



Tecnologia para Fornos de Fusão de Vidro “*Oxygen Enhanced NOx Reduction*” (OENR)

Tasca A ⁽¹⁾., Pedel J⁽²⁾., Iyoha U.⁽²⁾, Zucca P.⁽³⁾

Glassman South America 2014

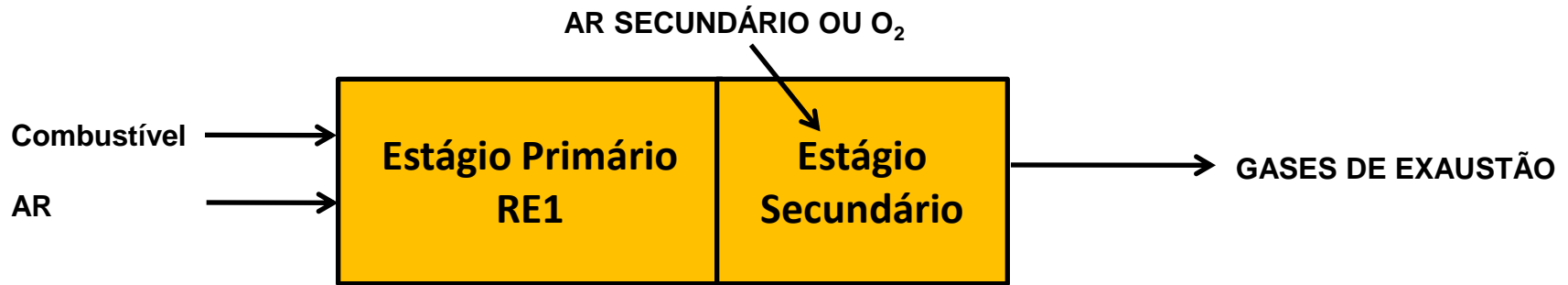
São Paulo, Brasil 12-13 Março 2014



- (1) White Martins Gases Industriais Ltda. (Brasil)
- (2) Praxair Inc. (EUA)
- (3) SIAD (Itália)

- **Plantas de produção de vidro estão enfrentando regulamentações mais rigorosas de emissões de NO_x, especialmente nos Estados Unidos e Europa.**
- **Na Europa, a BAT-AELs (Best Available Technology-Associated Emission Level) requer:**
 - **Embalagem: 500 - 800 mg/Nm³ (0,75 – 1,2 kg/mton)**
 - **Vidro Plano: 700 - 800 mg/Nm³ (1,75 – 2,0 kg/mton)**
- **A Praxair foi pioneira em tecnologias de oxi-combustão de ultra baixa emissão de NO_x para fornos industriais nos anos 80 e realizou dois grandes projetos de campo para redução de NO_x com a intensificação do uso de oxigênio (Oxygen Enhanced NO_x Reduction - “OENR”) em fornos regenerativos side port de fusão de vidro nos anos 90.**
- **A tecnologia OENR fornece uma alternativa para as técnicas convencionais de estagiamento para redução de NO_x, como estagiamento com ar frio, que pode resultar no aumento consumo de combustível no forno.**





(Data from Rue/Abbasi, IGT 1997)

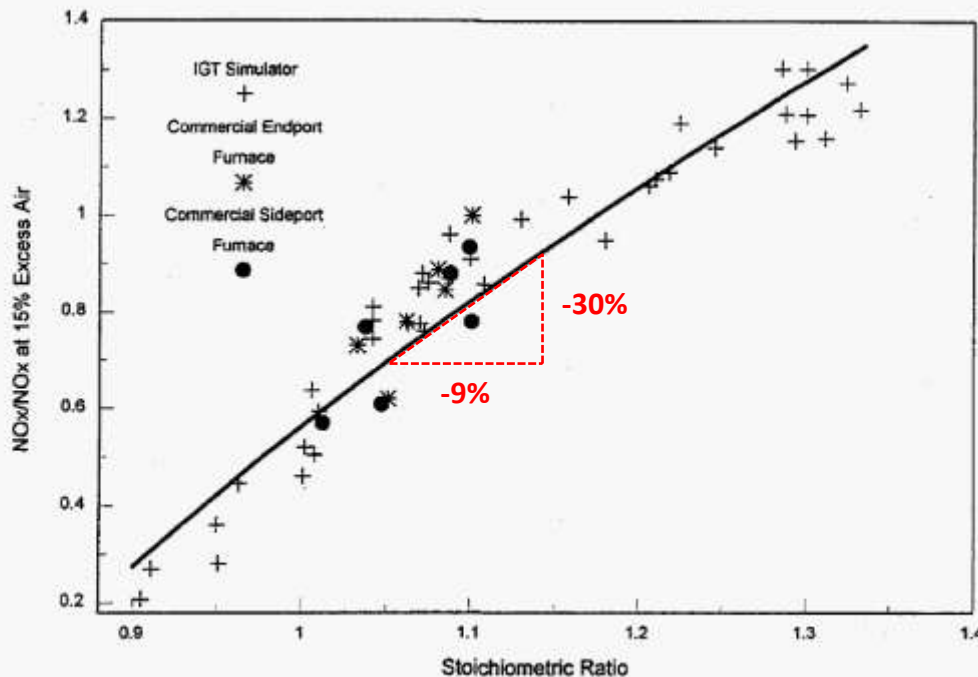
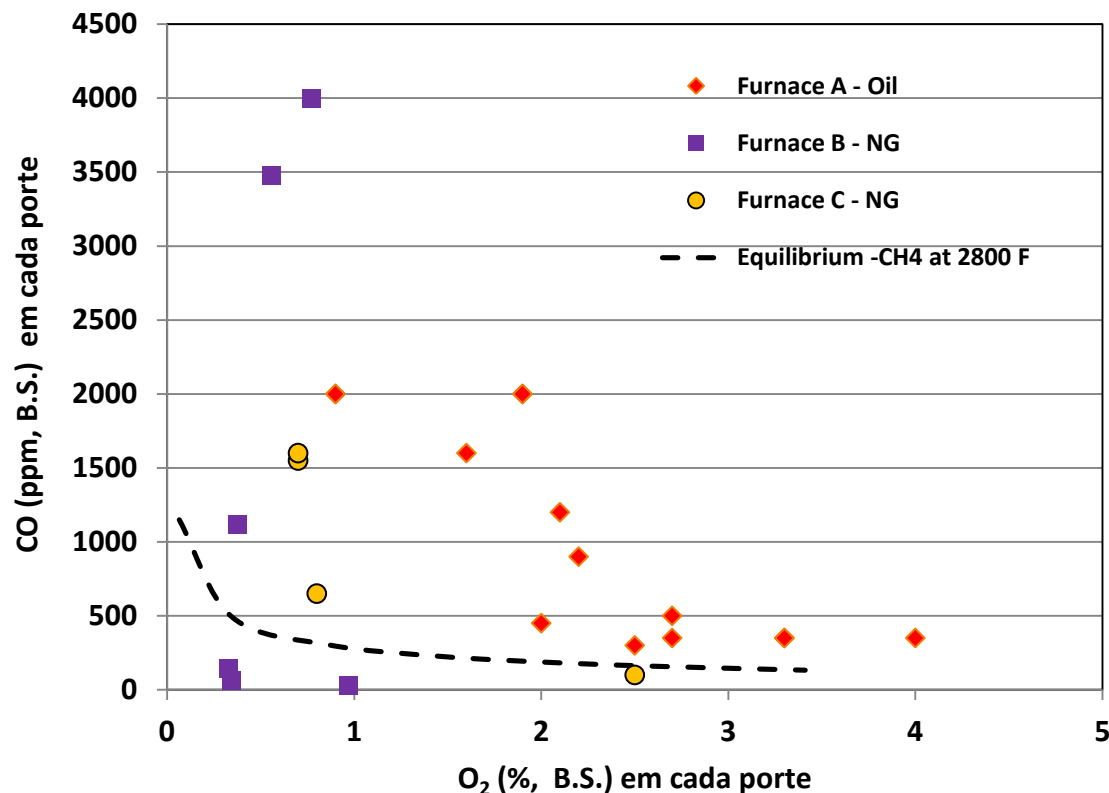


Figure 1. Effect of First-Stage Stoichiometric Ratio on NO_x Production

- A redução da relação estequiométrica (RE) da chama a ar é fator chave para redução de NO_x.
- Cerca de 30% de redução de NO_x é atingida reduzindo em 9% a RE da chama primária.
- Com a redução da RE da chama primária, emissões de CO ou atmosfera redutora sobre a superfície do vidro tornam-se um fator limitante para a redução de NO_x.

CO (ppm) vs. O₂ (% B.S.) nos Portes Exaustão



- Elevada emissão de CO torna-se fator limitante para redução de NO_x quando o ar primário é reduzido.
- CO encontra-se acima dos valores de equilíbrio e uma boa taxa de mistura no estágio secundário é necessário para operação com baixa emissão de NO_x.
- Um oxidante secundário é necessário para a queima do CO/H₂ residual sem elevação do NO_x.

Quatro opções de oxidante secundário que funcionam igualmente bem na teoria:

(1) Estagiamento apenas com O₂ (“OENR”)

- Equipamentos simples de configurar e fácil de ajustar a queima de CO/H₂.
- Redução no consumo de combustível, mas com custos de oxigênio.

(2) Ar Frio

- Simples, mas o grande volume de ar causa distúrbios na chama.
- Elevação no consumo de combustível já que ar quente é substituído por ar frio.
- Temperatura de pré-aquecimento do ar é elevada devido a redução do volume de ar no regenerador.

(3) Estagiamento com ar enriquecido com O₂

- Proporciona flexibilidade adicional para a penetração do oxidante secundário e mistura.
- Equipamentos mais complexos, requerendo ambos ar e O₂.
- Aumento consumo de combustível, impacto na performance dos regeneradores.

(4) Ar Quente

- Complexidade de equipamentos e preocupações com manutenção
- Grande volume de ar e distúrbios na chama.

Programa de Demonstração OENR

Forno Vidro Float de Sete Portes (1997-1998)

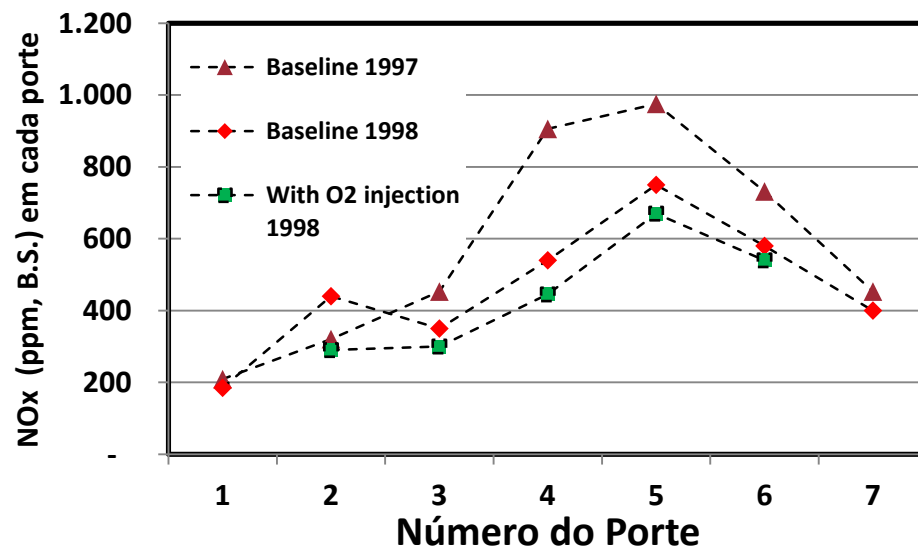
- A condição *baseline* de NOx (originalmente ~1200 mg/Nm³) foi otimizada antes dos testes com OENR pelo ajuste das vazões de ar em cada porte e pela otimização dos injetores de óleo.
- Injeção de oxigênio sob o porte.
- Teste #1 com OENR nos #4 e #5portes, de maior NOx.
- Teste #2 com OENR portes #3, #4, #5 e #6

Extração: 600 tpd
 Combustível: Óleo
 Taxa de caco: 21%



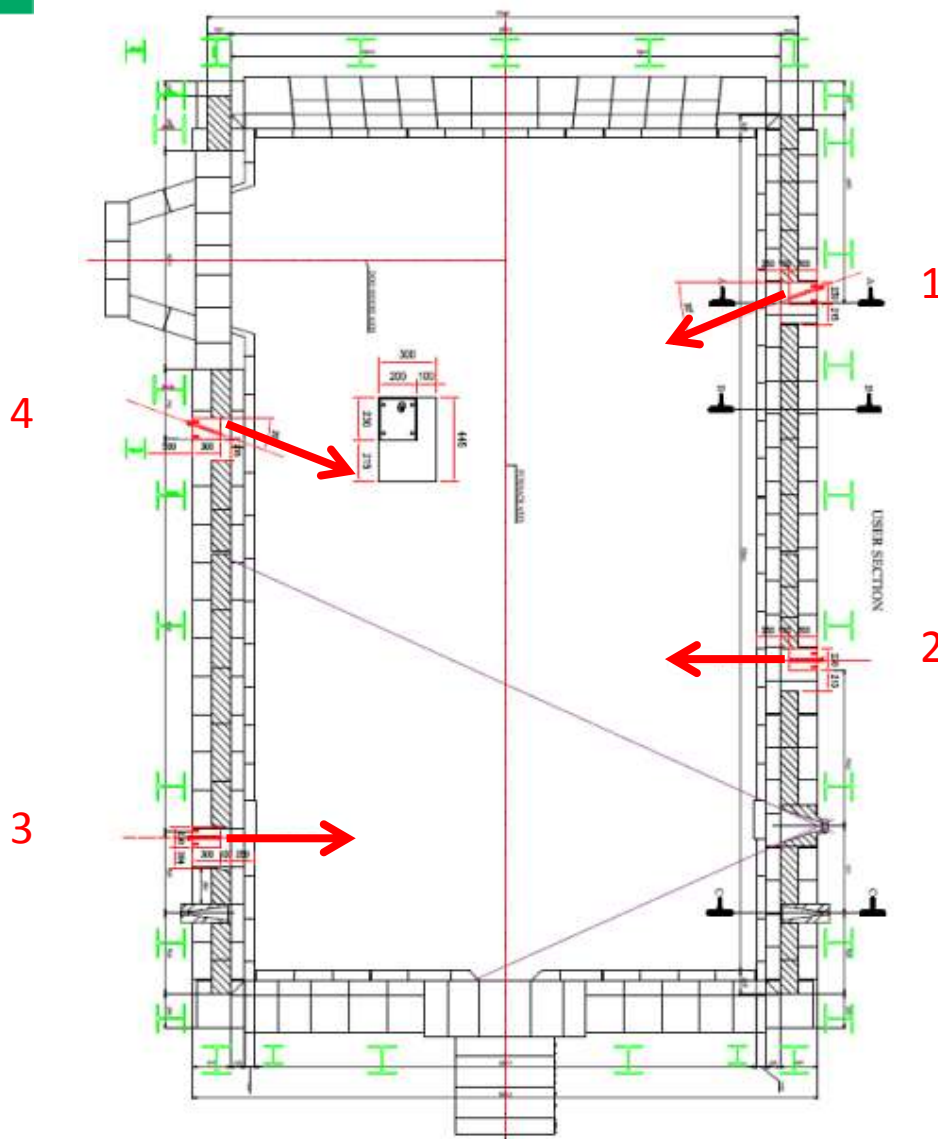
Teste		NOx -chaminé (mg/Nm ³ @ 8% O ₂)	CO na chaminé (ppm)	CO nos portes (ppm)
Teste 1	Baseline	510	< 100	500 - 3000
	OENR (2 portes)	490	< 100	100 -300
Teste 2	Baseline	480	< 100	
	OENR (4 portes)	380	< 100	

=> Emissão NOx reduzida em 20% e abaixo de 400 mg/Nm³ com OENR

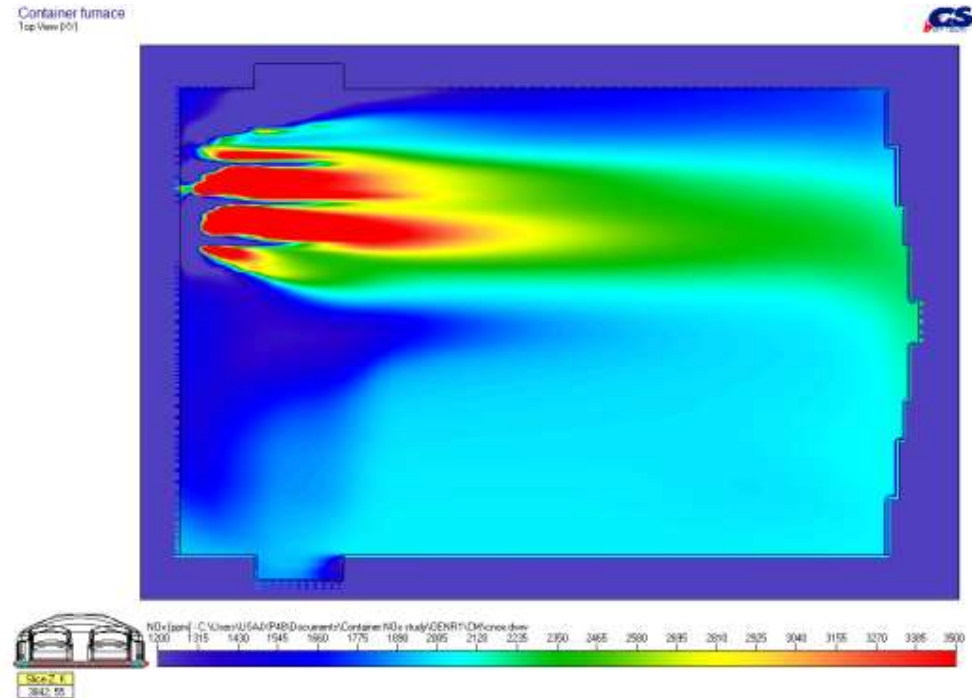


- Em 1989, o cliente se deparou com nova norma, mais restritiva, de emissão de NOx de 5,5 lb/ston para 4,0 lb/ston (de 2,8 para 2,0 kg/mton)
- **Quatro diferentes métodos de redução de NOx foram testados:**
 - Redução da Temperatura do ar
 - Estagiamento com ar frio
 - Estagiamento com oxigênio
 - Substituição parcial da queima com ar pelos portes por queimadores oxi-combustível Praxair tipo L, de ultra baixa taxa de emissão de NOx.
- **Estagiamento com oxigênio foi o método mais econômico (consumo de apenas 1,5 a 2,0 tpd O₂) e foi adotado.**
- **Resultados de redução de NOx com estagiamento com oxigênio:**
 - 5% de estagiamento com O₂ (excesso de ar primário reduzido em 5%)
 - O₂ injetado pelo porte para queima de CO
 - **Redução de NOx de 33% para 3,7 lb/ston (1,9 kg/mton)**
 - Chamas mais longas sem observável elevação de temperatura na parede oposta.

- Em 2013, um cliente testou a tecnologia OENR para se adequar a futura legislação de emissão de NO_x.
- Vidro soda-cal, sem apoio elétrico, extração entre 50 e 80 TPD.
- A Praxair em colaboração com a SIAD participaram dos testes de campo.
- Diversas configurações de injeção de O₂ foram avaliadas:
 - 1 & 4 lado de queima
 - 2 & 3 lado de queima
 - 1 & 4 lado exaustão
 - 2 & 3 lado exaustão



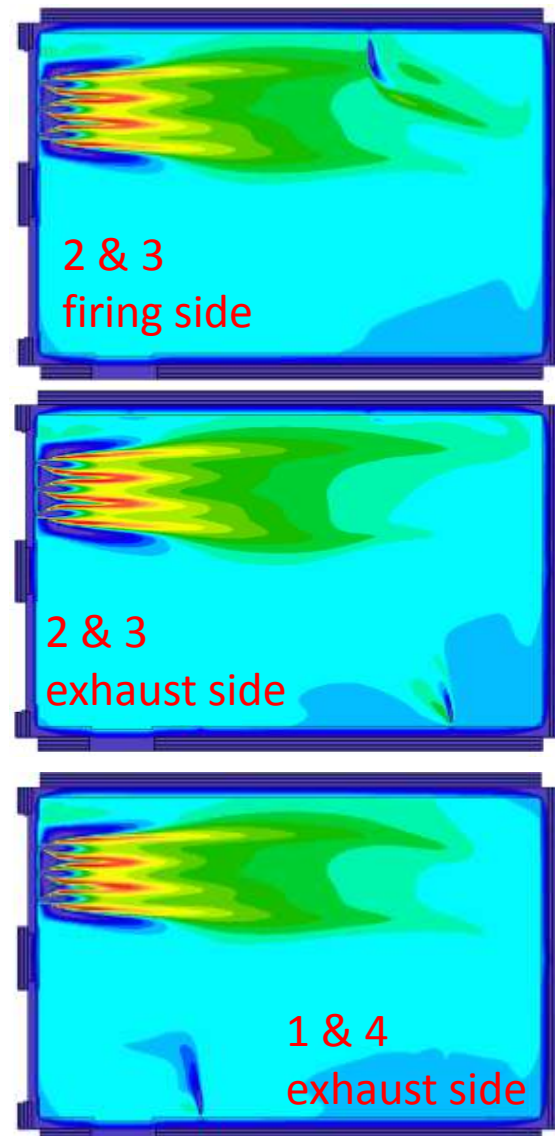
- Otimização da injeção de O_2 (localização, angulo, vazão, velocidade, etc...)
- Previsão da redução de NO_x e queima de CO
- Manutenção das condições de oxidação sobre a superfície do vidro
- Controle da temperatura da abóbada
- Previsão dos efeitos nos regeneradores e temperatura de pré-aquecimento do ar
- Previsão de alterações na eficiência de trocas térmicas
- Otimização do queimador



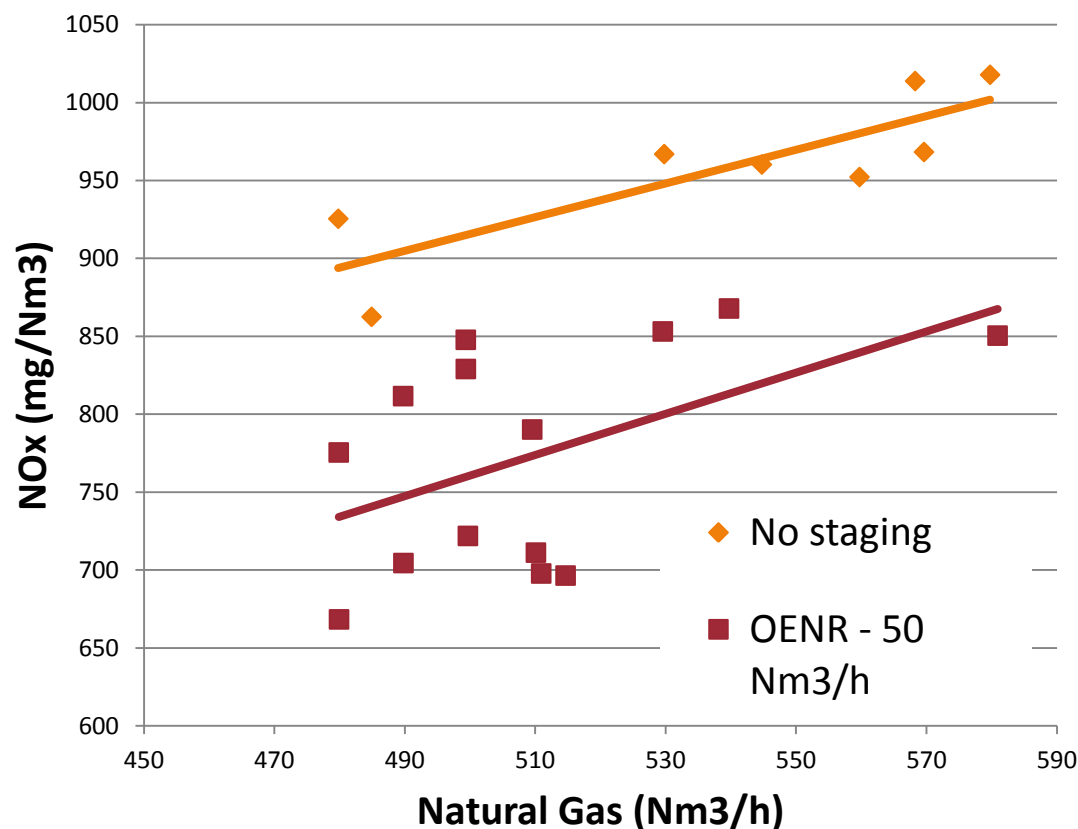
Concentração de NO_x

- Estudos CFD para diferentes localizações de injeção de oxigênio, angulos e velocidades, 5 a 10% de estagiamento de O_2 .
- Oxigênio injetado no lado de queima reage com combustível não queimado criando NO_x adicional.
- Injeção de oxigênio no lado da exaustão efetivamente reduz a emissão de NO_x :
 - Reação mínima com combustível não queimado
 - Pequena elevação da temperatura
 - Quantidade limitada de formação de NO_x devida a injeção de oxigênio
- Oxigênio injetado próximo a parede traseira, lado oposto da chama (1 & 4 lado exaustão) fornece os melhores resultados.
- A configuração “1 & 4 lado da exaustão” não pode ser testada devido ao cliente necessitar manter condições oxidantes sobre a superfícies do vidro.
- Melhor configuração factível foi a 2 & 3 no lado da exaustão.

Temperatura Gases



Injeção de O₂ nas posições 2 & 3 no lado da exaustão



Dados Reportados pelo Cliente:

- O₂ : 50 Nm³/h (1,7 TPD)
- Redução NOx: 10 a 28%
- Redução no Consumo de Combustível: 2 a 3%
- Melhor distribuição de temperatura no forno
- Maior facilidade em gerenciar mudanças de extração
- Sem alteração na cor do vidro
- Menor seed count

Maior Redução de NOx possível, de acordo com o CFD, nas localizações 1 & 4

- A tecnologia Praxair *Oxygen Enhanced NOx Reduction* pode reduzir as emissões de NOx de 15 a 50%.
- OENR oferece uma alternativa técnica competitiva frente a tecnologia convencional de estagiamento com ar para redução de NOx.
- Para otimização de benefícios, a Praxair disponibiliza grande experiência, diversas patentes e capacitação em modelagem.
- Benefícios OENR:
 - Mínima perturbação da chama
 - Redução no consumo de combustível
 - Fácil de ser implementada
 - Baixo custo de investimento e operacional

***Muito obrigado pela
atenção!!***

