo energético que aponta para um resultado de 688.594.020 GJ (vide Tabela 5) para o mesmo ano de 2006, já consideradas as compensações e os descontos de transformações de fontes primárias para as fontes de energia secundária. Só não estão descontadas as parcelas de cogeração de energia elétrica interna. Os dados de levantamento e contabilização das parcelas de cogeração interna das usinas siderúrgicas são publicados pelo EPE e MME. Nestes levantamentos estão incluídas as gerações, inclusive da parte das hidrelétricas, e portanto é preciso retirar-se esta parcela, que não estão contabilizados os insumos energéticos, sejam eles de subprodutos, como gás de coqueria, gás de alto-forno, e até mesmo insumos primários, como gás natural, óleo combustível, etc.

Tabela 5 – Consumo de energia Setor industrial de ferro-gusa e aço

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL ano base 2006	
SETOR INDUSTRIAL - FERRO-GUSA E AÇO	
COMBUSTÍVEL	10³ tep
GÁS NATURAL	1105
CARVÃO MINERAL	1813
ÓLEO DIESEL	40
ÓLEO COMBUSTÍVEL	107
GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	85
NAFTA	0
QUEROSENE	1
GÁS DE COQUERIA	980
GÁS CANALIZADO	
COQUE DE CARVÃO MINERAL	5763
ELETRICIDADE	1452
CARVÃO VEGETAL	4636
ALCATRÃO / OUTRAS SEC. PETRÓLEO	464
TOTAL 10³ tep	16446
TOTAL GJ	688.594.020

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional – MME (2006)

Estes energéticos já estão contabilizados como consumo nos levantamentos nas fontes primárias. Conforme dados apresentados pelo MME via EPE em seu trabalho na Nota Técnica DEA 02/09, em 2006 foram gerados no parque siderúrgico brasileiro 5.278 GWh incluindo hidrelétrica (vide Tabela 6).

Tabela 6 – Autoprodução de energia elétrica 2002-2003 e 2005-2006 GWh

Fonte de geração	2002	2003	2005	2006
Gás natural	288	448	432	559
Gás de alto-forno	3.095	3.128	3.800	3.278
Óleo combustível	46	40	1	28
Gás de coqueria	693	464	450	458
Alcatrão	79	66	60	34
Hidráulica ¹	821	666	656	921
Óleo diesel			2	
Carvão vegetal			45	
Total	5.022	4.812	5.446	5.278

1 A autoprodução hidráulica aqui considerada incorpora a participação de usinas siderúrgicas em consórcios de geração hidroelétrica.

Fonte: Adaptado de EPE/MME – Nota Técnica DEA 02/09 (2009)

A parcela das hidrelétricas correspondeu a 921 GWh e portanto o total a ser descontado do consumo energético é de 4.357 GWh, equivalente a 15.685.200 GJ. Portanto o consumo total de energia do parque siderúrgico nacional em 2006 foi de 672.908.820 GJ. Foram

produzidas 30.901.000 toneladas de aço, resultando assim o valor de intensidade energética de 21,78 GJ/t no ano de 2006.

O estudo desenvolvido pelo Lawrence Berkeley Laboratory estabeleceu diversos critérios alternativos de cálculo da intensidade de energia, mas mantendo os limites de bateria conforme já mencionado no tópico 3 e que são os mesmos adotados nos cálculos para chegarmos no valor também indicado pela EPE de 21,78 GJ/t de aço produzido no Brasil. Estes diversos critérios e cenários de cálculo de Lawrence Berkeley Laboratory, basicamente se caracterizam pela fonte responsável pelos valores de poder calorífico dos combustíveis, pela consideração na forma de cálculo do consumo de energia elétrica, se baseando no ponto final de consumo ou na geração da energia elétrica. Para este critério de consumo de energia elétrica foram montados diversos outros cenários em que os valores das intensidades de energia variam significativamente, como pode ser avaliado na Tabela 7.

Tabela 7 – Intensidade energética ano 2006 China e Estados Unidos – cenários.

(continua)

Nº	Cenário	País	Intens. Energética final		Intens. Energética primária*	
			GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t
Base	Fatores de conversão de combustível do país. Fatores de conversão elétrica do país.	EUA	14,9	508,70604	19,98	681,678608
	Fatores de conversão mundiais de produtos siderúrgicos.	China	23,11	788,7372	26,3	897,3046742
1	Fatores de conversão de combustível como IEA. Fatores de conversão elétrica do país.	EUA	14,83	506,14334	19,91	679,2903446
	Fatores de conversão mundiais de produtos siderúrgicos	China	22,56	769,96587	25,75	879,1396381
2	Fatores de conversão de combustível do país. Fatores de conversão elétrica siderurgia mundial.	EUA	14,9	508,70604	19,09	651,3135449
	Fatores de conversão mundiais de produtos siderúrgicos.	China	23,11	788,7372	25,77	879,2221085
3	Fatores de conversão de combustível como IEA. Fatores de conversão elétrica siderurgia mundial	EUA	14,83	506,14334	19,02	649,1467577
	Fatores de conversão de mundiais de produtos siderúrgicos.	China	22,65	773,03754	25,23	860,7983623
4a	Fatores de conversão de combustível nacional. Fatores de conversão energia elétrica nacional. Fatores siderúrgicos mundiais de conversão de produtos. Usada relação chinesa de 2006 para Fornos de Arco Elétrico	EUA	22,96	783,61775	26,08	889,7987035
	(Cenário base) Fatores nacionais de conversão de combustível Fatores nacionais de conversão energia elétrica. Fatores siderúrgicos mundiais de conversão de produtos.	China	23,11	788,7372	26,3	897,3046742
4b	(Cenário base) Fatores nacionais de conversão de combustível. Fatores nacionais de conversão energia elétrica. Fatores siderúrgicos mundiais de conversão de produtos.	EUA	14,9	508,53242	19,98	681,678608
	Fatores nacionais de conversão de combustível. Fatores nacionais de conversão energia elétrica. Fatores siderúrgicos mundiais de conversão de produtos.	China	18,44	629,35154	22,54	769,020812
5a	Fatores de conversão de combustível típicos IEA. Fatores worldsteel de conversão de energia elét. Fatores worldsteel de conversão para produtos intermediários. Razão China 2006 de EAF usado para EUA.	EUA	23,04	786,34812	26,9	917,7755032
	Cenário 3 Fatores de conversão de combustíveis da IEA. Fatores worldsteel de conversão de energia elét. Fatores worldsteel de conversão para produtos intermediários	China	22,65	773,03754	25,23	860,7983623

Tabela 7 - Intensidade energética ano 2006 China e Estados Unidos – cenários. (conclusão).

Nº	Cenário	País	Intens. Energética final		Intens. Energética primária*	
			GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t
	Cenário 3					
	Fatores de conversão de combustíveis da IEA					
	Fatores worldsteel de conversão energia elétrica	EUA	14,83	506,49	19,02	649,04
	Fatores worldsteel de conversão para produtos intermediários					
5b	Fatores de conversão de combustíveis da IEA					
	Fatores worldsteel de conversão energia elétrica					
	Fatores worldsteel de conversão para produtos auxiliares.	China	17,9	610,76	21,38	729,5
	Razão EUA 2006 de EAF usado para China					
	Fatores de conversão combustíveis do país.					
	Fatores worldsteel de conversão para produtos intermediários.	EUA	14,9	506,69	19,92	679,6
	Conversão de eletricidade final a primária chinesa para intensidade energética americana.					
6	Fatores de conversão de combustíveis do país.					
	Fator worldsteel de conversão para produtos intermediários.	China	23,11	788,53	26,33	898,51
	Conversão de eletricidades final para primária dos EUA para intensidade energética chinesa;					

* Para cenários base, 1 e 4, energia primária inclui perda elétrica de transmissão e distribuição. Cenários 2 e 3 seguem padrões do worldsteel, que excluem tais perdas.

Fonte: Adaptado de Berkeley International (2011)

Como pode ser observado, a avaliação entre os dados do parque siderúrgico brasileiro, os do parque siderúrgico americano e do parque siderúrgico chinês precisaram ter estabelecido um padrão comparativo. Para isto observa-se que o cenário 3 (Tabela 7) é o que estabelece as condições uniformes de cálculo. Ou seja, os valores energéticos dos combustíveis sendo calculados com base nos valores padronizados pelo IEA para o ano de 2005 (vide Tabela 2), valores de consumo de energia elétrica com base no ponto de consumo sem considerar as perdas de transmissão e distribuição e os valores de conversão para produtos importados conforme padrão do worldsteel apresentados na Tabela 3.

O MME, no Balanço Energético Nacional de 2007 publica que o setor ferro-gusa e aço consumiu 8.352 10³t de coque metalúrgico, sendo que a parte importada foi de 952 10³t. Na Tabela 2 estão indicados os valores de poder calorífico do coque, conforme IEA e conforme os valores usados pelo MME, que é de 28,8903 MJ/kg, portanto obtém-se o total de energia para o coque importado é de 27.503.566 GJ, conforme valores EPE e 26.132.400 GJ conforme IEA 2005.

Entretanto, na Tabela 3 está imposto que o valor de energia para compensar coque importado como fonte de energia final é 3,7 MJ/kg. Ou seja, será necessário incluir parcela de

3.522.400 GJ no consumo a recalcular com os dados de combustíveis conforme Tabela 2 para fatores IEA 2005. Desta forma constrói-se a Tabela 8, onde é feita uma adaptação aos dados da tabela original do BEN 2006 incluindo-se a coluna a esquerda com a conversão dos valores conforme fatores IEA 2005 para ter-se os valores em conformidade com o cenário 3 da tabela 7.

Tabela 8 – Consumo de energia Setor industrial de ferro-gusa e aço – fatores IEA 2005

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL ano base 2006		
IEA 2005	SETOR INDUSTRIAL - FERRO-GUSA E AÇO	
10³tep	COMBUSTÍVEL	10³ tep
1259	GÁS NATURAL	1105
1651	CARVÃO MINERAL	1813
44	ÓLEO DIESEL	40
107	ÓLEO COMBUSTÍVEL	107
85	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	85
0	NAFTA	0
1	QUEROSENE	1
980	GÁS DE COQUERIA	980
0	GÁS CANALIZADO	
5476	COQUE DE CARVÃO MINERAL	5763
1452	ELETRICIDADE	1452
4636	CARVÃO VEGETAL	4636
464	ALCATRÃO / OUTRAS SEC. PETRÓLEO	464
16155	TOTAL 10³ tep	16446
676.410.000	TOTAL GJ	688.594.020

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional – MME (2006)

Portanto o valor do consumo de energia, utilizando-se os fatores de cálculo conforme IEA 2005 é 676.410.000 GJ. Abatendo-se o valor de energia gerada a partir dos subprodutos, que corresponde a 15.685.200 GJ, e somando-se a energia correspondente a parcela de coque importado, 3.522.400 GJ tem-se agora 664.247.200 GJ como o total da energia consumida conforme cenário 3 utilizado pelo Lawrence Berkeley Laboratory para China e EUA. Nas condições deste cenário, como já esclarecido, foram recalculados os valores de consumo de energia de cada energético usado no processo siderúrgico. O valor final de intensidade energética do parque siderúrgico brasileiro pode agora ser calculado e poderia ser incluído na Tabela 7, coluna 3 que representa o mencionado cenário 3. O valor de intensidade brasileira, nestes moldes, vale 21,496 GJ/t. Comparativamente é um valor melhor que o chinês, mas significativamente inferior ao americano, valores que são respectivamente 22,65 GJ/t e 14,83 GJ/t.

4.2 CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA DA CHINA EM 2015.

Como os cálculos apresentados para a intensidade energética do parque siderúrgico brasileiro se baseiam no ano de 2015, faremos o recálculo dos valores para o parque siderúrgico chinês para este mesmo ano, utilizando os dados fornecidos pelo National Bureau of Statistics da China. Tem-se assim construída a tabela 9 que retrata os consumos energéticos do parque siderúrgico chinês.

Tabela 9 – Consumo energético do parque siderúrgico chinês no ano de 2015 - NBS

Tipo de combustível	Unidade	Quantidade	EIA 2005	GJ	Chinês GJ/t	GJ
Carvão	Mt	335,123	24,05	8.059.715.365,0	18	6.032.219.400
Carvão beneficiado	Mt		24,05	0,0		0
Carvão beneficiado (outros)	Mt		24,05	0,0		0
Coque adquirido	Mt	373,360	27,45	10.248.732.000,0	27,45	10.248.732.000
Óleo cru	Mt	0,000	42,85	8.570,0	42,85	8.570
Gasolina	Mt	0,113	47,1	5.331.720,0	47,1	5.331.720
Querosene	Mt	0,002	46,22	110.928,0	46,22	110.928
Diesel	Mt	0,621	45,66	28.359.426,0	45,3	28.135.830
Óleo combustível	Mt	0,038	40,19	1.527.220,0	40,1	1.523.800
GLP	Mt	0,000	46,15	0,0		0
Outros derivados do petróleo	Mt	0,000		0,0		0
Gás natural	Mm³	4405,000	35,04	154.351.200,0	35,04	154.351.200
Óleo de alcatrão	Mt	0,000		0,0		0
Benzeno	Mt	0,000		0,0		0
Eletricidade	GWh	533261,000		1.919.739.600,0		1.919.739.600
	Mt		GJ/t	TOTAL GJ		TOTAL GJ
				20.417.876.029,0		18.390.153.048

Fonte: Adaptado de National Bureau of Statistics da China (2015).

Na tabela 9 estão representados os quantitativos de consumos dos energéticos, conforme dados do National Bureau of Statistics. Já estão calculados os valores energéticos em GJ, no ano de 2015, já convertendo-se para os valores conforme EIA 2005 e conforme os valores adotados na China (colunas em amarelo).

Em paralelo, com a produção de aço bruto em 2015 na China (dados da NBS) e de ferro ligas, com base nos dados de Minerals Yearbook (2015), sendo respectivamente 803.825.000 toneladas, incluindo a produção de ferro ligas, que corresponde a 32.300.000 toneladas. Conforme mencionado anteriormente, a NBS publica os dados de produção de todos os ferrosos, incluindo aço e os ferro ligas. Desta forma, o total de aço produzido a ser considerado no cálculo será 803.825.000, menos 32.300.000, resultando 771.525.000 toneladas.

Em 2006, o parque siderúrgico chinês consumiu 1.142.704.000 GJ pelo setor de ferro ligas, e 11.528.597.154 GJ no total do parque siderúrgico, ou seja, o setor de produção de aço consumiu a diferença, significando 10.385.893.154 GJ. Nestas mesmas condições, em 2015 o mesmo parque siderúrgico chinês consumiu 20.417.876.029 GJ, conforme balanço do consumo energético, publicado pela NBS, já convertido para os valores de poder calorífico conforme EIA 2005. Na mesma linha o setor de ferro ligas consumiu 2.023. 801.187 GJ no mesmo ano. Portanto, o valor efetivo do consumo energético do setor siderúrgico, já considerando fora o setor de ferro ligas, é 18.394.074.842 GJ. Como a produção de aço bruto é de 771.500.000 t, o índice de intensidade energética para o ano de 2015, utilizando os mesmos critérios do cenário 3 considerado pelo Lawrence Berkeley Laboratory para China no estudo de 2006, é de 23,84 GJ/t. Ou seja, houve uma pequena piora do índice aumentando portanto o valor base de 22,65 GJ/t para 23,84 GJ/t.

4.3 CÁLCULO DA INTENSIDADE NO BRASIL EM 2015.

Este valor é um parâmetro significativo para avaliação de qualquer siderúrgica do parque nacional, independente da rota tecnológica em que ela se situe, ou seja, independente se ela é uma usina do tipo integrada ou não. Parâmetro que permite prosseguir nos estudos visualizando um valor de referência para estabelecimento de um marco base para as faixas de premiação nos valores das tarifas de energéticos, que é o objetivo específico deste trabalho. Os dados apresentados na Tabela 3 representam valores de intensidade energética para produção em diversas etapas de produção considerando-se em escala mundial, o que se aplica perfeitamente para o caso do parque siderúrgico nacional, uma vez que qualquer aquisição fora deste parque, ou seja, para importação de produtos siderúrgicos em geral, devemos usar números de enquadramento no mercado internacional.

Entretanto, as avaliações que serão feitas para as plantas siderúrgicas nacionais, que não se enquadram na rota 1, ou seja, plantas que precisam adquirir produtos como: coque siderúrgico, gusa, ferro esponja ou qualquer outro produto adquirido de qualquer outra planta do mercado nacional, os índices a serem incluídos no cálculo da intensidade energética desta planta, se basearão no valor médio de intensidade energética do mercado nacional para estes mesmos produtos, de forma a ter-se assim uma conversão mais adaptada as condições nacionais.

O quadro para os fatores de conversão para combustíveis e produtos auxiliares (coque, sínter, pelota, gusa, etc.) provenientes do parque siderúrgico nacional foi montado com base

nas quantidades adquiridas destes combustíveis e produtos auxiliares. Os valores foram extraídos do levantamento apresentado pelo MME – EPE – Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados – Segmento Cadeia Siderúrgica. Neste trabalho são apresentadas duas tabelas: uma com o consumo por unidade siderúrgica, considerando-se usina integrada da chamada rota 1 e uma outra com a produção de energia de cada unidade, ou seja, tem-se o resumo do que é consumido e do que é gerado como combustível de transformação por cada unidade siderúrgica.

Apresenta-se a seguir, nas Tabelas 10, 11 e 12 reprodução das mencionadas tabelas publicadas pela EPE – MME de forma a extrair-se os dados de intensidade energética para os setores siderúrgicos considerados que serão usados para calcular-se os dados dos fatores nacionais de produtos auxiliares para serem usados no cálculo dos índices para intensidade energética das outras rotas siderúrgicas brasileiras, ou seja, usinas integradas sem coque próprio e usinas semi integradas, com produção a partir de fornos EAF.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados de consumo específico por tonelada de aço bruto e por energético nas principais unidades produtivas correspondentes a rota 1. Na coluna “Outros” estão incluídas as unidades auxiliares, tais como: fábrica de oxigênio e calcinação, entre outros.

Tabela 10 – Intensidade energética consumida por setor siderúrgico da rota 1 – 2015 – tonelada de aço

Energético (Consumo)	Coqueria GJ/t	Sinterização GJ/t	Alto-forno GJ/t	Aciaria GJ/t	Laminação GJ/t	Outros GJ/t	Flare GJ/t	
Carvão mineral	15,009	0,449						15,458
Finos de carvão			3,839					3,839
Coque metalúrgico		1,226	11,116	0,001				12,343
Coque petróleo	1,133							1,133
Gás de coqueria - COG	0,339	0,039	0,419	0,025	0,482	0,467	0,029	1,8
Gás de alto-forno	0,547		1,504		0,046	2,924	0,462	5,483
Gás de aciaria	0,017	0,008	0,122	0,008	0,068	0,283	0,308	0,814
Gás natural	0,004	0,045	0,142	0,093	0,49	0,453		1,227
Alcatrão e derivados					0,103			0,103
Óleo diesel					0,03			0,03
Óleo combustível					0,001	0,003		0,004
Gasolina						0,001		0,001
Energia elétrica	0,204	0,552	0,488	0,466	1,11	1,197		4,017
Gases do ar	0,026	0,001	0,555	0,549	0,092	0,054		1,277
Outros			0,175					0,175
TOTAL	17,279	2,32	18,36	1,142	2,422	5,382	0,799	47,704

Fonte: Adaptado de EPE – MME (2015)

Na Tabela 11 estão representadas as produções energéticas específicas por tonelada de aço produzido, por unidade produtiva da rota 1 e por energético, ano base 2015. Representa a produção de energia nas unidades principais da rota 1 por tipo de energético. Na coluna

“Outros” também vale ressaltar que estão representadas basicamente a produção energética nas usinas termelétricas a partir dos gases combustíveis das unidades produtivas e os energéticos da fábrica de oxigênio. Entretanto é importante ressaltar que existem inconsistências nos dados apresentados nestes balanços divulgados pelo MME - EPE. O consumo total de energia elétrica, pela Tabela 10 está indicado em 4,017GJ/t de aço bruto. Na Tabela 10 está indicada produção de 3,763 GJ/t aço bruto, o que significa que foram produzidos aproximadamente 94% do total da energia elétrica consumida internamente.

Tabela 11 – Intensidade energética produzida por setor siderúrgico da rota 1 – 2015 – toneladas de aço

Energético (Produção)	Coqueria GJ/t	Sinterização GJ/t	Alto-forno GJ/t	Aciaria GJ/t	Laminação GJ/t	Outros GJ/t	Flare GJ/t	
Carvão mineral								0
Finos de carvão								0
Coque metalúrgico	10,942							10,942
Coque petróleo								0
Gás de coqueria - COG	1,8							1,8
Gás de alto-forno			5,483					5,483
Gás de aciaria				0,813				0,813
Gás natural								0
Alcatrão e derivados	0,298							0,298
Óleo diesel								0
Óleo combustível								0
Gasolina								0
Energia elétrica						3,763		3,763
Gases do ar						0,428		0,428
Outros								0
TOTAL	13,04	0	5,483	0,813	0	4,191	0	23,527

Fonte: Adaptado de EPE – MME (2015).

Ressalta-se que esse valor representa somente a parcela gerada por termelétricas, o que muito provavelmente não é verdade, pois em tabelas das publicações do IABr, a produção total, incluindo as hidrelétricas, não chega a atingir 55% do total da energia elétrica consumida pelo setor. Infelizmente estas inconsistências ficam difíceis de serem esclarecidas junto as empresas detentoras dos dados, pois face ao período de pandemia, os contatos com as empresas é muito difícil e mais difícil ainda a verificação e correção destes dados, pois o trabalho em “home office” impossibilita a confirmação de certos dados somente acessíveis nos arquivos da empresa. Desta forma, a Tabela 12 também foi construída com esta inconsistência.

Tabela 12 – Intensidade energética resultante do balanço consumo x produção 2015 – toneladas de aço

Energético (Consumo-Produção)	Coqueria GJ/t	Sinterização GJ/t	Alto-forno GJ/t	Aciaria GJ/t	Laminação GJ/t	Outros GJ/t	Flare GJ/t	
Carvão mineral	15,009	0,449						15,458
Finos de carvão			3,839					3,839
Coque metalúrgico	10,942	1,226	11,116	0,001				1,401
Coque petróleo	1,133							1,133
Gás de coqueria - COG	1,461	0,039	0,419	0,025	0,482	0,467	0,029	0
Gás de alto-forno	0,547		3,979		0,046	2,924	0,462	0
Gás de aciaria	0,017	0,008	0,122	0,805	0,068	0,283	0,308	0,001
Gás natural	0,004	0,045	0,142	0,093	0,49	0,453		1,227
Alcatrão e derivados	0,298				0,103			-0,195
Óleo diesel					0,03			0,03
Óleo combustível					0,001	0,003		0,004
Gasolina						0,001		0,001
Energia elétrica	0,204	0,552	0,488	0,466	1,11	2,566		0,254
Gases do ar	0,026	0,001	0,555	0,549	0,092	0,374		0,849
Outros			0,175					0,175
TOTAL	4,239	2,32	12,877	0,329	2,422	1,191	0,799	24,177

Fonte: Adaptado de EPE – MME (2015).

Os valores em vermelho correspondem as produções de energéticos em cada unidade a partir dos chamados combustíveis primários. Os resultados para os balanços, seja por tipo de energético ou por unidade produzem sempre valores com significado positivo e que na tabela são os valores em preto, seja a base de cálculo por unidade ou por energético. Apenas no caso do alcatrão chega-se a resultado negativo, significando assim que a produção é maior do que consumo interno. Significa também que os valores de consumo são sempre maiores, evidentemente, que os de geração, em todos os demais energéticos, que não o alcatrão.

A finalidade principal destas tabelas é a exibição dos dados de consumo específico de energia por setor produtivo das usinas da rota 1, o que proporciona a utilização destes índices para que seja assim estabelecido o cálculo do índice comparativo para as usinas que não possuem coqueria, por exemplo, e assim adquirem coque no mercado nacional ou internacional. A produção do coque adquirido demandou consumo energético por tonelada do próprio coque e este valor deve ser adicionado ao índice de produção já calculado com base nos consumos energéticos para produção do aço, no caso das usinas que adquirem coque.

Observação importante é que os dados de densidade energética apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12 já são baseadas na tonelagem de aço produzido, o que facilita a conversão do índice necessário para cálculo da intensidade energética da siderúrgica. Evidentemente isso se

aplica a qualquer outra unidade de uma usina da rota de usinas semi-integradas. Em outras situações talvez seja mais conveniente a utilização dos índices baseados na tonelagem do produto, ou seja, se uma usina sem produção interna de coque adquiriu tanto no mercado nacional como no mercado internacional, deverão ser usados respectivamente os índices importados e os índices do mercado nacional, baseados na tonelagem adquirida do coque.

Para o caso das usinas semi-integradas ocorre o fato mais marcante, pois em alguns casos são usados gusa adquirido externamente, juntamente com sucata de aço e em outros casos apenas sucata de aço. Para estas condições o adequado é considerar-se o total do índice para produção da tonelagem equivalente em gusa. O mesmo conceito se aplica para o caso de utilização de apenas sucata de aço nos fornos elétricos. Deve-se usar a tonelagem de sucata aplicada ao índice de densidade energética total para produção do equivalente em peso de gusa. Com estas aproximações de cálculo pretende-se chegar aos números equivalentes em usinas não integradas da rota 1, onde todos os insumos para a produção do aço são gerados internamente.

Para obter-se os valores de índices relativos a tonelagem do produto da respectiva unidade calcula-se o total gasto de energia na unidade a partir da produção de aço e divide-se este total de energia pela produção da unidade.

Um fato muito importante a ser comentado é que as tabelas 10, 11 e 12 foram montadas a partir de dados dos calores específicos usados pela EPE e não nos dados da IEA 2005, conforme mostrado na tabela 2. Evidentemente a avaliação a que o trabalho se concentra é a avaliação dos valores de densidade energética para as siderúrgicas para qualquer das rotas em que sejam enquadradas. Pode simplesmente ser calculado com base nos valores de intensidade energética das tabelas 10, 11 e 12, obtidos a partir de valores dos calores específicos dos combustíveis divulgados pela EPE. Os valores mostrados nas tabelas 10, 11 e 12 correspondem ao ano de 2015, ressaltando que este trabalho se trata de um estudo para avaliação dos critérios e métodos para premiação das tarifas no caso e melhoria dos índices e portanto, o ano de 2015 serve como base de comparação para anos posteriores. Entretanto, pode-se observar que o valor calculado para o parque siderúrgico nacional no ano de 2006, usado para comparação com os dados de China e dos EUA, apresenta valor melhor do que o do ano de 2015, ou seja: em 2006 o valor calculado de intensidade energética apresentou resultado inferior ao do ano de 2015. Em 2006 o valor calculado foi de 21,496 GJ/t e o do ano de 2015, conforme tabela 12 tem o resultado é de 24,177 GJ/t. Entre os motivos, como já comentado, os valores da tabela 12 são baseados nos valores de poder calorífico usados pelo EPE que apresentam valores diferentes dos usados nos cálculos do ano de 2006, que se

baseiam nos valores conforme o IEA 2005. Para compatibilização, constrói-se a tabela 13, convertendo-se os valores calculados com base nos dados divulgados pela EPE para os valores conforme estabelecido pelo IEA em 2005.

É importante ressaltar que neste caso não será necessário incluir-se a parcela relativa ao coque importado ou qualquer outro produto dos setores siderúrgicos indicados pois estamos usando os valores de intensidade energética por tonelagem do aço produzido, já incluindo assim a parcela de qualquer energético ou produto adquirido externamente ao parque siderúrgico nacional. É importante observar que o valor de intensidade energética considerada para o coque conforme a Tabela 3, baseada nos dados do Lawrence Berkeley Laboratory apresenta também uma pequena diferença comparado ao valor calculado pela EPE conforme tabela 12. De 3,7 GJ/t, para 3,44 GJ/t respectivamente. Primeiramente é preciso ressaltar que os valores da tabela 13 são baseados na produção de aço bruto e os valores da Tabela 3 são com base no consumo do energético para a produção do produto intermediário, no caso específico, o coque. Ou seja, a intensidade apresentada na Tabela 3 é 3,7 GJ/t de coque e a intensidade apresentada na Tabela 13, coluna Coqueria, indica o valor de 3,436 GJ/t de aço bruto.

Evidentemente são números muito próximos, mas que levam a resultados bem diferentes. A melhor forma de avaliarmos como refletem estes índices no índice no valor final será convertermos o índice calculado pela EPE para valor de intensidade com base na produção de coque. Em 2015 o parque siderúrgico brasileiro consumiu $11.606 \cdot 10^3$ t de coque. A produção do aço bruto foi de $33.258 \cdot 10^3$ t. Daí tem-se que a intensidade energética de 3,436 GJ/t de aço na coluna Coqueria da Tabela 13, convertido corresponde então a 9,84 GJ/t de coque. É uma diferença bem significativa e portanto atesta que o valor usado representa um valor bem superior se usássemos o valor de referência usado e recomendado pelo Lawrence Berkeley Laboratory. Como a idéia básica é estabelecermos valor comparativo, podemos considerar os números calculados pela Tabela 13, que na verdade representam valor maior de intensidade energética nestas condições.

Tabela 13 - Intensidade energética resultante do balanço entre consumo x produção 2015 – tonelada de aço com valores de poderes caloríficos conforme IEA 2005

Energético (Consumo-Produção)	Coqueria GJ/t	Sinterização GJ/t	Alto-forno GJ/t	Aciaria GJ/t	Laminação GJ/t	Outros GJ/t	Flare GJ/t	
Carvão mineral	13,660	0,409						14,069
Finos de carvão			3,494					3,494
Coque metalúrgico	10,396	1,165	10,562	0,001				1,331
Coque petróleo	1,133							1,133
Gás de coqueria - COG	1,461	0,039	0,419	0,025	0,482	0,467	0,029	0,000
Gás de alto-forno	0,547		3,979		0,046	2,924	0,462	0,000
Gás de aciaria	0,017	0,008	0,122	0,805	0,068	0,283	0,308	0,001
Gás natural	0,004	0,045	0,142	0,093	0,490	0,453		1,227
Alcatrão e derivados	0,298				0,103			-0,195
Óleo diesel					0,032			0,032
Óleo combustível					0,001	0,003		0,004
Gasolina						0,001		0,001
Energia elétrica	0,204	0,552	0,488	0,466	1,110	2,566		0,254
Gases do ar	0,026	0,001	0,555	0,549	0,092	0,374		0,849
Outros			0,175					0,175
TOTAL	3,436	2,219	11,978	0,329	2,424	1,191	0,799	22,376

Fonte: Adaptado de EPE – MME (2015).

Observa-se que os valores de intensidade energética do parque siderúrgico brasileiro no ano de 2015 apresentam resultado pior do que o do ano de 2006 que nas mesmas condições de cálculo resultaram em 21,496 GJ/t de aço, contra os 22,376 GJ/t calculados para o ano de 2015. Historicamente nos anos 2000, os desempenhos do parque siderúrgico brasileiro apresentam oscilação dos valores de intensidade energética, sempre em torno de 20 GJ/t. O próprio EPE já havia levantado esta condição no trabalho realizado na publicação de 2009, a nota técnica DEA 02/09, conforme mostra a tabela 14.

Tabela 14 – Evolução do consumo, produção e intensidade energética siderurgia brasileira

Variável	Unidade	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Consumo	10 ³ GJ	658,573	699,271	751,357	731,008	711,162	765,844
Produção	10 ³ GJ aço	29,604	31,147	32,909	31,610	30,901	33,782
Consumo específico	GJ/t aço	22,246	22,451	22,831	23,126	23,014	22,670

Fonte: Adaptado de EPE/MME (2008).

Mais uma vez é observado que o valor de intensidade de energia para o ano de 2006 conforme mostrado na Tabela 14 apresenta valor diferente do calculado neste trabalho para o mesmo ano. O valor aqui calculado foi 21,496 GJ/t e na Tabela 14 está indicado valor de 23,126 GJ/t. Entretanto é preciso então recordar que o critério de cálculo deste trabalho segue procedimento e metodologia diferentes dos usados pelo EPE para montar a Tabela 14. Ressalta-se que os critérios usados aqui neste trabalho são correspondentes ao cenário 3 do trabalho divulgado pelo Lawrence Berkeley Laboratory e principalmente os valores dos poderes caloríficos estabelecidos pelo IEA no ano de 2005, que são levados em consideração

nos procedimentos de cálculo, apresentam valores inferiores aos padronizados pela EPE, o que por si só já resultam em valores de consumo energético inferior ao dos cálculos da EPE.

A importância da Tabela 14 é utilizar-se os dados apresentados como referência para os valores de intensidade a serem usados no trabalho. Todas as usinas siderúrgicas da rota 1 deveriam, no mínimo, apresentar valores de intensidade energética inferiores 23,126 GJ/t de aço bruto. Esse é o valor de referência.

É importante analisar-se os valores apresentados na Tabela 13 e interpretarmos como estão distribuídos os valores de intensidade energética por setores principais dentro do parque siderúrgico. Pode-se classificar como sendo o alto-forno o setor onde se consome mais energia por tonelada de aço, sendo o consumo de 11,978 GJ/t de aço bruto. O segundo setor com maior consumo de energia é a coqueria, com 3,436 GJ/t de aço bruto. A laminação vem em terceiro, 2,424 GJ/t, seguido pela sinterização, 2,219 GJ/t apenas para caracterizar os quatro maiores consumidores de energia dentro do parque siderúrgico. É importante caracterizar-se que na coluna onde está representado o consumo por Outros, estão incluídos setores diversos, tais como; calcinação, fábrica de oxigênio, as centrais termelétricas, setores de manutenção, entre diversos outros setores. Desta forma fica visível a importância de se considerar o índice do alto-forno somado aos demais índices em usinas que operam aciarias EAF. Mesmo que elas utilizem apenas sucata de aço, ao invés de considerar-se o índice como o índice final de aço, pois assim considera-se como se o processo fosse equivalente a uma siderúrgica da rota 1.

Muito possivelmente este procedimento pode estar favorecendo o índice destas usinas, pois o tempo de refino utilizando-se sucata deve ser menor do que para o caso quando se utiliza gusa. Esta é uma situação que pode ser reavaliada futuramente, adotando-se o critério de se utilizar o índice do alto-forno somente para o caso da utilização de gusa e utilizar-se o índice relativo a produção do aço quando for usada sucata de aço.

4.4 TARIFAS ENERGÉTICAS NA SIDERURGIA NACIONAL.

O parque siderúrgico nacional é basicamente um grande consumidor das diversas formas de energia. Grande parte dessa energia fica restrita a um importante insumo para a obtenção do aço, que é o carvão, principalmente por ser fonte do carbono. Normalmente o carbono é encontrado em duas formas mais usuais na natureza: o carvão mineral, que é a forma mais usada entre as siderúrgicas e o carvão vegetal, este em menor quantidade. Ambos, além de serem insumos indispensáveis para produção do gusa e do aço, sendo o carbono parte

da constituição e da estrutura de qualquer aço, são também fontes energéticas no processo produtivo.

Entretanto, somente duas outras formas de energia são passíveis de estímulo na premiação das tarifas: energia elétrica e gás natural. O coque (carvão mineral) e o carvão vegetal, como são insumos que fazem parte da composição química do aço, fica muito questionável viabilizar a premiação em insumos que participam diretamente da composição do produto. O Diesel, querosene, gasolina, são energéticos auxiliares com demanda muito inferior. Somente o gás natural e a energia elétrica são energéticos que ficam sujeitos a tarifas cobradas com base na demanda de consumo mensal constantemente. As condições tarifárias para cada um destes meios energéticos no Brasil seguem diferentes regulações. O setor elétrico é regulamentado pela ANEEL que estabelece todos os critérios de acordo com o enquadramento dos consumidores. Mesmo as condições de negociação do mercado livre ficam sujeitas a supervisão da ANEEL (vide item 4.4.1). As diversas concessionárias praticam as regulações estabelecidas pela ANEEL tanto para atender as exigências de operação como companhias geradoras e distribuidoras de energia elétrica no território nacional, bem como para cobrar pelo fornecimento de energia às diversas categorias de consumidores. Evidentemente, neste trabalho estaremos focando apenas as categorias de consumidores em que as siderúrgicas nacionais se enquadram.

Do outro lado, a distribuição de gás natural, apesar de também ser regulada, não conta com uma legislação única que se aplique de maneira uniforme em todo o território nacional, pois são regulamentos estaduais e existem certas discrepâncias entre os diversos regulamentos.

A energia elétrica é bem mais utilizada no setor siderúrgico do que o gás natural. Em 2015 foram consumidos 67.368.830 GJ de energia elétrica contra 51.210.000 GJ de energia por gás natural no setor siderúrgico, conforme dados de levantamento no relatório (2015) BEN. São consumos relativamente baixos, considerando-se o consumo total do setor, sendo cerca de 9,6% e 7,3% do total, também segundo o relatório BEN (2015), para a eletricidade e para o gás natural, respectivamente.

Para este estudo, primeiro serão analisados os envolvimento quanto as tarifas de energia elétrica e posteriormente se analisará os envolvimento com as tarifas de gás natural. Conforme estabelecido pela ANEEL, os consumidores de energia elétrica são inicialmente divididos em duas divisões tarifárias, segundo os grupos A e B. O grupo B engloba os consumidores de baixa tensão, onde se enquadram os consumidores de menor potência. As siderúrgicas brasileiras se enquadram no grupo A onde estão relacionados os consumidores de

alta tensão (subgrupos A1, A2 e A3), média tensão (subgrupos A3a e A4) e os consumidores por sistema subterrâneo (subgrupo A5).

No Brasil é oficial a seguinte classificação quanto aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica: é considerado sistema de transmissão a rede que compõe a chamada Rede Básica sempre em valores iguais ou maiores a 230 kV. O sistema de distribuição está fora da Rede Básica. O sistema de distribuição em alta tensão (SDAT) é aquele na faixa entre 69 kV e abaixo de 230 kV. O sistema de distribuição em média tensão (SDMT) se situa na faixa entre 1 kV e abaixo de 69 kV. O sistema de distribuição em baixa tensão é todo aquele abaixo de 1 kV. Conforme Haddad, J. et al, 2006, no livro Conservação de Energia - PROCEL, capítulo 5, Tarifação Elétrica, a Tabela 15 abaixo retrata as classes em que as siderúrgicas brasileiras se enquadram.

Tabela 15 – Subdivisão do grupo A – Tarifação elétrica.

Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
A5	Subterrâneo

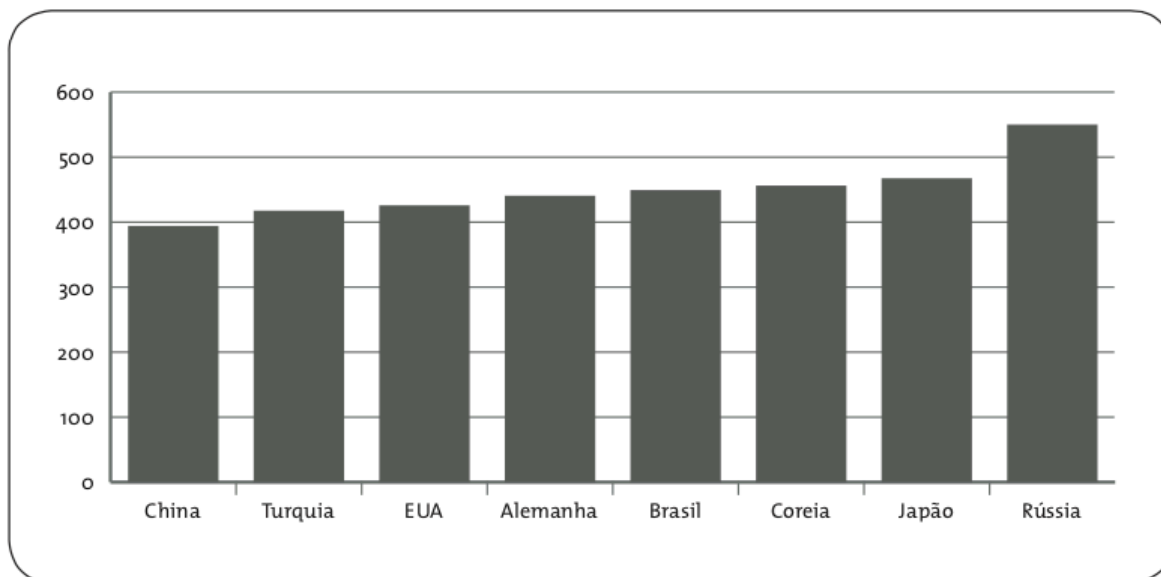
Fonte: Adaptado de CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (2006)

Utilizando como base o ano de 2015, quando foram produzidas 33.258.000 toneladas de aço bruto e o consumo total energético foi de 744.175.460 GJ, com base nos dados de balanço para cálculo da intensidade energética (Tabela 13), já convertidos para os valores caloríficos conforme IEA (2005) e efetuando-se os descontos da energia elétrica produzida com a utilização dos subprodutos energéticos gerados durante o processo siderúrgico. Para avaliação do efetivo consumo total elétrico do setor, é necessário usar-se diretamente os dados do Boletim Energético Nacional para o ano de 2015 que aponta para consumo de 67.369.000 GJ, número inferior a 10% do consumo total de energia do setor.

O que é importante nessa análise é que, especificamente no caso do setor siderúrgico, a energia elétrica não é um insumo de tanta envergadura, como é o caso do coque. Entretanto é muito importante ressaltar que esta relativa baixa importância ou peso no consumo energético se deve principalmente por ser um valor médio do consumo do setor, que incorpora tanto as siderúrgicas integradas como as semi-integradas. No caso das semi-integradas, onde o processo produtivo se concentra nos fornos a arco elétrico (EAF), o peso da energia elétrica

aumenta bastante. Este dado não é facilmente localizado nos levantamentos das entidades brasileiras. No Steel Statistical Yearbook 2016, publicado pela Worldsteel Association está indicado que o Brasil produziu em 2015, 26.002.000 toneladas de aço bruto pelo processo BOF e 6.720.000 toneladas de aço bruto pelo processo EAF. Não existe um levantamento publicado que indique a intensidade de energia consumida nos fornos de arco elétrico no Brasil. Pode-se calcular com base nos dados de consumo das siderúrgicas semi-integradas, mas demandaria um levantamento de dados bem criterioso e de difícil acesso, face as diversidade deste tipo de siderúrgicas no parque brasileiro, apesar de não serem as responsáveis pelas maiores produções, mas são muito espalhadas no parque nacional. Efetivamente existem diversos estudos desenvolvidos e aplicados ao processo EAF como o caso do trabalho de Nicolás Lugo (2014), Electric Arc Furnace best operation practices, apresentado no 45º Seminário Siderúrgico de maio de 2014, em Porto Alegre. Aí ele indica, com base em outra publicação e estudo que fez com outros pesquisadores americanos, que o consumo médio de energia para a produção de aço em fornos elétricos se situa em torno de 580 kWh/t. São dados médios mundiais. Evidentemente, neste trabalho ele apresenta diversas condições para melhoria deste índice, mas são procedimentos que ainda não foram efetivamente implantados nas siderúrgicas em operação. O BNDES desenvolveu o trabalho aplicado a siderurgia e a figura 6 retrata condições mais em sintonia com processo EAF nos diversos países.

Figura 6 – Consumo médio de energia no processo EAF em kWh/t



Fonte: J. P. S. LANDIN DE CARVALHO (2015).

Pode ser observado a partir da figura 6 que em média no Brasil, consome-se cerca de 450 kWh/t de aço produzida via fornos a arco elétrico. Desta forma, em 2015, como foram produzidas 6.720.000 toneladas de aço por EAF, as siderúrgicas semi-integradas brasileiras consumiram cerca de 10.886.400 GJ, correspondendo a pouco mais do que 16% de todo o consumo elétrico do setor. Observar que este valor representa apenas o total consumido para a produção do aço, estando fora os demais consumos de energia elétrica da siderúrgica, como o consumo de energia para o sistema de resfriamento do aço, para o setor de laminação, acionamento das mesas de roletes, transporte, etc.

No consumo de energia elétrica tem-se o parâmetro principal e o mais indicado para basear a premiação nos casos de redução do índice de consumo energético por qualquer siderúrgica do parque. É importante observar-se que grande parte das usinas siderúrgicas é também produtora de energia elétrica, principalmente as integradas, em usinas termelétricas com a utilização dos gases gerados no processo e até mesmo com pequenas hidrelétricas. O faturamento de todos os consumidores de energia elétrica, independente do grupo a que estejam enquadrados, sempre incide com base no consumo mensal. No caso de usinas semi-integradas que operam aciarias com o processo EAF, toda redução do índice de densidade energética será reflexo da diminuição do consumo da energia elétrica, tornando mais fácil e objetivo o seu controle.

Para as usinas integradas que operam com aciarias do sistema BOF, que são a grande maioria principalmente quanto ao volume de produção, as reduções de consumo energético poderão ser reflexo da redução do consumo de qualquer ou até mesmo em todos os outros meios energéticos (coque, gás natural, subprodutos dos diversos processos, por exemplo). É importante ressaltar que o consumo energético total do parque siderúrgico nacional em 2015 foi de 744.173.460 GJ. O consumo elétrico total nacional também em 2015, foi de 1.888.771.987 GJ. Dados informados pelo relatório BEN (2015).

O consumo elétrico siderúrgico em 2015 foi de 67.368.830 GJ, o que representa cerca de 3,5% do consumo elétrico nacional. 10% de redução no consumo siderúrgico representa 0,3% no consumo nacional. Esta avaliação exprime o porte dos consumos elétricos e quanto a premiação das tarifas pode impactar a arrecadação do setor elétrico. Outra coisa importante de avaliar-se é como o índice da intensidade energética deve ser interpretado como passível de premiação. Reduções do consumo que representem a partir de 1% na redução do índice de intensidade energética da usina passariam a ser computados. Também como avaliação deste valor, sabe-se que o índice do setor está na faixa 20 GJ/t. A premiação seria correspondente ao valor da redução percentual do índice. Ela só seria validada após confirmação em período de leitura de 3 meses e o índice seria a média ponderada da redução no período considerado. O período de avaliação seria anual sendo zeradas as premiações obtidas durante este período. Ou seja, as empresas integrantes do plano de premiação estariam sujeitas as avaliações e aplicações do prêmio no período de um ano desde a adesão ao contrato. Vencido este período, um novo contrato seria iniciado sujeito as mesmas regras. Durante este período, todas as reduções de consumo e melhorias dos índices seria cumulativa e os prêmios somados para cada redução que ocorresse adicionalmente as já medidas.

Mesmo que uma siderúrgica consiga apenas uma redução durante o período anual do contrato, se a redução for mantida e se mantiver estável durante o período, a premiação da tarifa será aplicada durante todo o período de validade. As verificações seriam trimestrais divididas no período anual de validade do contrato. O valor da intensidade do último mês do contrato anterior seria a base para as medições do novo contrato seguinte. Se no contrato seguinte não houver melhoria do índice conseguido no último período, não haveria premiação neste novo período, mesmo que a redução conseguida no contrato anterior se consolide.

4.4.1 Considerações sobre o Mercado Livre de energia

O mercado de energia elétrica no Brasil está dividido em dois ambientes de contratação: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). A contratação regulada (ACR) é caracterizada pelos consumidores cativos de energia fornecida pelas concessionárias com as tarifas reguladas pelo governo e a contratação livre (ACL) caracteriza os consumidores que compram a energia diretamente dos geradores ou comercializadores por intermédio de contratos bilaterais com condições livremente negociadas para preços, prazos de fornecimento, quantidade de energia adquirida, etc.

O mercado livre de energia elétrica foi criado pela Resolução 265 de 13 de agosto de 1998 pela ANEEL e vem sendo revisado e evoluído até a presente data por diversas outras resoluções editadas pela ANEEL. Mesmo não tendo controle sobre tarifas do ACL a ANEEL é a entidade responsável pelo estabelecimento das regras de atuação do segmento.

O consumidor interessado em aderir ao ACL precisa ter uma demanda contratada mínima de 500kW, média ou alta tensão. Qualquer siderúrgica no parque brasileiro se enquadra neste nível de consumo. Neste ambiente, evidentemente o consumidor continuará conectado ao sistema de distribuição da concessionária local e pagará à concessionária uma tarifa pela distribuição da energia utilizada, bem como as taxas de iluminação pública. A energia consumida efetivamente será incluída na conta do(s) contrato(s) via mercado livre de energia. Em outras palavras, o consumidor via mercado livre paga o preço da parte da distribuição da energia consumida em conta separada para a concessionária local responsável pelo sistema de distribuição local e a energia consumida é negociada via mercado livre com as geradoras de energia ou comercializadores desta energia gerada.

Conforme levantamento da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL), a tarifa média das distribuidoras no mercado regulado (ACR) é de R\$ 279,00 por MWh e no mercado livre (ACL) é de R\$ 160,00 por MWh (dados de dezembro de 2021). Entretanto, mesmo com esta diferença média nos valores do custo de energia, somente 30% do total gerado estão incluídos na contratação via mercado livre (ACL). Evidentemente o nível de consumo liberado para aquisição no mercado livre limita os consumidores a optarem por este ambiente diminuindo o total da energia comercializada assim. Existe projeto já aprovado no senado e em tramitação na Câmara dos Deputados visando incluir todos consumidores a poderem optar pelo ACL. O Brasil é um dos países com menor incidência deste ambiente de contratação, ou seja, o mercado livre de energia, ou formas equivalentes de comercialização, é adotado em muitos outros países, sendo o Chile um dos primeiros países do mundo a adotar a livre comercialização da energia entre os consumidores.

4.5 TARIFAS ENERGÉTICAS PARA O GÁS NATURAL.

Como já mencionado, a distribuição e a tarifação do gás natural não estão sujeitos a regulação a nível nacional, ficando sujeitas as regulações estaduais e passíveis de grandes diferenças, dependendo da localização da siderúrgica. Evidentemente existe supervisão a nível nacional, via CNEP e ANP, que são os organismos responsáveis pela supervisão da política nacional, bem como da prática de preços e tarifas, mas os responsáveis diretos são os organismos estaduais. Basicamente, a política de preços, conforme esclarece Taets, L. A. R., (2014), em seu trabalho, *Análise da Participação do Gás Natural na Matriz Energética e a Aplicação desse combustível no Processo de Pelotização de Minério de Ferro*, o gás de procedência nacional segue a Equação (4).

$$T = P_G + P_T + M_D. \quad (4)$$

Onde:

T é a tarifa do gás;

P_G é o custo variável (commodity);

P_T é o custo fixo (transporte);

M_D é a margem de distribuição.

O gás importado da Bolívia segue outra fórmula para formação de preços, conforme Equação (5).

$$T = P_V + P_F. \quad (5)$$

Onde: T é a tarifa do gás;

P_V é o custo variável, que segue outra linha de formação de preços e reajuste em relação ao gás nacional.

P_F é o preço fixo do transporte que também segue uma regra diferente do praticado no gás de origem nacional.

Para esclarecer estas situações, no estado de São Paulo a ARSESP é a responsável pela regulação em todo o estado e em 13/01/2021 foram editadas a ARSESP 1.111 e a ARSESP 1.113, que são respectivamente as regulações para a COMGAS e para a Naturgy, duas concessionárias para gás natural no estado de São Paulo.

As cláusulas e deliberações dispostas nestes dois documentos são muito diferentes entre si, apesar de ambas terem abrangência estadual. Pode-se observar que as figuras 12 e 13

estabelecem os valores para as tarifas industriais praticadas pelas duas concessionárias dentro do estado de São Paulo. As diferenças não se limitam aos valores das tarifas praticadas como também pela divisão das classes em cada concessionária.

Tabela 16 – Tarifas industriais área de concessão da COMGAS.

SEGMENTO INDUSTRIAL
TARIFAS COMGAS

Classe	Volume (m³/mês)	Termo fixo (R\$/mês)	Termo variável (R\$/mês)
1	0,00 a 50.000,00 m³	216,13	2,529553
2	50.000,00 a 300.000,00 m³	34.368,19	1,846613
3	300.000,00 a 500.000,00 m³	61.918,37	1,767354
4	500.000,00 a 1.000.000,00 m³	69.205,18	1,752781
5	1.000.000,00 a 2.000.000,00 m³	98.992,46	1,722998
6	> 2.000.000,00 m³	176.706,69	1,69671

Fonte: Adaptado de Deliberação ARSESP 1.111 (2021).

Pode-se observar que a Tabela 16, relativa a área de concessão da COMGAS, inclui 6 classes de consumidores com base na faixa contratada de consumo mensal, com as parcelas de termo fixo e parcelas de termo variável, sendo que ambas incidem aos consumidores de qualquer das classes. Por sua vez, a área de concessão da Naturgy é dividida em 7 classes correspondendo a 7 faixas de consumo mensal, com valores diferentes dos das classes da área de concessão da COMGAS. Também incidem os termos fixos e os termos variáveis, mas com valores totalmente distintos. Vide Tabela 17.

Tabela 17 – Tarifas industriais área de concessão da Naturgy.

SEGMENTO INDUSTRIAL
TARIFAS NATURGY

Classe	Volume (m³/mês)	Termo fixo (R\$/mês)	Termo variável (R\$/mês)
1	0,00 a 5.000,00 m³	250,28	3,117013
2	5.000,01 a 50.000,00 m³	5.005,37	2,197378
3	50.000,01 a 300.000,00 m³	23.197,49	1,804147
4	300.000,01 a 500.000,00 m³	60.313,46	1,672213
5	500.000,01 a 1.000.000,00 m³	66.671,43	1,605933
6	1.000.000,01 a 3.000.000,00 m³	71.776,45	1,566176
7	> 3.000.000,01 m³	91.923,01	1,548231

Fonte: Adaptado de Deliberação ARSESP 1.113 (2021).

Os termos fixos e variáveis são partes contabilizadas na tarifa e distribuídas nas medições das contas a partir do consumo mensal medido, somando o total efetivamente faturado. A parcela fixa é considerada como sendo o transporte do gás e a parcela variável (commodity) é que corresponde efetivamente ao consumo.

O consumo de gás natural no parque siderúrgico nacional é significativamente inferior ao da energia elétrica ao longo dos anos e em 2015 os números de consumo foram respectivamente 51.215.384 GJ para gás natural e 67.368.830 GJ para energia elétrica. O gás natural ainda é muito caro no mercado nacional, principalmente quando comparado a outros países produtores de aço. Seu consumo em siderúrgicas semi-integradas com aciarias a EAF representa percentual de consumo inferior ao das siderúrgicas com aciarias BOF, da chamada rota 1, usinas integradas. Seguindo nesta linha, a mesma base de premiação sugerida para redução das tarifas de energia elétrica deveria ser aplicada nas tarifas de consumo de gás natural. Elas estão suscetíveis as mesmas formas de cobrança de tarifas e devem assim compartilhar a premiação a todos os consumidores que consigam reduções em seus índices de intensidades energética, nas mesmas bases e percentuais de reduções a serem aplicados nas contas de energia elétrica.

5 PREMIAÇÃO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL.

Como avaliado no tópico anterior, as premiações deverão ser aplicadas somente nas tarifas de energia elétrica e de gás natural porque, além de serem energéticos cobrados através de tarifas sobre consumos negociados junto as concessionárias e comercializadoras de energia, são insumos fundamentais no perfil energético do parque siderúrgico nacional e sobre os quais o estado tem controle e interesses diretos, principalmente no que diz respeito a racionalização e otimização de consumo. A energia elétrica tem sido constantemente alvo de oscilações na geração, distribuição e consumo estando sujeita as bandeiras tarifárias, dependendo da forma de negociação do contrato.

O gás natural, por sua vez é um insumo relativamente novo no Brasil tendo sua participação efetiva no setor industrial somente a partir do final dos anos de 1.990, começo dos anos 2.000. Apesar de ter sido primeiramente utilizado nos anos de 1930, após descoberta de reservas no recôncavo baiano, antes mesmo da criação da PETROBRAS, tinha nesta época uso ainda muito limitado no território nacional. Na constituição de 1.988 mereceu capítulo especial prevendo-se que a regulação ficasse a cargo dos estados, deixando de ser, portanto um monopólio da federação. Com a Lei 9.478/97, que estabeleceu a criação do CNPE e da ANP, que por sua vez viabilizaram o fomento ao uso do gás natural como forma de “incremento das bases econômicas”, foi dado o impulso para a divulgação e uso do gás natural no Brasil (A Evolução da Indústria Brasileira de Gás Natural – ANP). Aspecto importante é que o gás natural faz parte da política energética nacional e com base na mencionada Lei 9.487/97, a União é proprietária de todas as jazidas de petróleo, gás e qualquer outro hidrocarboneto. Desta forma fica fundamentada a afirmação de que é interesse da União o controle ao uso do gás natural, não somente da energia elétrica.

Estabelecidos os reais valores e importâncias para a escolha dos energéticos a receberem os descontos a título de premiações, sempre que houver redução no valor da intensidade energética pelas siderúrgicas brasileiras, é preciso agora estabelecer-se os procedimentos para aplicação do prêmio.

Evidentemente a metodologia de cálculo e estabelecimento das rotinas para seleção e manuseio de dados, basicamente voltados ao cálculo da intensidade energética, já foram suficientemente descritas e justificadas nos capítulos 3 e 4, METODOLOGIA e PROCESSAMENTO DE DADOS, respectivamente. Agora serão avaliadas as formas de aplicação de bônus após constatadas as efetivas reduções do índice. Importante ressaltar que a redução do índice pode não corresponder a redução do consumo de energia elétrica e nem

mesmo do consumo de gás natural, desde seja reduzido valor do índice, mesmo que para isso o consumo de qualquer destes dois energéticos tenha aumentado, a premiação se dará sobre as tarifas deles. Por exemplo, se uma usina que opere aciarias por BOF descobrir que ao invés de injetar oxigênio a velocidade supersônica no gusa líquido dentro do conversor o processo apresente redução no consumo de energia com um processo mecânico de agitação do líquido, diminuindo o consumo de oxigênio puro que é injetado a alta velocidade para promover a agitação do metal líquido, mesmo que com isso aumente o consumo de energia elétrica para acionamento da agitação mecânica, mas reduza o consumo final de energia, o prêmio será aplicado nas tarifas elétrica e de gás natural, mesmo que tenha aumentado o consumo de energia elétrica.

Um outro exemplo: uma usina da rota 1, usina integrada com alto forno, desenvolve processo de aquecimento do ar nos regenadores por intermédio de resistências elétricas ao invés do uso de combustíveis para aquecimento do ar insuflado no AF e com isso reduzindo o total de energia consumida, mesmo que o consumo de energia elétrica aumente, a premiação recairá sobre a conta de energia elétrica mesmo que a redução do consumo total energético represente aumento do consumo de eletricidade ou de gás natural.

Outra definição importante é quanto e como contabilizar o prêmio. No tópico 4, enquanto eram avaliadas as condições de consumo de energia elétrica foi concluído que somente reduções do índice (número representado nas unidades GJ/t, apenas referencialmente) superiores a 1% do índice base, considerado o índice base o valor obtido na último mês anterior a data de fechamento do contrato de concorrência a premiação. Os índices de intensidade de energia do parque siderúrgico brasileiro, calculados em GJ/t, oscilam em torno 20 GJ/t.

Evidentemente este é um valor médio, mas serve como referência para se ter uma ordem de grandeza dos números que este percentual proposto representam. Também se avaliou que este percentual de redução do valor do índice poderia ser transferido ao percentual a ser aplicado no desconto da fatura mensal da conta na forma de prêmio. Ou seja, se a redução no índice da intensidade energética foi de 1,5%, este seria o desconto a ser aplicado no consumo indicado na fatura mensal. Observar que esta dedução seria aplicada sobre o valor final da tarifa já incluindo os impostos.

Entretanto, o prêmio só poderia ser efetivado se a redução do índice se mantivesse durante um período de 3 meses seguidos. A premiação teria então defasagem de três meses e seria o valor resultante da média ponderada do índice do trimestre em questão. O mesmo cálculo seria aplicado no trimestre seguinte. Se a média ponderada do trimestre seguinte não

indicasse redução no valor do índice base de referência para cálculo mensal, então neste trimestre não haveria premiação na tarifa.

Esta seria então a sequência para aplicação do prêmio na tarifa de consumo da energia elétrica. Os contratos teriam validade anual. Para o contrato seguinte o valor base do índice seria o equivalente a média ponderada do último trimestre do contrato anterior. Portanto, se durante todo o ano do contrato anterior for mantido o índice de redução de 1,5% em relação ao índice base do contrato, significa que para se ganhar premiação no contrato do ano seguinte, será necessário que haja melhoria de pelo menos 1% sobre o índice do último trimestre do contrato encerrado.

Este é o estímulo para que as melhorias continuem a ser implantadas no processo produtivo e também serve como uma maneira de não onerar as concessionárias com descontos cumulativos. Poderia também ser adotada uma proposta alternativa de manter-se os prêmios de forma a acumular-se os percentuais de redução até atingir-se um prêmio limite de desconto equivalente a 10% sobre o índice base do primeiro contrato e todos os contratos subsequentes seriam aditivos contratuais ao contrato inicial.

Entretanto esta alternativa parece estabelecer um limite não muito salutar ao processo de melhoria continua, pois os índices dos países referencia dos índices de consumo no setor siderúrgico certamente estão em patamar de redução superior a 10%, como é o caso dos EUA.

A Tabela 18 demonstra mais claramente com um exemplo como deve ser a aplicação dos prêmios e descontos em função dos valores de redução no IIE no transcorrer do contrato.

Tabela 18 – Demonstrativo da forma de aplicação da premiação e da validação do contrato.

Trimestre anterior ao fechamento do contrato	FECHAMENTO DO CONTRATO												ENCERRAMENTO CONTRATO	
	ANO DE AVALIAÇÃO CONFORME CONTRATO													
	mês 1	mês 2	mês 3	mês 4	mês 5	mês 6	mês 7	mês 8	mês 9	mês 10	mês 11	mês 12		
21,23 21,19 21,09	20,11	20,10	20,09	19,89	21,50	22,40	21,45	19,90	20,11	21,20	21,35	20,56		
21,17	20,10			21,26			20,49			21,04			fora do contrato	
	5,05%			-0,44%			3,23%			0,63%			n.d.	
Descontos a serem aplicados após 3ª mês	5,05%			-0,44%			3,23%			0,63%				

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 18, primeiramente se mostra nas três primeiras células a esquerda os valores de IIE dos 3 meses anteriores a assinatura do contrato, partir de quando será estabelecido o valor base para referência de cálculo da premiação. No exemplo se mostra as valores de 21,23 / 21,19 / e 21,09, respectivos valores de IIE nestes meses. No campo inferior está calculada a média ponderada destes valores que representa 21,17 e será considerado o valor de referência durante o ano de validade de contrato. No trimestre inicial do contrato, logo no primeiro mês

o IIE foi de 20,11, indicando redução do índice (cerca de 5,01%). Só poderá ser considerado prêmio se a redução for contabilizada no trimestre inteiro, portanto, no caso do exemplo, no segundo mês foi calculado o valor para o índice de 20,10 e de 20,09 no terceiro mês. A média ponderada no trimestre é de 20,1, como indicado no campo abaixo. A variação percentual da média deste trimestre foi calculada com base no valor de 21,17, que é valor base do contrato, resultando então em 5,05%. Ou seja, 20,1 significa 5,05% de redução em relação ao valor de 21,17. Este valor de 5,05% corresponde a redução a ser implantada no trimestre subsequente, ou seja, nas parcelas de consumo das contas dos meses 4, 5 e 6. Assim se procede nos trimestres seguintes. No segundo trimestre não houve redução no valor do índice, pois o valor médio IIE do trimestre foi de 21,26 o que na verdade é aumento em relação ao valor de 21,17. Nos meses 7, 8 e 9 não haverá portanto desconto nas tarifas. No terceiro trimestre o valor calculado de redução foi de 3,23% de redução a ser aplicada no quarto trimestre, ou seja nos meses, 10, 11 e 12. O valor de redução de 0,63% calculado no quarto trimestre será aplicado no próximo trimestre e que não estará mais na vigência deste contrato, apesar de ainda ter abrangência como premiação, apenas para este primeiro trimestre.

Para o gás natural deverá ser adotada exatamente a mesma metodologia para determinação do prêmio e do desconto a ser aplicado na fatura mensal. Como já avaliado, as tarifas cobradas pelas concessionárias obedecem às regulações estaduais.

Os organismos estaduais estabelecem os requisitos e as tarifas a serem aplicadas as concessionárias atuantes no estado, já incluindo os custos de transporte do gás pelas tubulações, o chamado custo fixo, que é cobrado por valor fixo a partir das faixas de consumo e o custo variável, que é cobrado por metro cúbico consumido conforme as faixas de consumo. Como mostrado nas figuras 12 e 13, os custos das tarifas fixas e variáveis por classe de consumo para COMGAS e Naturgy, que são duas concessionárias de gás natural no estado de São Paulo, apresentam valores diferentes, além de número de classes diferentes e custos de consumo diferentes entre as classes.

Portanto, para as tarifas de gás natural também só serão aplicadas premiações para reduções do índice de intensidade energética (número representado nas unidades GJ/t) superiores a 1% do índice base, considerado o índice base o valor obtido na último mês anterior a data de fechamento do contrato de concorrência a premiação, da mesma forma como adotado para a premiação na tarifa de eletricidade. Igualmente, o percentual de redução conseguido no índice nas unidades já estabelecidas (GJ/t), será transferido ao percentual a ser aplicado no desconto da fatura mensal da conta do consumo de gás natural, na forma de

prêmio. Ou seja, se a redução no índice da intensidade energética foi de 1,5%, este seria o desconto a ser aplicado no consumo indicado na fatura mensal.

Observar que esta dedução seria aplicada sobre o valor final da tarifa já incluindo os impostos. O prêmio também só será efetivado se a redução do índice se mantiver durante um período de 3 meses seguidos. A premiação teria então defasagem de três meses e seria o valor resultante da média ponderada do índice do trimestre em questão. O mesmo cálculo seria aplicado no trimestre seguinte. Se a média ponderada do trimestre seguinte não indicasse redução no valor do índice base de referência para cálculo mensal, então neste trimestre não haveria premiação na tarifa. Esta seria então a sequência para aplicação do prêmio na tarifa de consumo de gás natural, da mesma forma como o da energia elétrica. Os contratos igualmente teriam validade anual.

Para o contrato seguinte o valor base do índice seria o equivalente a média ponderada do último trimestre do contrato anterior. Igualmente ao caso da energia elétrica, se durante todo o ano do contrato anterior for mantido o índice de redução de 1,5% em relação ao índice base do contrato, significa que para se ganhar premiação no contrato do ano seguinte, será necessário que haja melhoria de pelo menos 1% sobre o índice do último trimestre do contrato encerrado. Também poderia também ser adotada a proposta alternativa de manter-se os prêmios de forma a acumular-se os percentuais de redução até atingir-se um prêmio limite de desconto equivalente a 10% sobre o índice base do primeiro contrato e todos os contratos subsequentes seriam aditivos contratuais ao contrato inicial. Da mesma forma como avaliado para a energia elétrica, esta alternativa parece estabelecer um limite não muito motivador ao processo de melhoria contínua, pois os índices dos países referência dos índices de consumo no setor siderúrgico certamente estão com índices de densidade energética mais do que 10% inferiores ao brasileira, como é o caso dos EUA.

Evidentemente a explicação detalhada para a premiação nas tarifas de gás natural é exatamente a mesma dada a partir da Tabela 18, quando justificada a premiação para a conta de energia elétrica. Todos os procedimentos se aplicam igualmente às contas de gás natural e o desconto também será sempre validado sobre o total consumido na conta mensal.

Conforme os estudos se avançaram durante o trabalho, solidificou-se a visão de que a iniciativa para criação de programas deste porte precisa ser sustentada por um organismo que tenha importância no cenário industrial e energético. Numa avaliação sustentada, o Ministério de Minas e Energia é o que mais se adequa a este perfil, pois é o órgão responsável e principal interessado em que as empresas no território nacional se dediquem a redução no consumo de

energia. Poderia ser criado um programa especial com patrocínio do referido ministério tal como o já existente PROCEL.

5.1 RECURSOS PARA PAGAMENTO DA PREMIAÇÃO.

As premiações propostas no capítulo anterior deveriam fazer parte de um programa de incentivo criado por um organismo oficial, tal como o ministério já sugerido. Programas deste propósito devem ser incentivados por organismos oficiais da esfera governamental, entretanto, o orçamento para absorver tais gastos deve ser obtido de forma a não onerar o orçamento público ou o lucro das empresas. Um incentivo desta magnitude, mesmo comprometendo uma parcela do lucro ou do orçamento público, o retorno que ele proporciona, ultrapassa o horizonte dos setores envolvidos podendo atingir todo o mercado consumidor de energia, incluindo os setores geradores de divisa e todo o parque produtivo nacional. Quanto mais baixo o índice de intensidade energética, menor o consumo de energia e consequentemente todas as variáveis que seguem tal redução são afetadas. Desde a redução da geração de energia, diminuição das perdas na distribuição desta energia, aumento da confiabilidade do sistema energético e também da capacidade produtiva do parque nacional, pois valores baixos do índice de intensidade energética refletem a maturidade e qualidade do parque industrial.

No parque siderúrgico brasileiro, como pode ser observado nas tabelas 10, 12 e 13 no item 4.3, a participação da energia elétrica não é tão grande como a do carvão mineral, mas tem um detalhe importante a ser mencionado, pois é uma das tarifas que entram neste trabalho como premiação para redução de tarifas em caso de melhorias nos índices de intensidade energética. Também é importante mencionar-se que para o caso das siderúrgicas da rota 2 onde a utilização do processo EAF, basicamente a energia elétrica é a maior fonte de consumo de energia. Apesar de no Brasil, o perfil da geração de energia elétrica ainda ser preponderantemente hidráulico, isso vem se alterando bem significativamente, uma vez que o potencial hidráulico já se encontra bem reduzido, pois quase todo o recurso hídrico já está em consumo pelas hidrelétricas em funcionamento. A tabela 19 identifica o perfil de geração brasileiro.

Tabela 19 – Perfil da geração elétrica brasileira em 2019

PERFIL DA GERAÇÃO ELÉTRICA NO BRASIL - 2019

Item	Forma	Percentual %	Valor TJ
1	Hidráulica	64,9	8.867.192
2	Gás natural	9,3	1.270.645
3	Eólica	8,6	1.175.005
4	Bio massa	8,4	1.147.680
5	Carvão e derivados	3,3	450.874
6	Nuclear	2,5	341.571
7	Derivados do petróleo	2	273.257
8	Solar	1	136.629
Total		100	13.662.853

Fonte: Adaptado de EPE/MME (2021).

Pode-se observar que a energia produzida a partir de combustíveis, com geração de CO₂, já representa um valor bem considerável no perfil nacional. Cerca de 23% de toda a energia primária gerada no Brasil é representada pela queima de combustíveis e consequentemente com a emissão de gases causadores do efeito estufa. Como já ressaltado diversas vezes neste trabalho, o parque siderúrgico é um dos maiores consumidores de energia elétrica e mesmo que a redução dos índices de intensidade de energia possam representar parcela pequena do consumo de energia elétrica, as reduções deste insumo poderão ter efeitos significativos na emissão de gases do efeito estufa. Evidentemente o impacto devido a redução no consumo de carvão mineral, no caso das siderúrgicas da rota 1, por exemplo, trará redução mais impactante na emissão destes gases e neste energético certamente poderão ser feitos os maiores esforços, mas a energia elétrica hoje em dia representa ponto altamente significativo na emissão de GEE. Nos próximos parágrafos avaliaremos as possibilidades de utilização dos créditos de carbono, resultantes da redução do consumo energético e consequentes menores IIE que as siderúrgicas poderiam contabilizar e transferir para as concessionárias de energia e gás natural como abatimento da redução das contas destes energéticos.

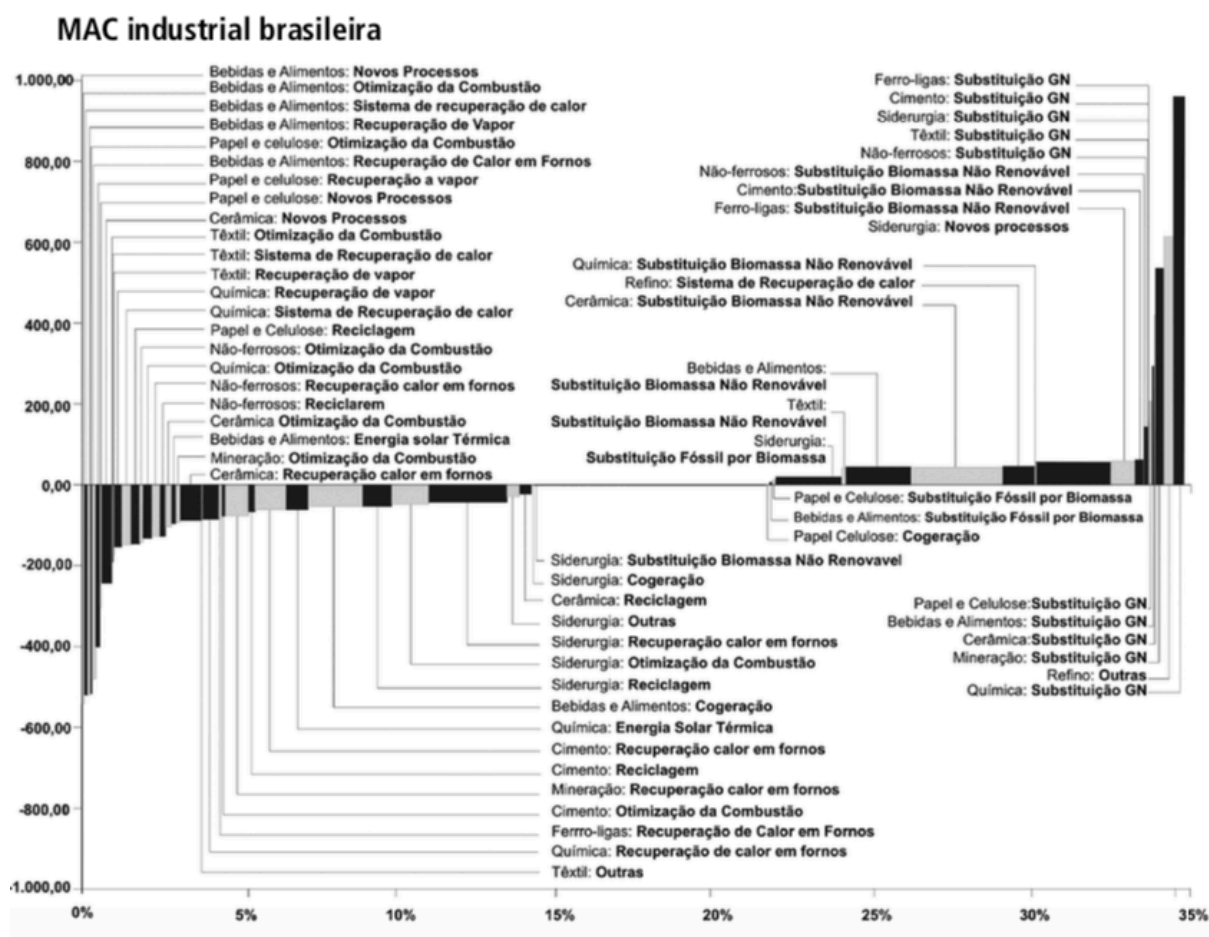
O Brasil é signatário do Acordo de Paris (2015) e se compromete a reduzir suas emissões de gases do efeito estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030. A criação do Mercado de Carbono, a partir do Protocolo de Quioto em 1997, estabelece regras para comercialização dos créditos de carbono. Os gases de efeito estufa que são considerados no Protocolo de Quioto são o dióxido de carbono (CO₂) o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e a família dos perfluorcarbonos e hidrofluorcarbonos. O

conceito chave para avaliação do carbono equivalente é baseado no CO₂ e desta forma, os créditos de carbono foram institucionalizados a partir do protocolo de Quioto, se tornando “moeda de troca”.

Estudos estabelecem o valor do Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP) para todos os gases estudados e foi criada uma tabela de conversão do carbono equivalente de cada gás considerado de efeito estufa. Estes estudos tabelaram o potencial de dano em 100 anos usando o CO₂ como referência e atribuindo o valor de referência na tabela GWP de 1 para o dióxido de carbono (CO₂). Consequentemente, todos os outros gases tem seu valor comparativamente ao valor do CO₂ e a partir daí se avalia a emissão em carbono equivalente. No Brasil, esta tabela é divulgada pelo SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima. Este organismo também calcula as estimativas de emissão no Brasil por setor, seja ele industrial, de transportes, de geração de energia, agricultura, enfim, por todos os setores responsáveis pela emissão dos GEE. No relatório Nota Metodológica Processos Industriais e Uso de Produtos, publicado em junho de 2022, a emissão de dióxido de carbono equivalente pelo setor siderúrgico no ano de 2015, que é o ano base dos estudos do presente trabalho, foi de 43,591 ktCO₂e. A estimativa correspondente para o ano de 2020 foi 38.849 ktCO₂e, indicando uma significativa redução das emissões, apesar de ter também ocorrido redução na produção nacional. Conforme Anuário do IABr (2022), a produção de aço bruto brasileira em 2020 foi de 31.415 kt e em 2015 foi de 33.258 kt. Certamente ocorreu melhora significativa das emissões de GEE entre estes anos, pois a produção de 2015 é cerca de 6% maior que a de 2020 e as emissões de 2015 foram cerca de 12% superiores a de 2020. Evidentemente isto se deve a melhoria da conservação energética no parque siderúrgico, pois os números de emissão de GEE estão acompanhando as reduções dos valores de IIE.

Os estudos desenvolvidos pelo IPEA (2012) sobre custos para abatimentos de emissões de GEE demonstram que no Brasil o potencial para este abatimento é ainda bastante grande, prevendo-se a situação até 2030 para o abatimento de até 34% das emissões. Na Figura 6 está indicada a situação para os principais setores industriais brasileiros indicando os custos envolvidos em (US\$/tCO₂e) na ordenada e o potencial de redução da emissão de GEE em (%) na abscissa.

Figura 7 – Curva MAC para setor industrial brasileiro



Fonte: IPEA (2012).

Pode ser observado na figura 6, através dos estudos executados, que grande parte das medidas potenciais a serem implantadas no parque siderúrgico representam custo negativo, ou seja, trariam lucro no balanço de investimento e retorno da medida, como é o caso da recuperação do calor dos fornos, reciclagem de materiais, otimização da combustão, que são possivelmente as medidas mais simples e as primeiras a serem tomadas. Para facilitar a visualização foi incluída a Tabela 20 detalhando os custos e o compartilhamento que a medida traria quanto a redução das emissões de GEE.

Tabela 20 – Custos por tecnologia adotada para abatimento de emissões

Setor	Tecnologia	Custo original (US\$/tCO₂)	Share %
Siderurgia	Reciclagem	-54,81	9,79
Siderurgia	Otimização da combustão	-49,86	10,97
Siderurgia	Recuperação calor/frio	-44,89	13,43
Siderurgia	Outras	-31,01	13,82
Siderurgia	Cogeração	-2,7	14,31
Siderurgia	Substituição biomassa não renovável	-1,73	21,6
Siderurgia	Substituição fóssil por biomassa	19,17	23,98
Siderurgia	Novos processos	55,83	32,48

Fonte: autor com dados do IPEA 2012 (2020).

Pelo apresentado na Tabela 20, observa-se que, se por exemplo for adotada a tecnologia de otimização da combustão, o que certamente reduzirá significativamente o IIE da siderúrgica, ao mesmo tempo reduzirá cerca de 10,97% da emissão de CO₂ equivalente. Considerando a emissão de 43.591 ktCO₂ equivalente no setor siderúrgico no ano de 2015, se todo o setor tivesse adotado a tecnologia de otimização da combustão neste mesmo ano, teríamos redução de 10,97% na emissão e o total emitido seria de cerca de 38.810 ktCO₂ equivalente. Então neste caso, as empresas que adotassem medidas visando inclusive o abatimento da emissão de GEE, além de redução no consumo energético e consequentemente do IIE, obteriam créditos de carbono a partir da adoção das medidas de abatimento da emissão de gases. Estes créditos podem ser convertidos em moeda corrente, dependendo do valor de mercado na época considerada no contrato entre as partes. Os créditos então poderiam ser transferidos às fornecedoras de energia elétrica e de gás natural para compensar o débito relativo ao desconto que a siderúrgica teria direito pela redução de seu índice de intensidade energética. Por definição, um crédito de carbono equivalente corresponde a uma tonelada de CO₂ deixada de ser emitida, independente do valor monetário no mercado. O valor de mercado do crédito de carbono serviria como referência comparativa para cálculo do valor de desconto aplicado nas tarifas energéticas.

Entretanto este procedimento traria uma desvantagem para a siderúrgica signatária do contrato de redução das tarifas, pois ela perderia seus créditos de carbono para pagar os descontos conseguidos nas contas de energia elétrica e gás natural. Evidentemente tudo isso dependeria de negociação contratual, inclusive dos valores dos créditos de carbono.

Em tempo é importante retornar-se ao caso das siderúrgicas com base nos fornos elétricos, ou seja, as da rota 2, para comentar sobre o setor de geração de energia elétrica, pois, conforme levantamentos do mesmo Observatório do Clima, o setor de energia foi responsável pela emissão de aproximadamente 19% do total de gases de efeito estufa em

2020, representando aproximadamente 394.000.000 t de carbono equivalente de um total emitido de 2,2 bilhões de toneladas no ano. É preciso esclarecer que o setor de energia contabiliza a parcela de gases emitidos no processo de geração de energia elétrica e também na produção de combustíveis. Entretanto, a parcela de emissão dos gases de efeito estufa na geração de eletricidade é 33.000.000 tCO₂ equivalente. Entretanto, a análise da redução do consumo energético na siderurgia engloba diversas matrizes energéticas, como já avaliamos nos capítulos anteriores. Evidentemente qualquer siderurgia baseada nesta rota, com utilização de aciarias pelo processo EAF, a tecnologia a ser utilizada para as avaliações do percentual de redução da Tabela 20, seriam os itens de Recuperação de calor/frio ou Cogeração, por exemplo e não mais o de otimização da combustão, que para este caso estaria muito restrito e direcionado a setores auxiliares, como a fornos de aquecimento e aquecimento em geral. Entretanto, em qualquer das rotas siderúrgicas a se considerar, a negociação dos créditos de carbono com as concessionárias e comercializadoras de energia elétrica e com as de gás natural pode ser considerada com forma de amortizar a perda em receita para tais empresas fornecedoras de energéticos.

Alternativamente, como forma de mitigação da suposta desvantagem das siderúrgicas perderem seus créditos de carbono para amortização do débito relativo aos descontos nas tarifas elétricas, pode-se lançar mão da Lei 9991. Esta Lei está em vigor por mais de 20 anos, mas só se aplica as comercializadoras/geradoras de energia elétrica. Ou seja, para o caso dos descontos na tarifa de gás natural o procedimento de utilização dos créditos de carbono deveriam ser implantados sem ainda uma alternativa mitigadora da perda dos créditos de carbono pela siderúrgica. Retornando-se ao caso da energia elétrica, a Lei 9991 estabelece que toda empresa distribuidora de energia elétrica aplique 0,75% da receita líquida operacional em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico nacional e no mínimo 0,25% da receita líquida operacional em programas de eficiência energética no uso final. As empresas de geração elétrica devem investir 1% de sua receita bruta operacional também em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. Ou seja, tanto para as distribuidoras de energia elétrica com para as geradoras de energia elétrica, está estabelecido por lei que elas precisam investir parte de sua receita operacional em programas de eficiência energética no uso final, ou seja, programas de eficiência energética desenvolvidos pelos consumidores e estes programas de eficiência energética podem incluir qualquer outro meio energético que não seja a eletricidade propriamente dita.

Nestas condições, para o caso do desconto nas tarifas de geração e distribuição de energia elétrica, a Lei 9991 estabelece e cria os meios para incentivar a proposta do presente

trabalho, sem que neste caso as siderúrgicas abram mão de seus créditos de carbono. Para o caso das tarifas de gás natural a referida lei não se aplica e portanto neste caso a proposta é a negociação com os créditos de carbono que serão obtidos a partir das medidas de redução do consumo de energéticos, consequentemente do IIE e negociar com a distribuidora de gás natural nas cláusulas do contrato.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Procede-se aqui a avaliação e discussão de alguns aspectos relevantes deste trabalho. Após profundos estudos sobre diversos aspectos envolvidos no trabalho, pode-se enumerar e descrever as dificuldades e imprecisões que podem induzir a erros de interpretação e até mesmo erros de avaliação se não forem levados em conta critérios e aspectos considerados em cada ponto. Por exemplo: os cálculos da intensidade energética do setor brasileiro no ano de 2005 conforme detalhado no item 4.1, foi desenvolvido pelo EPE e diversos dos critérios e premissas não estão em acordo com as premissas e critérios levados em conta no estudo desenvolvido por Hasanbeigi et al (2011), que norteou todos os demais cálculos aqui desenvolvidos para determinação do IIE, tanto para o parque siderúrgico nacional em 2015, como para o parque chinês e o parque dos Estados Unidos. O simples fato de no caso dos cálculos desenvolvidos pela EPE utilizarem os valores dos poderes caloríficos dos energéticos conforme dados brasileiros e os cálculos para atenderem a metodologia nos estudos de Hasanbeigi (2011) utilizarem os dados do EIA divulgados em 2005, a diferença dos consumos de energia tendem a variações em torno de 10%. Basta avaliar-se os dados apresentados na Tabela 2 e comparar-se os poderes caloríficos do carvão mineral e do coque entre estas duas fontes mencionadas para comprovar-se a variação submetida aos consumos destes energéticos, que são os maiores responsáveis pelo consumo de energia no processo siderúrgico. Ainda dentro deste aspecto, observando-se a Tabela 7, a linha relativa ao cenário da alternativa 4a, que é o cenário base de cálculo do parque chinês, com a utilização dos poderes caloríficos dos fluidos de cada país, os fatores de conversão da energia elétrica conforme uso corrente em cada país, os fatores de conversão para os produtos auxiliares conforme worldsteel, mas as conversões da energia dos EAF conforme fatores chineses usados para os Estados Unidos. Nestas condições os IIE chinês e americano ficaram muito próximos em valores, sendo de 22,96 para os Estados Unidos e 23,11 para China. Na mesma Tabela 7, levando-se em conta o cenário 3, que foi o utilizado como referência de cálculo neste trabalho, observa-se que os índices foram 14,83 para os Estados Unidos e 22,65 para a China. No caso dos índices americanos deste cenário, observa-se variação muito grande comparativa ao cenário 4a com a simples mudança na utilização dos poderes caloríficos conforme IEA e do cálculo da energia dos EAF, pelos critérios da worldsteel. É assim perceptível o impacto causado pelo simples fato da alteração dos procedimentos de conversão dos valores de energia consumida.

Um outro fator muito importante e que tem grande impacto no cálculo das energias consumidas é a variação do efetivo poder calorífico dos energéticos usados em cada país e isso também é notório ao avaliar-se a Tabela 2. O Brasil não é grande produtor de carvão mineral, ou carvão metalúrgico, mas o carvão brasileiro por certo não tem as mesmas propriedades que o carvão americano ou chinês. O gás natural brasileiro também não tem as mesmas propriedades e composição do gás chinês ou americano. Até mesmo no Brasil há variações comparando-se o gás boliviano e o extraído no Brasil. Daí a necessidade de serem avaliadas as diversas conversões de unidade dos poderes energéticos de cada insumo, conforme efetuado no trabalho de Hasanbeigi (2011) e a construção de uma tabela onde se pode avaliar as diversas considerações de cálculo de conversão dos energéticos com o resumo de cada processo de conversão destes dados.

A proposta apresentada no item 5 e representada na Tabela 18 é uma sugestão baseada em experiência vivida em siderúrgica da rota 1, onde a participação da energia elétrica é um pouco reduzida se comparada ao carvão mineral e o coque siderúrgico. Também o perfil de produção segue linha mais focada a produtos laminados principalmente a frio. É importante ressaltar que em função da qualidade final do aço, o consumo energético varia significativamente, mas como o cálculo dos índices é mensal, será sempre considerado o consumo total dos insumos no mês. Evidentemente poderá ocorrer de uma produção mensal ter um perfil muito homogêneo retratando pouca variação dos tipos de aço produzido e no mês seguinte a carteira sofrer mudança muito grande na qualidade/tipo de aço, refletindo assim em uma mudança substancial no índice de intensidade energética. Baseado neste efeito se procurou utilizar o critério de medição da média por três meses sequentes para consideração do período de avaliação.

Quanto ao percentual de desconto a ser aplicado nas tarifas ser equivalente ao percentual de redução do IIE no período considerado também é uma proposta que caberia uma análise mais detalhada entre as partes envolvidas, ou seja: concessionárias elétricas, geradoras de energia elétrica, distribuidoras de gás natural e o setor siderúrgico. O importante é que este percentual adotado seja sempre o mesmo para qualquer siderúrgica que participar em contratos independentes e individuais. Aqui cabe um comentário adicional aplicável as siderúrgicas que tenham contratos de energia elétrica pelo mercado livre. No caso da siderúrgica ser contemplada com desconto após conseguir redução de seu IIE, as tarifas, tanto da fornecedora de energia como da distribuidora, deverão ter suas contas igualmente reduzidas conforme percentual conseguido pela siderúrgica.

O repasse dos créditos de carbono e dos investimentos em projetos de eficiência energética são formas sugeridas para aliviar-se as perdas no caso dos descontos das tarifas e poderiam também ser incluídos eventuais outros planos de investimento em vigor na elaboração dos contratos.

7 CONCLUSÕES

O objetivo primeiro deste trabalho era o de apresentar um cálculo detalhado do Índice de Intensidade de Energia para o parque siderúrgico nacional e a partir daí estudar-se propostas para aplicação de descontos nas tarifas de energia como forma de incentivo a adoção deste índice para controle da eficiência energética na indústria. A opção pelo Índice de Intensidade de Energia, a despeito da escolha pelo Ciclo de Vida, é porque com a avaliação do Ciclo de Vida as análises se afastariam muito da proposta original do trabalho que seria a premiação para os casos de economia efetiva de energia para a produção siderúrgica. Os princípios e estrutura de avaliação do Ciclo de Vida estão estabelecidos pela norma ISO 14040 e os requisitos para a avaliação estão na ISO 14044. Evidentemente as avaliações do Ciclo de Vida devem ter incluído em seu inventário o consumo energético para a produção do bem, entretanto a avaliação do Índice de Intensidade de Energia trata os valores de consumo energético de forma objetiva e focada na produção do bem e sua cadeia produtiva.

A visão de um índice como IIE remonta aos km/l (quilômetros por litro) muito úteis para avaliação de desempenho de veículos quanto ao consumo. Entretanto, se para veículos, as variáveis que podem impactar na variação deste índice são poucas e facilmente administráveis, tais como a carga que o veículo esteja carregando, condições de tráfego, velocidade e em menor escala, a qualidade do combustível que pode variar conforme “receita” da refinadora, uma vez que existem faixas variáveis de água no álcool e de álcool na gasolina, por exemplo. No caso do índice de intensidade de energia no parque siderúrgico, as variáveis são imensamente maiores. Por exemplo: incluir ou não os gastos de energia de transporte fora do parque industrial, quando existe transporte dos produtos para um segundo setor industrial. Incluir ou não os gastos de energia dos fornecedores de insumos fabricados fora, como o caso do oxigênio utilizado nos fornos LD. Grande parte das siderúrgicas adquire o oxigênio de terceiros e nos casos em que a siderúrgica tem sua própria fábrica de oxigênio dentro de seu complexo industrial a energia consumida por ela está contabilizada no balanço de energia elétrica. Enfim, estabelecer os procedimentos para cálculo dos IIE não é tarefa fácil e exige trabalho e critério para estabelecer todos os limites de bateria e procedimentos.

Para os cálculos e avaliações dos descontos, o que já mencionou-se que o apresentado aqui é uma sugestão para servir como exemplo para o trabalho, também deverá ser feita uma avaliação criteriosa dos períodos a serem considerados, dos percentuais de desconto nas tarifas e até mesmo se os percentuais devem ser iguais entre a energia elétrica e o gás natural. Também deverá envolver um trabalho criterioso e conjunto. Mas nisso uma coisa é certa;

nenhum país se tornou grande e forte com soluções fáceis e rápidas. Sempre trabalho e esforço são as ferramentas mais importantes.

REFERÊNCIAS.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Evolução da indústria brasileira de gás natural: aspectos técnico-econômicos e jurídicos.** Rio de Janeiro: ANS, 2009.

ARENS, M.; WORREL, E.; SCHLEICH, J.. Energy intensity development of German iron and steel industry between 1991 and 2007. **Energy**, v.45, n.1, p.786-797, 2012. Disponível em: www.elsevier.com/locate/energy. Acesso em: 30 out. 2020.

BRASIL. Lei 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1999/1.htm#:~:text=L9991&text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investimentos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias. Acesso em: 25 ago. 2022.

BRYCE, M. D. **Industrial development, a guide for accelerating economic growth.** New York: McGraw Hill, 1965.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. **BNDES Setorial**, v.41, p.181-236, 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib>jspl>handle>. Acesso em: 27 maio 2020.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ; FUNDAÇÃO DE PESQUISA E ASSESSORAMENTO A INDÚSTRIA. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** Itajubá: Eletrobrás; Fupai; Procel, 2006.

CLARA, Y.; ALMEIDA, E.; SOARES, G. **Margens de distribuição do gás natural no Brasil: Análise comparativa do caso brasileiro.** EPBR, 2018. Disponível em: <https://epbr.com.br/margens-de-distribuicao-do-gas-natural-nobrasil-por-yanna-clara-edmar-d-e-almeida-e-gustavosoares/#:~:text=A%20Petrobras%20%C3%A9%20o%20maior,transporte%20ser%20regulado%20pela%20ANP>. Acesso em: 27 dez.2020.

COUTO, L. C. C. B. C. **Custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil: uma análise industrial.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br>handle>. Acesso em: 23 março 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados segmento cadeia siderúrgica.** Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>publicacoes>topico-407>. Acesso em 02 jun 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Boletim energético**, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energeticonacional-ben>. Acesso em: jun. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Caracterização do uso da energia no setor siderúrgico brasileiro**. Rio de Janeiro: EPE, 2009. Nota técnica DEA 02/09. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/publicações/topico-311>. Acesso em: 17 mai 2018.

HASANBEIGI, A. *et al* – **A comparison of iron and steel production energy intensity in China and U.S.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011. Disponível em: <https://eta.lbl.gov/sites/default/files/lbl-5746e-steel-ei-comparisonjune-2012.pdf>. Acesso em 17 mai 2018.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário estatístico 2020**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/06/Anuario_Completo_2020.pdf. Acesso em: 7 jul 2020.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade 2018**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade2018/>. Acesso em: 2 jul 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Curvas de custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil**: resenha e oportunidades de mitigação. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1781.pdf. Acesso em: 23 mar 2021.

LUGO, N.. Electric arc furnace best operation practices. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ACIARIA, 45, 2014, Porto Alegre. **ABM Proceedings** [...]. Porto Alegre: ABM, 2014. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/electric-arc-furnace-best-operation-practices>. Acesso em: 12 jan 2021.

MOURÃO, M. B. *et al*. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: ABMM, 2007.

NATIONAL BUREAU OF STATISTICS OF CHINA. **Statistical database**: annual data, [s.d.]. Disponível em: <http://www.stats.gov.cn/english/Statisticaldata/AnnualData/>. Acesso em: maio 2021.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Sistema de estimativa de emissão de gases do efeito estufa**: Nota metodológica processos industriais e uso de produtos. São Paulo: IEMA, 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/01/Nota-Metodologica-SEEG-3.0-PROCESSOS-INDUSTRIAIS-23.11.2015.pdf>. Acesso em: 25 set 2022.

SANTOS, K. A. **Custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil**: oportunidade de mitigação para pecuária de corte. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016. Disponível em: [https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-AGRONEGOCIOS/CUSTOS%20MARGINAIS%20DE%20ABATIMENTO%20DE%20GASES%20DO%20EFEITO%20ESTUFA%20OPORTUNIDADES%20DE%20MITIGA%C3%](https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-AGRONEGOCIOS/CUSTOS%20MARGINAIS%20DE%20ABATIMENTO%20DE%20GASES%20DO%20EFEITO%20ESTUFA%20OPORTUNIDADES%20DE%20MITIGA%C3%92)

87%C3%83O%20PARA%20PECU%C3%81RIA%20DE%20CORTE.pdf. Acesso em: 23 mar 2021.

SÃO PAULO. Deliberação ARSESP no 1.111, de 13 de janeiro de 2021. Dispõe sobre a atualização das tabelas tarifárias a serem aplicadas e sobre a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) a serem aplicadas no mercado livre pela concessionária de distribuição de gás canalizado Companhia de Gás de São Paulo – COMGÁS e revoga a deliberação ARSESP no 1.065, de 26 de novembro de 2020. São Paulo, SP: **Diário Oficial**, 2021.

SÃO PAULO. Deliberação ARSESP no 1.113, de 13 de janeiro de 2021. Dispõe sobre a atualização das tabelas tarifárias a serem aplicadas e sobre a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) a serem aplicadas no mercado livre pela concessionária de distribuição de gás canalizado Gás Natural São Paulo Sul S.A. (Naturgy) e revoga a deliberação ARSESP no 1.113, de 13 de janeiro de 2021. São Paulo, SP: **Diário Oficial**, 2021.

SILVA, J. N. S.. **Siderurgia**. Belém: IFPA; Santa Maria: IFSM, 2011. 110p. Disponível em: https://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/siderurgia/161012_siderurgia.pdf. Acesso em: 11 fev 2021.

TAETS, L. A. R.. **Análise da participação do gás natural na matriz energética e a aplicação desse combustível no processo de pelletização de minério de ferro**. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/291>. Acesso em: 27 jan 2021.

WORREL, E. *et al.* Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. **Energy policy**, v.25, n.7-9, p. 727-744, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421597000645>. Acesso em: 25 jun 2020.