

QUEIMADOR DOC - DILUTE OXYGEN COMBUSTION – COMBUSTÃO DE OXIGÊNIO DILUÍDO¹

Pedro Athias Zagury²

Resumo

A Praxair é uma das três maiores empresas de gases industriais do mundo, com atuação em mais de 40 países. Cerca de 14% das vendas são destinadas à indústria siderúrgica. A PRAXAIR possui experiência para fornecer produtos e serviços para todos os tipos de siderúrgica. Diversas tecnologias desenvolvidas pela Empresa, como o **CoJet**[®] (sistema para injeção de jato coerente de oxigênio em fornos elétricos e conversores), *Slag Splashing* (espalhamento de escória nas paredes de conversores, aumentando a vida útil dos refratários), AOD (processo para produção de aços especiais) e outros, encontram-se em operação comercial atualmente em diferentes partes do mundo. No Brasil, a Praxair é a controladora da White Martins, maior empresa de gases industriais da América do Sul, presente em nove países do continente. Seu portfólio de produtos inclui os gases atmosféricos, produção de gás carbônico, acetileno, hidrogênio, gases especiais e medicinais, misturas para soldagem, cilindros de aço sem costura, equipamentos para aplicação, transporte e armazenamento de gases. Recentemente a empresa iniciou a operação de uma unidade para liquefação de gás natural. O presente trabalho tem por objetivo mostrar os benefícios do *Dilute Oxygen Combustion (DOC)*, um queimador oxi-combustível desenvolvido pela Praxair, capaz de trazer benefícios ambientais, como a redução da emissão de gases nocivos ao meio-ambiente em conjunto com a diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Além destes benefícios, o DOC garante maior produtividade aos fornos de reaquecimento de aço e maior uniformidade no aquecimento do produto, uma vez que a combustão ocorre de maneira uniforme dentro do forno.

Palavras-chave: Queimador; Oxi-combustível; Redução de emissões; Consumo de combustível.

DOC BURNER - DILUTE OXYGEN COMBUSTION

Abstract

Praxair is one of the largest industrial gases producers of the World, being present in more than 40 countries. Around 14% of Company's sales are to the steel industry. Praxair has experience to supply products and services to all kinds of steel mills. Several technologies developed by the Company, such as **CoJet**[®] (a system to coherent oxygen jet injection in EAF and BOF furnaces), *Slag Splashing* (splashing slag to cover BOF furnaces walls increasing refractory wear campaign life), AOD (a process for special steel production) and others, are currently in commercial operation in different parts of the world. In Brazil, Praxair is the owner of White Martins, the largest industrial gases company in South America, present in nine countries of the continent. Company's portfolio includes atmospheric gases, carbonic gas production, acetylene, hydrogen, special and health and care gases, mixtures for welding, gas seamless steel cylinders, applications equipment, and storage and gases transportation. Recently the Company has started the operation of a natural gas liquefaction unit. The present work has the objective to show the benefits of the Dilute Oxygen Combustion (DOC), an oxy-fuel burner developed by Praxair that is able to bring environmental benefits by reducing emissions of cases that affect environment at the same time as reduces fossil fuels consumption. In addition to these benefits, DOC can guarantee a higher productivity to steel reheating furnaces and more uniformity in product's heating. The combustion occurs in a homogeneity way inside the furnace.

Key words: Burner; Oxi-fuel; Emissions reduction; Fuel consumption

¹ *Contribuição técnica ao XXII Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 15 a 17 de agosto de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Metalúrgico – Desenvolvimento Industrial Metal/Siderurgia da White Martins*

1 INTRODUÇÃO

Os principais benefícios da utilização de tecnologias oxi-combustíveis são a diminuição do consumo de combustível proveniente da utilização do oxigênio substituindo o ar de combustão e a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, gás causador do efeito estufa.

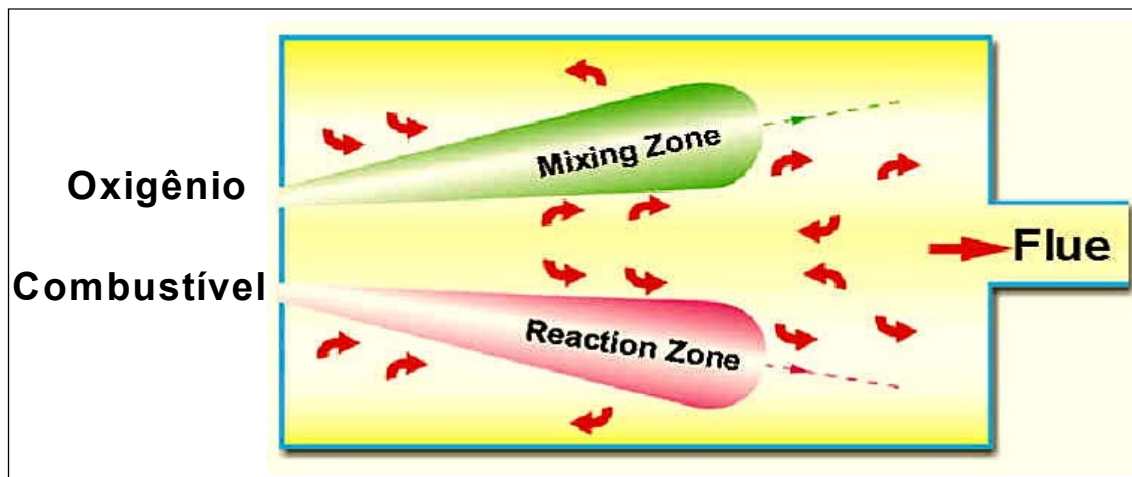
Em fornos com elevadas temperaturas dos gases de combustão, perdas de até 50% da energia do combustível podem ser observadas. Combustível adicional, além de dispendioso, representa aumento das emissões de CO₂.

Atualmente, como resultado da assinatura do protocolo de Kyoto, a redução de emissões de CO₂ vem criando valor para potenciais usuários de tecnologias óxi-combustíveis. O Protocolo de Kyoto reúne 35 países desenvolvidos que acordaram reduzir em 5% (com base nos dados de 1990) os níveis de emissões de gases causadores do efeito estufa entre os anos de 2008 e 2012. O Protocolo de Kyoto, também estabelece mecanismos flexíveis para baixar o custo de redução das emissões. Fundamentalmente, este mecanismo se aplica sobre certas indústrias em países desenvolvidos, que caso não consigam reduzir suas emissões até os níveis estabelecidos, podem comprar direitos de emissão (Créditos de Carbono) de empresas de países em desenvolvimento que investem em projetos desta natureza.

O sistema PRAXAIR Dilute Oxygen Combustion (DOC) é capaz de atender à essas demandas, gerando benefícios ambientais e operacionais aumentando a produtividade dos fornos.

2 DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

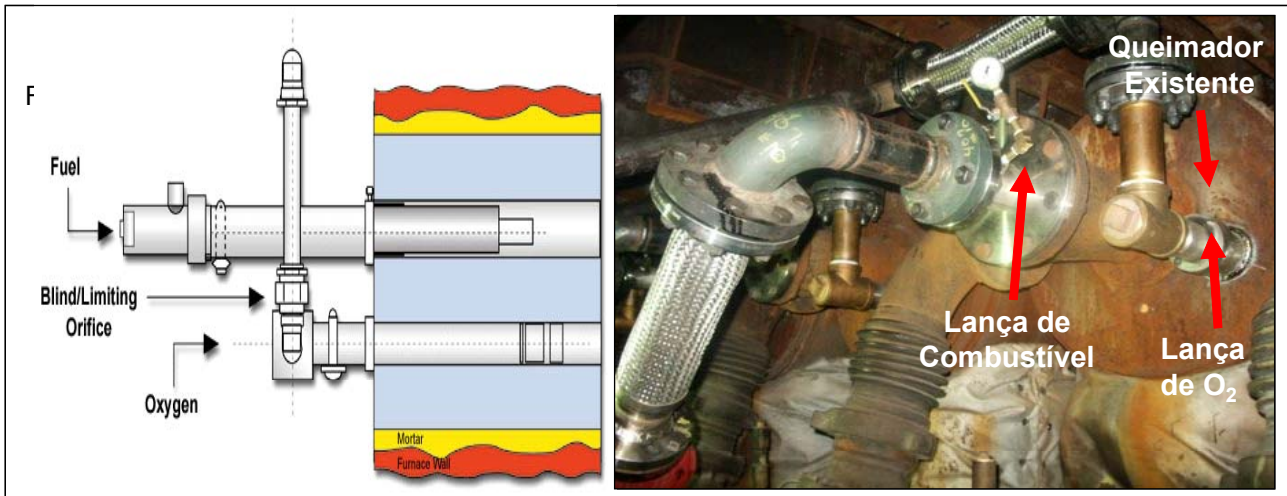
O sistema PRAXAIR Dilute Oxygen Combustion (DOC) consiste na injeção de um jato de oxigênio e outro de combustível, por meio de injetores separados. Os jatos, primeiramente, misturam-se com os gases do forno (por exemplo, com CO₂, H₂O e algum N₂ eventualmente presente) pela aspiração natural antes de reagirem entre si. Oxigênio e combustível então reagem, em concentrações bastante diluídas, mantendo a temperatura de pico da chama baixa. A Figura 1 descreve de forma esquemática o princípio do DOC.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 1. Princípio de Funcionamento do DOC Oxigênio e Combustível são injetados em alta velocidade separadamente. O Oxigênio fica diluído entre os gases do forno, tornando a reação de combustão mais uniforme em diferentes regiões.

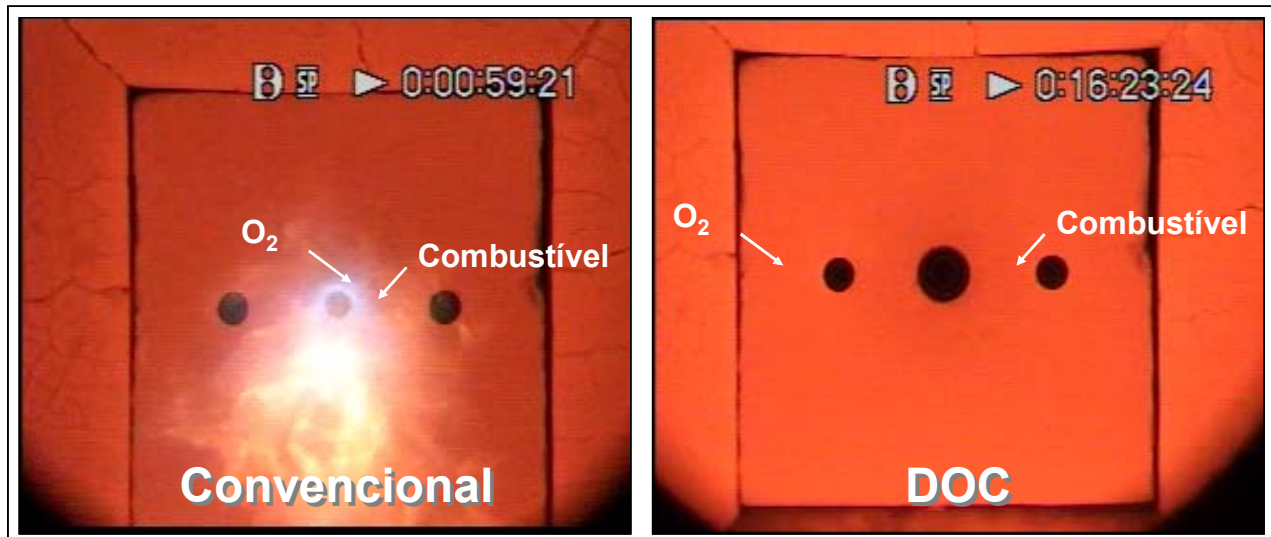
A instalação de um queimador *DOC* permite flexibilidade quanto ao modo de operação, permitindo que o queimador volte a ser operado no modo convencional, caso desejado, como mostra a Figura 2.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 2. Desenho e Instalação Comercial de um Queimador *DOC*

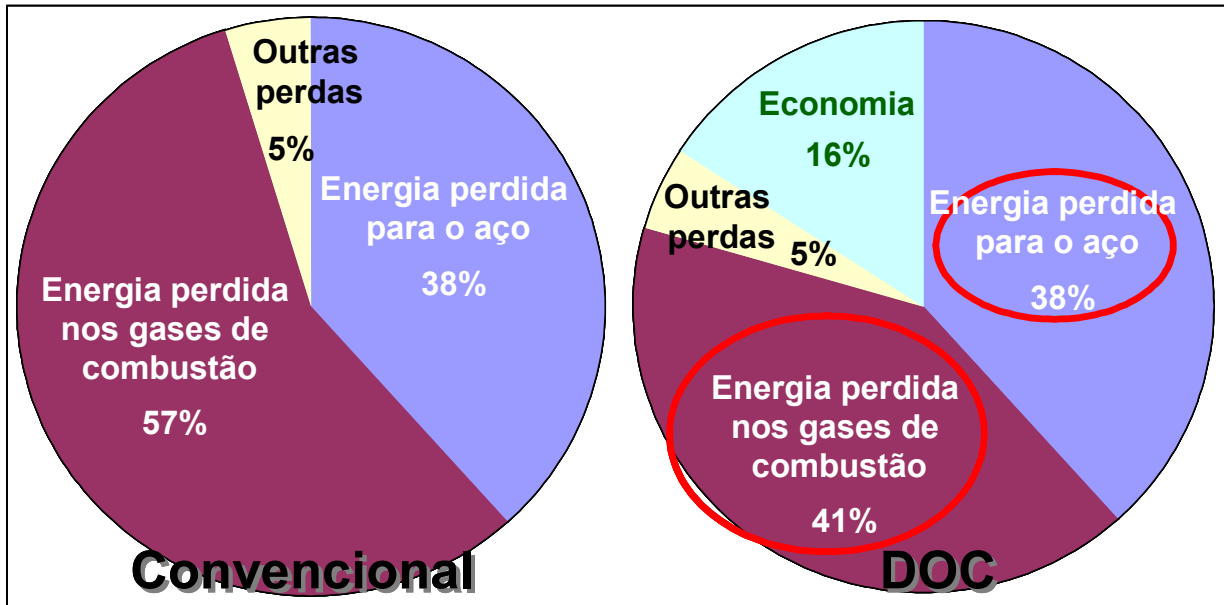
A combustão dentro do forno ocorre de uma maneira extremamente difusa, proporcionando um aquecimento mais uniforme do aço. Por esse motivo, a geração de NO_x também é mantida baixa neste processo. A Figura 3 mostra a comparação entre os queimadores convencionais e *DOC*.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 3. Queimador em Modo Convencional e *DOC*. Esquerda: queimador oxi-combustível operando em modo convencional - oxigênio e combustível injetados juntos e alta temperatura de pico de chama. Emissões de NO_x : 0,45-0,70 $\text{kg}/10^6$ kcal. Direita: Queimador operando em modo *DOC* - oxigênio e combustível injetados separadamente e baixa temperatura de pico de chama (a chama não é visível). Emissões de NO_x 0.005 $\text{kg}/10^6$ kcal.

Como o *DOC* é uma tecnologia óxi-combustível (emprega oxigênio na combustão), a perda de energia na combustão devido a troca de calor com o nitrogênio presente no ar é significativamente reduzida, gerando economia no consumo de combustível. Estas perdas, estão quantificadas na Figura 4.



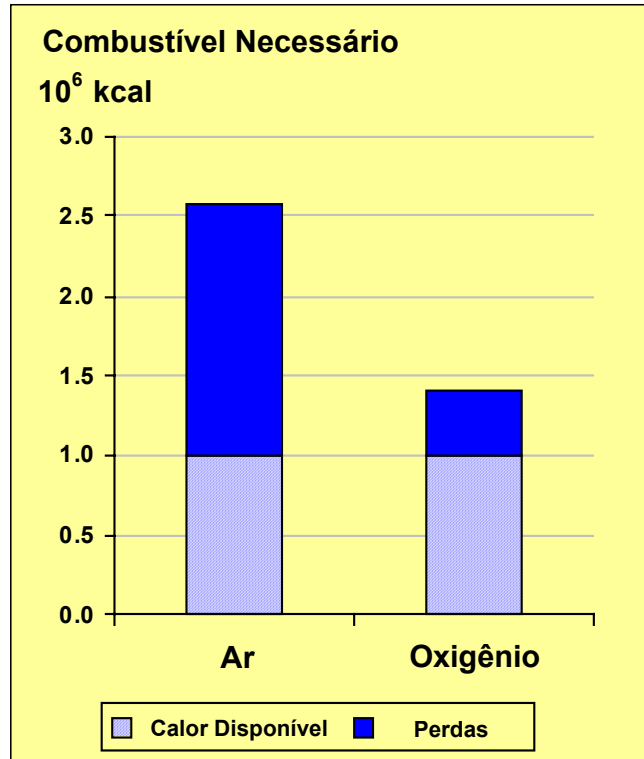
Fonte: Praxair Technology Center

Figura 4. Economia do *DOC* em Fornos Contínuos para Reaquecimento de Aço. Esquerda: forno com queimador modo convencional, ar/combustível - 0.480×10^6 kcal/t. Direita: forno com 33% da energia fornecida convertida para queimadores *DOC*, Oxigênio/combustível - 0.416×10^6 kcal/t.

2 BENEFÍCIOS DO QUEIMADOR *DOC*

2.1 Economia de Combustível

A economia de combustível, proporcionada pelo enriquecimento do oxidante com O_2 é um benefício imediato após a instalação de queimadores do tipo *DOC*. A economia situa-se entre 50% e 75% em relação ao modo convencional de operação (combustão entre ar e combustível). Os resultados de testes que comprovam esta economia encontram-se na Figura 5.

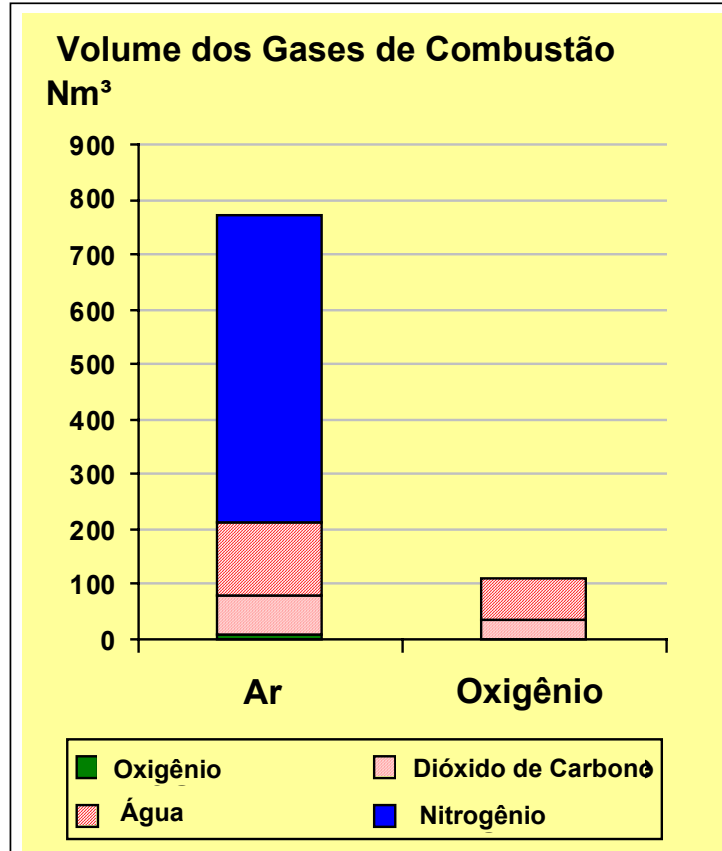


Fonte: Praxair Technology Center

Figura 5. Economia de Combustível Proporcionada pelo DOC. Economia de combustível (neste caso, metano) para gerar 1×10^6 kcal de calor disponível, considerando a temperatura do ar a $21,1^\circ\text{C}$ e dos gases de combustão a $1.148,9^\circ\text{C}$.

2.2 Redução no Volume dos Gases de Combustão e Eficiência

A eliminação do nitrogênio presente no ar devido ao enriquecimento do oxidante com O_2 reduz significativamente as perdas de energia para os gases de combustão, tornando o processo mais eficiente. Em comparação a um queimador convencional, o volume de gases de combustão gerado para fornecer uma mesma quantidade de energia pode ser reduzido em até 85%, conforme mostrado na Figura 6, que também indica a composição dos gases gerados.

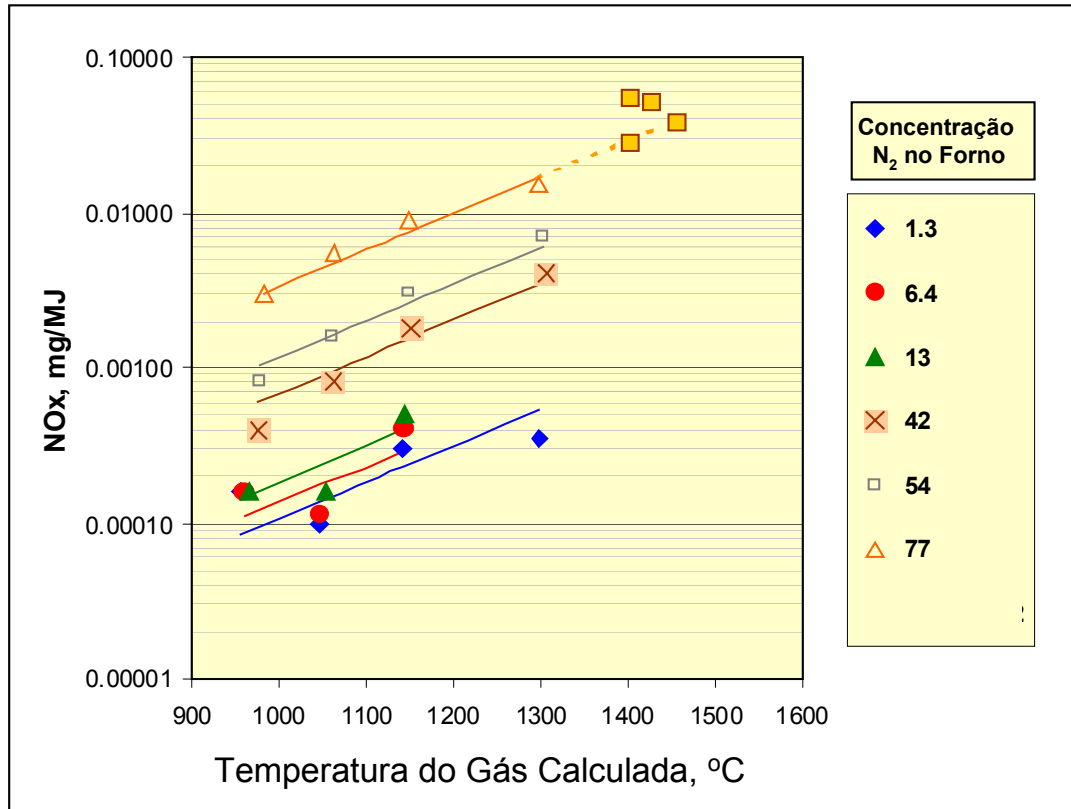


Fonte: Praxair Technology Center

Figura 6. Redução no Volume dos Gases de Combustão. Volume de gases gerados para a obtenção de 1×10^6 kcal de calor disponível na combustão de metano, considerando a temperatura do ar a 21,1°C e dos gases de combustão a 1.148,9°C.

2.3 Redução das Emissões de NO_x

A quantidade de nitrogênio reduzida no oxidante também proporciona a diminuição das emissões de NO_x como produto da queima. O fato da combustão no *DOC* ocorrer de maneira mais homogênea com mais baixa temperatura de pico de chama, também dificulta a formação de NO_x. Em queimadores convencionais, há regiões onde a temperatura de chama é bastante superior em relação às demais, tornando mais fácil a formação destes compostos, como mostrado na Figura 7.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 7. Formação de Compostos NO_x de Acordo com a Temperatura dos Gases

2.4 Redução nas Emissões de CO₂

Combustíveis fósseis emitem CO₂ em quantidade proporcional a sua utilização na queima. Como os Queimadores *DOC* promovem maior eficiência, a redução do uso de combustíveis fósseis torna-se viável. Quanto menos energia for suprida por combustíveis fósseis para a combustão, maior será a redução das emissões de CO₂ observadas. A Tabela 1 mostra os níveis de emissão observados para alguns combustíveis tipicamente usados pela indústria.

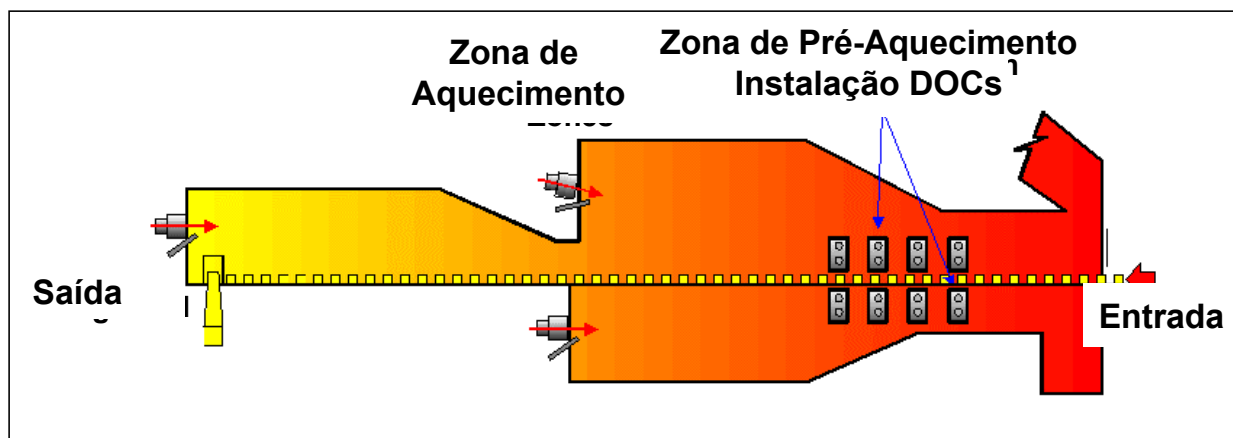
Tabela 1. Níveis de Emissões de CO₂ para Combustíveis Tipicamente Usados na Indústria

Combustível	Emissões (g CO ₂ /KJ)
Gás Natural	0.049
GLP	0.059
Diesel	0.069
Óleo Pesado	0.075
Coque de Petróleo	0.097

2.5 Exemplo de Aplicação do DOC

As características do forno e da operação estão listadas a seguir, e um desenho esquemático do forno encontra-se na Figura 8:

- ❑ Forno usado para reaquecimento de tarugos;
- ❑ Capacidade média de produção de 185 t/hr;
- ❑ Capacidade de fornecimento de energia do queimador Ar/Combustível – 240 MMBtu/hr;
- ❑ Capacidade de fornecimento de energia do queimador Oxigênio/Combustível – 165 MMBtu/hr;
- ❑ As transições entre os modos de operação (Ar/Combustível ou Oxigênio/Combustível) são realizadas de acordo com a demanda;



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 8. Desenho Esquemático do Forno

Benefícios obtidos com a aplicação do DOC:

- ❑ Aumento de 30% da produtividade do forno com mínimo incremento do volume dos gases de combustão;
 - ❑ Economia de combustível da ordem de 10%
 - ❑ Redução de custos da ordem de 3%
 - ❑ Não foram detectados impactos negativos na qualidade do aço
- ❑ Não houve aumento no consumo específico de combustível nem nas emissões de Nox por tonelada de aço produzida;
- ❑ Queima de acordo com a demanda minimiza os custos operacionais.
- ❑ Combustão uniforme ao longo do forno;
 - ❑ Menor desgaste dos refratários
 - ❑ Aquecimento mais uniforme do aço e diminuição do tempo de residência.

3 CONCLUSÕES

Os queimadores tipo *DOC* são uma alternativa para a redução de emissões de compostos NO_x e gases causadores do efeito estufa, como o CO_2 . Além dos benefícios ambientais, o *DOC* proporciona a redução da queima de combustíveis fósseis gerando significativas economias, principalmente com os elevados preços dos energéticos nos dias atuais.

Além destes benefícios, o *DOC* proporciona um aquecimento mais uniforme do aço, atribuindo melhorias na qualidade do produto. A maior eficiência do queimador diminui o tempo de residência do aço no forno, aumentando não somente a produtividade do forno, mas também dificultando a formação de óxidos.

O *DOC* é uma alternativa para gerar ganhos ambientais, econômicos e de qualidade do produto.