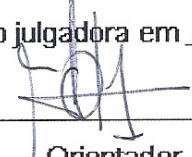


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Estudo Experimental Sobre Recuperação de Óleo Pesado Através da Combustão *In-Situ*

Autora: Andrea Maiumi Chicuta
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Vidal Trevisan

09/2009

Este exemplar corresponde à redação final	
da tese defendida por	<u>Andrea Maiumi Chicuta</u>
	aprovada
pela comissão julgadora em	<u>25/09/09</u>
	
Orientador	

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Estudo Experimental Sobre Recuperação de Óleo Pesado através da Combustão *In-Situ*

Autora: **Andrea Maiumi Chicuta**
Orientador: **Prof. Dr. Osvair Vidal Trevisan**

Curso: Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo
Área de Concentração: AB – Reservatórios e Gestão

Dissertação de mestrado apresentada à Subcomissão de Pós-Graduação Interunidades do Programa Ciências e Engenharia de Petróleo (FEM e IG), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo.

Campinas, 2009
SP – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C433e Chicuta, Andrea Maiumi
Estudo experimental sobre recuperação de óleo
pesado através da combustão in-situ / Andrea Maiumi
Chicuta. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Osvaldo Vidal Trevisan.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica e
Instituto de Geociências.

1. Combustão. 2. Petróleo pesados. 3. Recuperação
térmica do petróleo. 4. Engenharia de reservatório de
óleo. 5. Engenharia de petróleo. I. Trevisan, Osvaldo
Vidal. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de
Geociências. III. Título.

Título em Inglês: Experimental study of heavy oil recovery through in-situ
combustion

Palavras-chave em Inglês: Combustion, Heavy petroleum, Thermal oil recovery,
Engineering sump, Petroleum engineering

Área de concentração: Reservatórios e Gestão

Titulação: Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo

Banca examinadora: Paulo Sérgio de Mello Vieira Rocha, Rosângela Barros
Zanoni Lopes Moreno

Data da defesa: 25/09/2009

Programa de Pós Graduação: Ciências e Engenharia de Petróleo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

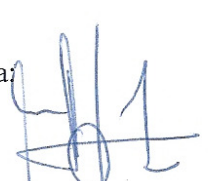
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Estudo Experimental Sobre Recuperação de
Óleo Pesado Através da Combustão *In-Situ***

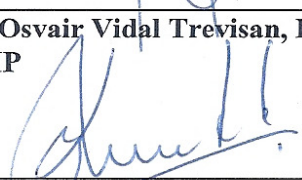
Autora: **Andrea Maiumi Chicuta**

Orientador: **Prof. Dr. Osvalir Vidal Trevisan**

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Osvalir Vidal Trevisan, Presidente
UNICAMP



Prof. Dr. Paulo Sérgio de Mello Vieira Rocha
PETROBRAS



Profª. Dra. Rosângela Barros Zanoni Lopes Moreno
UNICAMP

Campinas, 25 de Setembro de 2009

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha irmã que sempre me apoiaram e incentivaram em todas as decisões da minha vida.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Osvald Trevisan pela orientação, paciência, dedicação e incentivo, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Expresso também os meus agradecimentos às seguintes pessoas que contribuíram para a execução deste trabalho:

Ao professor Euclides José Bonet pelas sugestões e contribuições ao longo deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Leandro Augusto Fernandes, Luiz Benedicto Pompeo Neto e principalmente Washington Carlton Botine sem a ajuda dos quais não teria sido realizado os ensaios experimentais.

Aos professores, funcionários e estagiários do Departamento de Engenharia de Petróleo

Ao Departamento de Engenharia de Petróleo (DEP/FEM/UNICAMP) pela infraestrutura disponibilizada para o trabalho. E a ANP pela bolsa concedida.

E aos amigos da EQ (Paula, Renata, Tati, Danilo e Daniel) que me ajudam desde sempre. E aos amigos Mauro Ida e Nilo Kim, pela ajuda com a preparação das apresentações e revisões e pela paciência com as minhas reclamações.

“Não se pode criar experiência. É preciso passar por ela.”
Albert Camus

Resumo

CHICUTA, Andrea Maiumi, Estudo Experimental Sobre Recuperação de Óleo Pesado Através da Combustão In-Situ: Faculdade de Engenharia Mecânica/Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 131 p. Dissertação de Mestrado.

Este trabalho foca a recuperação melhorada de petróleo através da técnica conhecida como combustão *in-situ*. Ensaios experimentais foram realizados com óleo pesado de 12,8°API procedente de um campo *onshore* no Brasil a fim de avaliar a influência da argila no meio poroso com saturações iniciais de óleo variando de 25 a 50%. O aparato experimental utilizado consiste em: sistema de injeção de fluido, tubo de combustão, sistema de produção de fluidos, sistema de análise gasosa e gasômetro, e sistema de aquisição e análise de dados. Os resultados experimentais obtidos mostram que o fenômeno da combustão é possível para o óleo e a rocha testados. Além disto, estes testes fornecem parâmetros importantes que indicam a ocorrência de reações de oxidação. A argila tem um papel fundamental na deposição de combustível e conseqüentemente na propagação da frente de combustão. Na ausência de argila no meio poroso a frente não foi sustentada, enquanto que na sua presença foi obtido um comportamento da frente de combustão estável. Já o aumento da saturação de óleo ocasionou um maior depósito de combustível. Temperaturas entre 457 à 501°C foram obtidas na frente de combustão e fator de recuperação de óleo acima de 84%. Verificou-se que as velocidades da frente de combustão variaram entre 14,1 a 18,3 cm/h. Além disto, uma melhora na qualidade do óleo entre 3,2° a 8,4°API foi observada no óleo produzido. Os parâmetros básicos da combustão – consumo de combustível, ar requerido, razão ar/combustível, razão atômica de H/C, utilização de O₂ – obtidos durante os experimentos são favoráveis à implantação do método de combustão *in-situ* e devem servir de guia para o projeto piloto de campo.

Palavras-chave

-Combustão *In-Situ*, Recuperação de Óleo Pesado, Método Térmico.

Abstract

CHICUTA, Andrea Maiumi, Experimental Study about Heavy Oil Recovery through In-Situ Combustion: Faculdade de Engenharia Mecânica/Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 131 p. Dissertação de Mestrado.

The present work refers to an experimental study on oil recovery by in-situ combustion. Experimental tests were performed with a heavy oil of 12.8°API from a Brazilian onshore field with the main purpose to survey the influence of clay content in the reservoir rock with initial oil saturations ranging from 25 to 50%. A specific apparatus used can be described in: gas injection system, combustion tube, fluid production system, gas analysis system and control and data recording system. The results indicate that the in-situ combustion method is technically applicable to the rock-fluid system tested. Moreover, the tests were useful in providing the proper range of parameters for the oxidation reactions to occur. Clay has proved to play a key role on fuel deposition and, consequently, on propagation of the combustion front. In a clean sand rock medium, the combustion front was not self-sustained, while with its presence sustainable combustion reactions were achieved. And the increase in oil saturation resulted in a greater fuel deposition. Front peak temperatures were recorded in the range of 457 – 501 °C for oil recovery factors greater than 84%. Results show combustion front velocities to span between 14.1 to 18.3 cm/h. Worth mentioning, upgradings of 3.2° to 8.4° API were observed in the produced oil. The basic combustion parameters - fuel consumption, air requirement, air-fuel ratio, atomic H/C ratio, oxygen utilization - obtained during the experiments are favorable to the implementation of in-situ combustion and shall be used as a guide to the pilot project planned for the field.

Key Words

-In-Situ Combustion, Heavy Oil Recovery, Thermal Method.

Índice

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas.....	xxi
Nomenclatura	xxiii
Capítulo 1 Introdução	1
Capítulo 2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Métodos Térmicos	5
2.2 Combustão <i>In-Situ</i>	7
2.3 Zonas de Combustão e Perfil de Temperatura.....	10
2.4 Tipos de Combustão	13
2.5 Reações Químicas.....	15
2.6 Tubo de Combustão.....	17
Capítulo 3 Revisão Bibliográfica	19
Capítulo 4 Materiais e Métodos	25
4.1 Aparato Experimental.....	26
4.1.1 Sistema de Injeção de Ar.....	31
4.1.2 Tubo de Combustão e Jaqueta de Vácuo	31
4.1.3 Sistema de Produção de Fluido	35
4.1.4 Cromatografia Gasosa e Gasômetro.....	37
4.1.5 Aquisição de Dados.....	39
4.2 Procedimentos Experimentais	40
Capítulo 5 Resultados e Discussões.....	47
5.1. Ensaio experimental 1	48
5.2. Ensaio experimental 2	53
5.3. Ensaio experimental 3	64

5.4. Ensaio experimental 4	74
5.5. Comparação dos Resultados.....	83
Capítulo 6 Conclusões	91
Referências Bibliográficas	93
Apêndice A – Parâmetros obtidos de ensaios em um Tubo de Combustão.....	97
Apêndice B – Dados experimentais.....	100

Lista de Figuras

Figura 1. Gráfico da relação Viscosidade/Temperatura de Óleos Pesados (Donaldson <i>et al</i> , 1989).....	6
Figura 2. Esquema do processo de combustão in-situ (Alberta Research Council, 2006)	8
Figura 3. Perfil de Temperatura e Saturação e as várias zonas formadas durante a combustão seca direta (Wu e Fulton, 1971)	11
Figura 4. Esquema do perfil de temperatura – Combustão seca (Sarathi, 1998)	14
Figura 5. Esquema do perfil de temperatura – Combustão úmida (Sarathi, 1998).....	14
Figura 6. Esquema da montagem experimental de combustão in-situ.....	28
Figura 7. Vista frontal do equipamento.....	29
Figura 8. Vista posterior do equipamento	30
Figura 9. Controlador de fluxo mássico.....	31
Figura 10. Tubo de combustão.....	32
Figura 11. Esquema com localização da sonda fixa e móvel.....	33
Figura 12. Jaqueta de vácuo	34
Figura 13. Sistema de produção de fluido.....	36
Figura 14: Coluna de permanganato de potássio	36
Figura 15. Gasômetro	37
Figura 16. Cromatógrafo	38
Figura 17. Cromatograma obtido durante análise do gás efluente.....	39
Figura 18. Interface do programa Elipse Scada	40
Figura 19. Óleo.....	42
Figura 20. Areia limpa	42
Figura 21. Mistura de areia, argila, água e óleo	42
Figura 22. Centrífuga	44
Figura 23. Aparelho de Karl Fischer.....	44

Figura 24. Aparato Dean-Stark	45
Figura 25. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 1	49
Figura 26. Histórico de temperatura em diversas posições – Experimento 1	49
Figura 27: Fluido produzido durante o experimento 1.....	51
Figura 28. Areia presente nos 17,5 cm iniciais do tubo	51
Figura 29. Pedacos de coque formados durante Experimento 1	52
Figura 30. Mistura de areia, óleo e água contida no restante do tubo.....	52
Figura 31. Perfis de temperatura no centro e lateral do tubo - Experimento 1	53
Figura 32. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 2	54
Figura 33. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 2	55
Figura 34. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 2.....	55
Figura 35. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 2	56
Figura 36. Produção de gás – Experimento 2	56
Figura 37. Composição do gás efluente – Experimento 2	57
Figura 38. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2	58
Figura 39. Histórico da produção de fluidos – Experimento 2	62
Figura 40. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 2	63
Figura 41. Seqüência de fluidos produzidos durante o experimento 2 com o respectivo tempo de produção	63
Figura 42. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 2 .	64
Figura 43. Seqüência da areia presente no tubo de combustão com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 2.....	64
Figura 44. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 3	65
Figura 45. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 3	66
Figura 46. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 3.....	66
Figura 47. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 3	67
Figura 48. Produção de gás – Experimento 3	68
Figura 49. Composição do gás efluente – Experimento 3	69
Figura 50. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2 – Experimento 3	70
Figura 51. Histórico da produção de fluidos – Experimento 3	72
Figura 52. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 3	72

Figura 53. Seqüência de fluidos produzidos durante o experimento 3 com o respectivo tempo de produção	73
Figura 54. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 3 ..	73
Figura 55. Seqüência da areia presente no tubo de combustão após o experimento com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 3	73
Figura 56. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 4	75
Figura 57. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 4	75
Figura 58. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 4.....	76
Figura 59. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 4	77
Figura 60. Produção de gás – Experimento 4	78
Figura 61. Composição do gás efluente – Experimento 4	79
Figura 62. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2 – Experimento 4	80
Figura 63. Histórico da produção de fluidos – Experimento 4	81
Figura 64. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 4	82
Figura 65. Seqüência de fluidos produzidos durante o experimento 4 com o respectivo tempo de produção	82
Figura 66. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 4 ..	83
Figura 67. Seqüência da areia presente no tubo de combustão com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 4.....	83
Figura 68. Comparação da velocidade da frente de combustão durante os ensaios 2, 3 e 4.....	84
Figura 69. Comparação da temperatura da frente de combustão durante os ensaios 2, 3 e 4.....	84
Figura 70. Comparação da produção de óleo durante os ensaios 2, 3 e 4.....	85
Figura 71. Comparação da recuperação de óleo durante os ensaios 2, 3 e 4	85
Figura 72. Comparação da composição média dos gases efluentes durante os ensaios 2, 3 e 4....	86

Lista de Tabelas

Tabela 1. Composição em porcentagem mássica da mistura utilizada no preenchimento do tubo de combustão.....	25
Tabela 2. Equipamentos utilizados na parte experimental.....	27
Tabela 3. Condições operacionais utilizadas na cromatografia gasosa (CG-90/DCT).....	38
Tabela 4. Propriedades do óleo (Pereira, 2008)	41
Tabela 5. Viscosidade absoluta e densidade conforme temperatura (Pereira, 2008).....	41
Tabela 6. Propriedades da rocha do reservatório	41
Tabela 7. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 1.....	50
Tabela 8. Análise cromatográfica dos gases - Experimento2	57
Tabela 9. Resumo dos parâmetros da combustão in-situ – Experimento 2.....	58
Tabela 10. Comparação entre dados da literatura dos parâmetros da combustão in-situ e dados deste trabalho.....	60
Tabela 11. Condições experimentais de ensaios realizados por Rodriguez (2004) e Mamora (1993)	61
Tabela 12. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 2	61
Tabela 13. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 3.....	68
Tabela 14. Resumo dos parâmetros da combustão in-situ – Experimento 3	71
Tabela 15. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 3	71
Tabela 16. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 4.....	78
Tabela 17. Resumo dos parâmetros da combustão in-situ – Experimento 4	80
Tabela 18. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 4	81
Tabela 19. Sumário com a média dos dados obtidos durante os experimentos 2, 3 e 4	87

Nomenclatura

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

COFCAW – Injeção de ar e água simultaneamente ou alternadamente (do inglês *Combination of Forward Combustion and Water*)

EOR – Método de recuperação avançada de petróleo (do inglês *Enhanced Oil Recovery*)

FR – Fator de recuperação (%)

H₂ – Hidrogênio

H₂O - Água

H / C – Razão atômica de hidrogênio por carbono

HTO – Oxidação a alta temperatura (do inglês *High Temperature Oxidation*)

LTO – Oxidação a baixa temperatura (do inglês *Low Temperature Oxidation*)

N₂ – Nitrogênio

O₂ – Oxigênio

OOIP – Original oil in place

Sg - Saturação de gás (%)

So – Saturação de óleo (%)

Sw – Saturação de água (%)

Φ – Porosidade (%)

Capítulo 1

Introdução

Com o aumento da demanda por petróleo, as reservas de óleo leve tendem a diminuir, tornando imprescindível a exploração dos chamados óleos pesados, que são aqueles com grau API menor que 19 e altas viscosidade e densidade, cujas características tornam a sua extração cara e complexa.

Reservas de óleos pesados estão presentes em vários países, com um volume total da ordem de 8 trilhões de barris *in situ*. As maiores acumulações estão no Canadá (3 trilhões de barris) e Venezuela (2 trilhões de barris) (Farouq Ali, 2002). No Brasil, o volume de óleo pesado e viscoso descobertos pela Petrobras nos últimos anos nas bacias de Campos e de Santos já ultrapassa 15 bilhões de barris. A maior parte deste óleo encontra-se em lâmina d'água acima de 1000 m. Devido a esta dificuldade, novas tecnologias devem ser desenvolvidas para fazer frente a estas peculiaridades e maximizar as produções e recuperações deste tipo de óleo (Petrobras, 2007).

Os mecanismos de recuperação primária, de liberação do gás em solução, contração da formação e expansão dos líquidos, não são eficientes na recuperação de óleos pesados. Estes mecanismos fornecem uma baixa taxa de recuperação de óleo e a pressão do reservatório decai rapidamente. Assim, para a exploração de óleos pesados, os mecanismos de recuperação secundários e terciários são freqüentemente utilizados. Nestes mecanismos, o petróleo é produzido de forma assistida por outras fontes de energia e/ou efeitos físicos, químicos e biológicos.

Entre os mecanismo de recuperação terciária, destacam-se os métodos térmicos que consistem principalmente na injeção de vapor e na combustão *in-situ*. A combustão *in-situ* é o

método mais antigo de recuperação térmica de óleo e o mais eficiente energeticamente (Sarathi, 1998; Castanier *et al.*, 1992). Este método consiste na queima de parte do próprio óleo do reservatório, criando-se uma onda de calor. À medida que esta onda avança dentro do reservatório, o calor se dissipa e a viscosidade do óleo diminui, aumentando sua mobilidade (Carcoana, 1992).

A vantagem da combustão *in-situ*, comparada aos outros métodos térmicos de recuperação, recai principalmente no fato de que o calor é gerado no interior do reservatório. Assim, não ocorre perda de calor no poço e superfície durante a injeção de fluidos. Além disto, isto permite a aplicação deste método de recuperação em reservatórios mais profundos do que é possível com o uso de vapor, quando o calor é gerado na superfície e percorre o poço injetor até o reservatório. Assim, a combustão *in-situ* apresenta maior eficiência térmica. Apresenta ainda melhor recuperação de óleo e menor impacto ambiental, conforme registra a literatura (Rodriguez, 2004; Xia e Greaves, 2001).

A combustão *in-situ* tem se mostrado viável econômica e tecnicamente, uma vez que a injeção do ar comburente pode ser facilmente realizada através do *riser* até o poço. Este método já foi utilizado durante algum tempo em alguns campos produtores nos EUA com grande êxito (Carcoana, 1992), porém ainda é um método carente de melhor embasamento científico, e pouco ainda se sabe sobre como controlar o processo e como obter um melhor desempenho.

Os experimentos em laboratório com tubos e células de combustão são fundamentais para analisar o processo de combustão *in-situ*. Estes experimentos são mais rápidos e têm um custo menor, comparado aos experimentos de campo, porém, a interpretação e o escalonamento dos problemas ainda não são totalmente dominados. A literatura aponta que tais experimentos são mandatórios, antes da condução de projetos em campo (Moore, 1994).

Assim, o objetivo do presente trabalho é a de buscar melhorar o entendimento dos processos envolvidos na utilização desta técnica através de ensaios em um tubo de combustão e tem aqui o caráter de uma avaliação exploratória. Através de um estudo experimental realizado com óleo de 12,8°API, procedente de um campo *onshore* do Brasil, e areia com granulometria de 60-80 *mesh* o processo de combustão *in-situ* é analisado sob diferentes condições do meio poroso e saturação inicial de óleo variando entre 25 - 50%. E a partir desses ensaios analisar o

comportamento da frente de combustão e obter parâmetros importantes para o desenvolvimento de projetos. As seguintes condições operacionais foram mantidas constantes: taxa de injeção de ar de 3 l/min, pressão de produção de 10 bar e temperatura inicial de 51°C. A escolha do óleo, do meio poroso e das condições de teste se fez com vistas à aplicação em um projeto piloto em planejamento pela Petrobras.

O presente trabalho está dividido em seis capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões.

O Capítulo 2 trata dos principais conceitos envolvidos no processo de combustão *in-situ*. São apresentadas as definições de métodos térmicos, os processos e tipos de combustão *in-situ*, as zonas de combustão, perfil de temperatura e reações químicas, além da importância dos estudos realizados com tubo de combustão.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica com diversos trabalhos já realizados sobre ensaios com tubo de combustão. Estes trabalhos incluem estudos com óleo leve, combustão úmida, injeção de ar enriquecido, uso de catalisadores e presença de heterogeneidades geológicas no reservatório.

No Capítulo 4 o estudo experimental é descrito. O aparato experimental e a metodologia utilizada nos experimentos são apresentados detalhadamente.

No Capítulo 5 os resultados obtidos durante os ensaios experimentais variando a concentração de argila no meio poroso e saturação inicial de óleo são relatados. Discussões dos resultados também são apresentadas.

No capítulo final são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido.

Foram incluídos dois apêndices neste trabalho. O Apêndice A apresenta a metodologia utilizada para determinar os principais parâmetros da combustão *in-situ*, que são fundamentais para o desenvolvimento de projetos. E o Apêndice B mostra todos os dados experimentais obtidos durante os experimentos.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Métodos Térmicos

Os métodos térmicos estão agrupados dentro dos Métodos de Recuperação Avançada de Petróleo (em inglês *Enhanced Oil Recovery* - EOR), que são caracterizados pela injeção de fluidos que não estavam presentes originalmente no reservatório.

Nos métodos térmicos, calor é introduzido no reservatório, por isso são utilizados principalmente para recuperar óleos pesados e viscosos devido à dependência da viscosidade em função da temperatura, conforme pode ser observado na Figura 1. Um pequeno aumento da temperatura do reservatório reduz drasticamente a viscosidade do óleo, aumentando a sua mobilidade, viabilizando uma maior produção e recuperação de óleo.

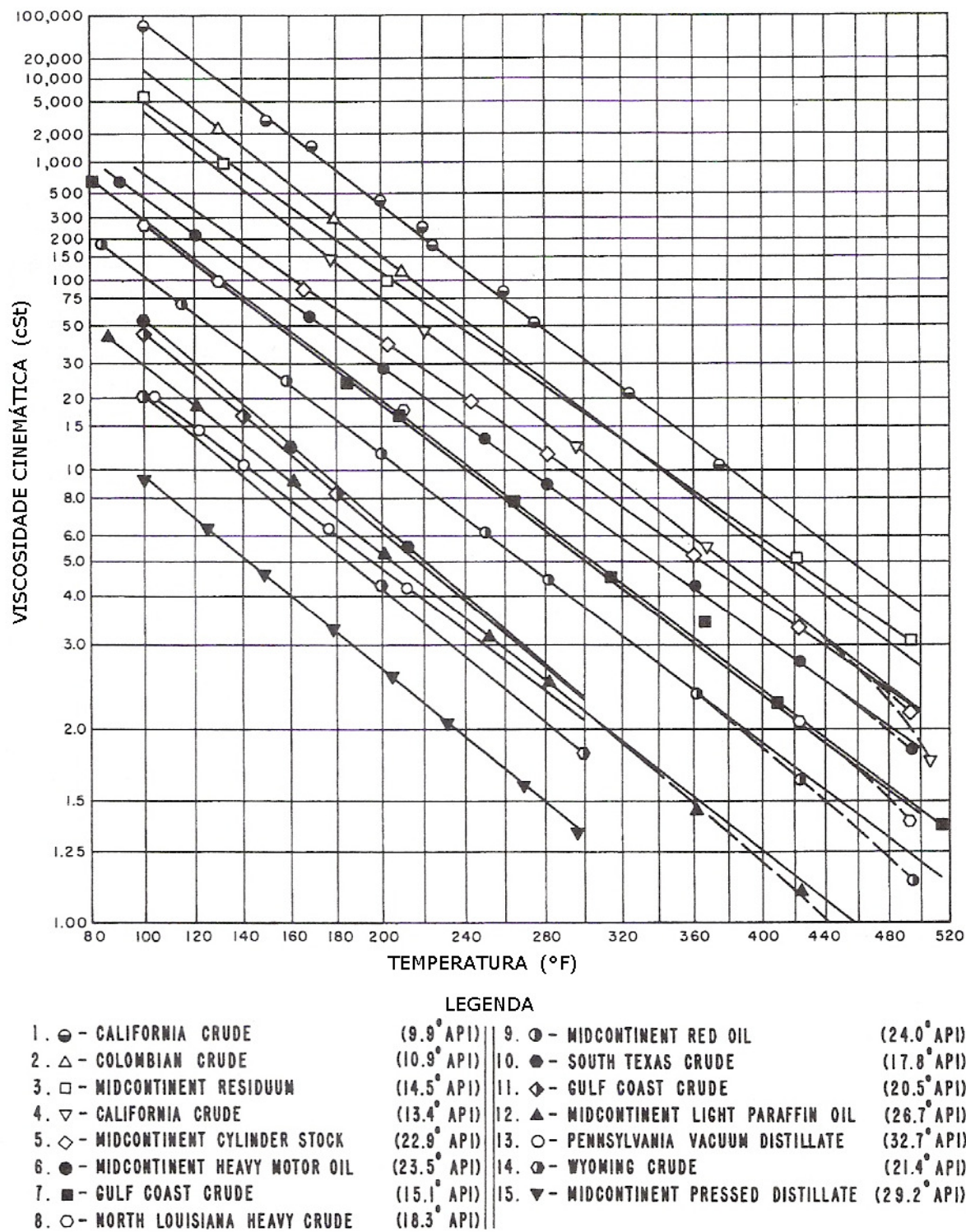


Figura 1. Gráfico da relação Viscosidade/Temperatura de Óleos Pesados (Donaldson *et al*, 1989)

Injeção de vapor ou água quente, combustão *in-situ* e aquecimento elétrico são exemplos de métodos térmicos. O método de recuperação de óleo pesado mais utilizado é a injeção de vapor. Porém, ele apresenta algumas desvantagens como, por exemplo, a perda de calor no poço e superfície, principalmente em reservatórios profundos e a perda de calor para formações adjacentes em reservatórios pouco espessos. Além disto, é necessário que a região de vapor varrida permaneça com a temperatura de injeção para que o vapor injetado não se condense antes de alcançar a frente de vapor-óleo. Mesmo após a frente já ter passado, continuam a ocorrer perdas de calor da região de vapor varrida (He *et al.*, 2005).

Já a combustão *in-situ* é energeticamente mais eficiente do que a injeção de vapor, porém é um processo mais difícil de operar (Moore *et al.*, 1994b). O método baseia-se na injeção de ar para oxidar uma fração de óleo do reservatório e assim gerar uma frente de combustão que empurre o óleo em direção aos poços produtores. Neste processo, a energia é gerada no próprio reservatório, o que evita perdas de calor através do poço e superfície, tornando o processo energeticamente mais eficiente (Greaves *et al.*, 2000, Rodriguez, 2004 e Kavscek e Brigham, 1999). Conseqüentemente, o processo pode ser usado em maiores profundidades e em reservatórios com seções pouco espessas de areia, quando comparado com a injeção de vapor e água quente. Além disto, a combustão também apresenta uma melhor eficiência no deslocamento (Greaves *et al.*, 2000), e causa menor impacto ambiental (Greaves *et al.*, 2000; Kavscek e Brigham, 1999). O óleo que é produzido também é mais leve que o óleo *in place*, como resultado do craqueamento e destilação (Kavscek e Brigham, 1999).

2.2 Combustão *In-Situ*

O processo de combustão *in-situ* é uma técnica de recuperação térmica que consiste em gerar calor dentro do próprio reservatório, através de uma frente de combustão. O reservatório é aquecido por esta frente de combustão, que queima uma pequena porção do volume de óleo *in place* e é sustentada pela injeção contínua de ar, propagando-se através do reservatório. Em um processo de combustão estável, o consumo de combustível é da ordem de 10% OOIP (Greaves *et al.*, 2000). O esquema do processo em campo pode ser visualizado na Figura 2.

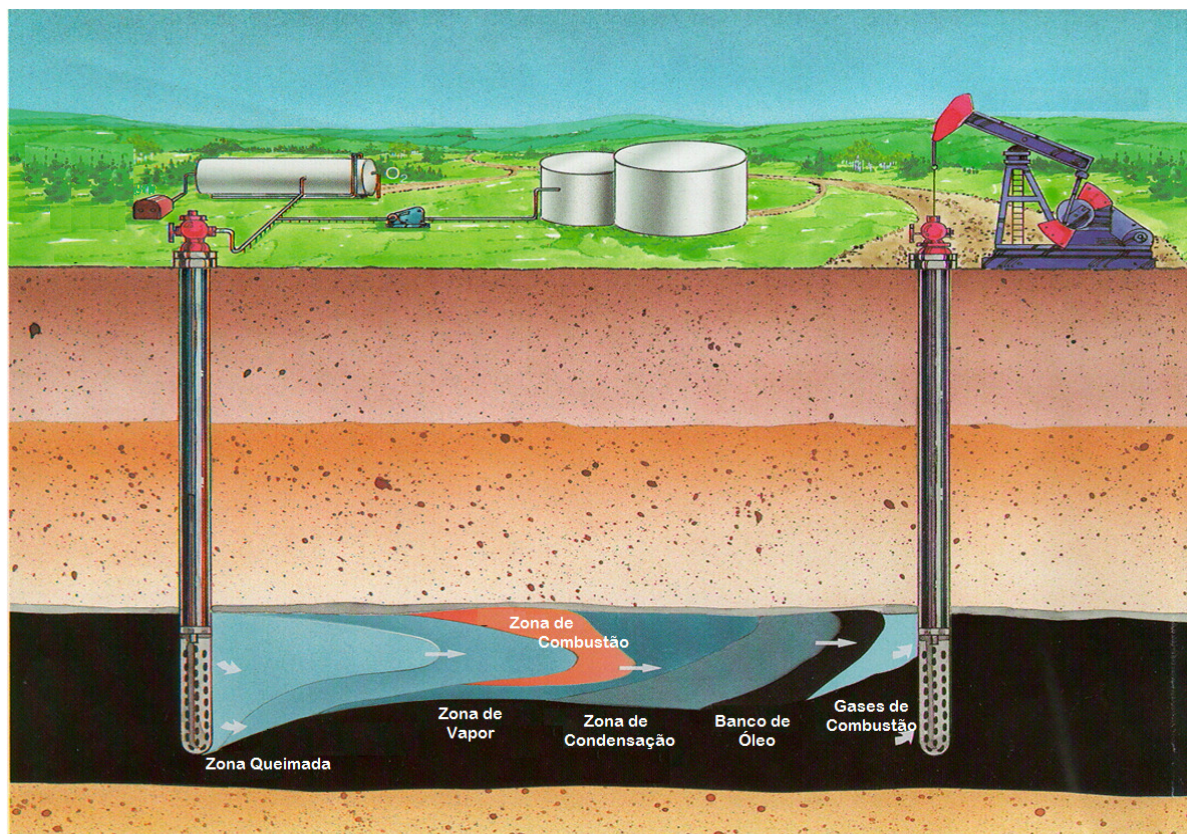


Figura 2. Esquema do processo de combustão in-situ (Alberta Research Council, 2006)

O método de combustão *in-situ* começou a ser desenvolvido a partir de 1947 através de testes laboratoriais, sendo o primeiro método de EOR a ser estudado. Entretanto, este método é o menos compreendido (Awoleke, 2007), e não tem sido muito utilizado devido a alguns fracassos, principalmente por aplicações em reservatórios inapropriados e pobre controle do processo (Greaves *et al.*, 2000). Além de um gasto relativamente grande requerido para avaliar prospectos e uma falta de confiabilidade sistemática que considera a eficiência do deslocamento (Gerritsen *et al.*, 2004).

No Brasil dois projetos pilotos de combustão *in-situ* foram testados nos campos de Buracica e de Carmópolis, respectivamente nas bacias do Recôncavo e de Sergipe-Alagoas, conforme relatado por Shecaira *et al.* (2002). Os melhores resultados quanto à produção foram obtidos para o piloto de Buracica, onde a oxidação a baixas temperaturas (LTO) foi o processo dominante. A produção de areia, somada a um processo de corrosão nos poços foram os

principais problemas operacionais. A irrupção de oxigênio causou a interrupção do projeto devido ao elevado risco de explosão nos poços produtores. O piloto de Carmópolis apresentou os piores resultados, apesar da melhor eficiência de combustão. O problema de diferença de densidades foi a principal causa para a perda de controle da frente de combustão.

As reações de oxidação que ocorrem durante a combustão consomem oxigênio e geram calor, água e óxidos de carbono. A energia gerada depende da composição do óleo. Devido a elevadas temperaturas, o óleo é parcialmente destilado e as frações leves do óleo e o vapor gerado nas reações de oxidação são carregados adiante da frente de combustão e se condensam nas regiões mais frias do reservatório. O combustível (resíduo rico em carbono), que é formado devido à destilação do vapor e reações de craqueamento, é depositado logo após a passagem da frente de vapor. Todo combustível depositado deve ser consumido para que a frente de combustão avance. O calor gerado na zona de combustão é transportado adiante da frente por condução, convecção de gases de combustão, vapores e líquidos e pela condensação de voláteis e de vapor.

Assim, o óleo segue para o poço produtor através de alguns mecanismos como os deslocamentos de gases de combustão, de água gerada pelas reações de oxidação e de água da formação recondensada, e por gradiente de pressão. O sucesso do processo depende principalmente do óleo cru e das propriedades das rochas, assim como das condições operacionais (Kok e Keskin, 2000).

A ignição do óleo pode ocorrer de maneira espontânea ou ser induzida por meios externos, como, por exemplo, através do uso de aquecedores de fundo, aquecedores elétricos, uso de produtos oxidáveis (como por exemplo, óleo de linhaça) e pré-aquecimento do ar de injeção.

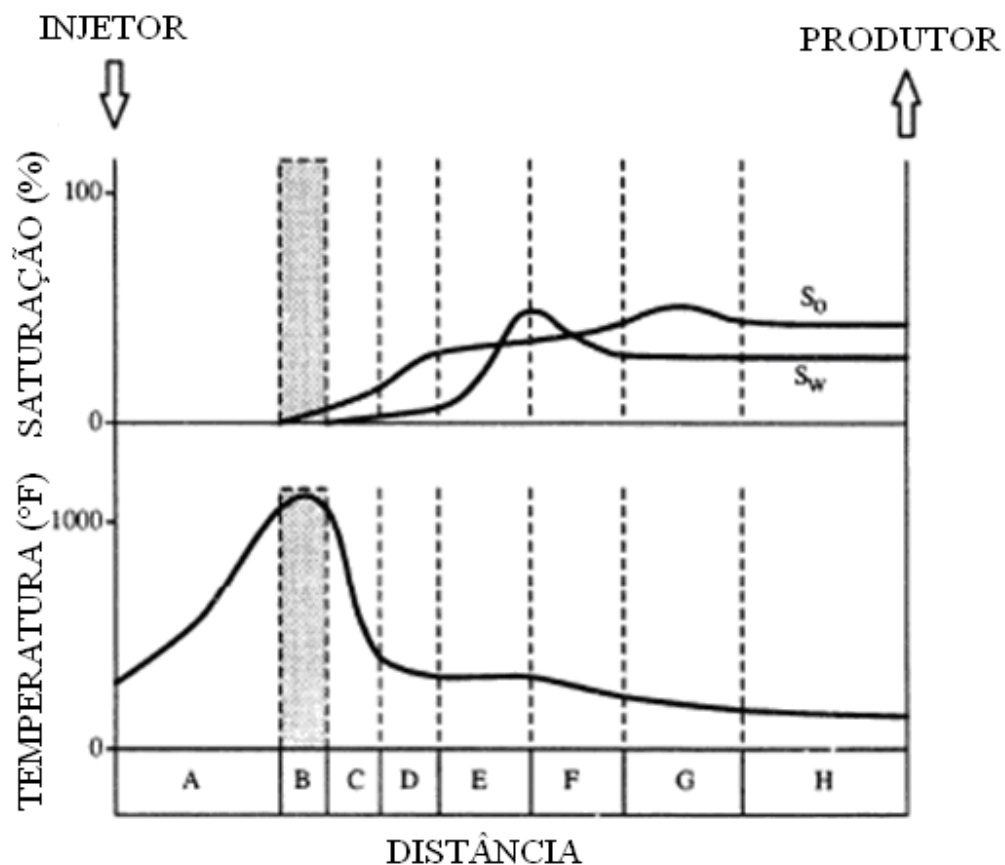
O processo de combustão *in-situ* não é limitado a óleos de alta viscosidade. Há reservatórios que produzem óleos de °API maior que 40 e foram sendo submetidos a esse processo. Devido à redução de viscosidade com o aumento da temperatura, este método é normalmente utilizado para óleos pesados, porém, pode também ser utilizado na recuperação de óleos leves, pois o método de combustão *in-situ* promove produção através do fluxo de combustível-gás, expansão térmica e vaporização de óleos leves (Gerritsen *et al.*, 2004). Enfim, a combustão *in-situ* é aplicável a uma grande variedade de reservatórios.

Apesar das vantagens da combustão *in-situ*, esta técnica é menos utilizada do que a injeção de vapor. Dentre os 1,3 milhão bbl/d de óleo produzido por métodos térmicos no mundo, apenas 2,2% é produzido por combustão *in-situ* (He *et al.*, 2005).

Entre as principais dificuldades do método destacam-se: a) o difícil controle do processo, b) o fato da frente de combustão tender a avançar de maneira mais irregular do que a frente de injeção, c) a difícil obtenção de uma varredura regular do reservatório, d) a difícil previsão do processo antes da implantação no campo, e) os problemas de segregação gravitacional devido à diferença de densidade entre o gás e o óleo, f) a formação de canais preferenciais devido às heterogeneidades da rocha e à taxa de mobilidade gás/óleo desfavorável, g) os problemas de corrosão se o gás injetado não for desidratado, h) a formação de emulsões no reservatório ou na superfície.

2.3 Zonas de Combustão e Perfil de Temperatura

Durante o processo de combustão *in-situ* ocorre a formação de diversas zonas no reservatório. A Figura 3 apresenta as zonas e o perfil de temperatura formados em um processo de combustão *in-situ* entre o poço injetor e o produtor. Esta representação das zonas formadas é apenas uma idealização do que pode ocorrer no campo, podendo as zonas ter espessuras e seqüências diferentes das apresentadas na Figura 3.



- A. ZONA QUEIMADA
- B. ZONA DE COMBUSTÃO
- C. REGLÃO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO
- D. REGLÃO DE EVAPORAÇÃO E "VISBREAKING"
- E. PLATEAU DE VAPOR
- F. BANCO DE ÁGUA
- G. BANCO DE ÓLEO
- H. ZONA INICIAL

Figura 3. Perfil de Temperatura e Saturação e as várias zonas formadas durante a combustão seca direta (Wu e Fulton, 1971)

As zonas formadas durante o processo são descritas a seguir:

(A) ZONA QUEIMADA: zona pela qual a frente de combustão já passou e arrastou ou queimou o óleo e a água presente na formação, ficando a formação saturada apenas com ar. A temperatura é maior próxima à zona de combustão. Uma porção da energia gerada pode permanecer na região, ou pode ser perdida para as camadas vizinhas ou pode ser levada para a zona de combustão.

(B) ZONA DE COMBUSTÃO: zona onde ocorrem as reações de oxidação. O combustível utilizado nestas reações é o coque, que é formado na zona de craqueamento. Possui a temperatura mais elevada entre todas as zonas. Os níveis de temperatura nesta região são determinados pela quantidade de combustível consumido. O calor gerado na zona de combustão é transportado adiante da frente por condução, convecção de gases de combustão, de vapores e de líquidos e pela condensação de voláteis e de vapor.

(C) REGIÃO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO: região que é constituída por uma fração volátil e resíduo pesado não-volátil, sendo que este resíduo é utilizado como combustível do processo de combustão.

Assume-se que as reações de oxidação não ocorrem nesta região, pois se considera que todo oxigênio foi removido na zona de combustão, assim, os hidrocarbonetos em contato com a extremidade da região de elevada temperatura sofrem craqueamento térmico e vaporização (Moore *et al.*, 1994).

(D) REGIÃO DE EVAPORAÇÃO E "VISBREAKING": à medida que a temperatura do reservatório aumenta, água e hidrocarbonetos leves são os primeiros líquidos a vaporizar. Estes vapores são carregados para frente com o vapor de gás e irão condensar em regiões mais frias adiante da frente de combustão (Rodriguez, 2004).

Dependendo da temperatura, o óleo original pode passar por craqueamento térmico suave, normalmente chamado "*visbreaking*". Este craqueamento usualmente reduz a viscosidade do óleo (Castanier e Brigham, 2002).

(E) PLATEAU DE VAPOR: região formada por duas fases (líquido-vapor). A temperatura

desta zona depende da pressão parcial da água na fase vapor.

(F) BANCO DE ÁGUA: região formada por um banco de água proveniente da condensação do vapor d'água. A temperatura desta região é inferior à da saturação do vapor.

(G) BANCO DE ÓLEO: região que contém óleo deslocado pelo processo de combustão. Nessa zona, a água conata imóvel, o óleo deslocado e alguns gases de combustão ocupam o espaço poroso. A temperatura é próxima da inicial, de modo que há pouco melhoramento quanto à viscosidade do óleo (Rosa *et al.*, 2001).

(H) ZONA INICIAL: região do reservatório onde a frente de combustão ainda não passou. A saturação de gás somente irá aumentar um pouco nesta região devido à elevada mobilidade dos gases de combustão.

2.4 Tipos de Combustão

A combustão *in-situ* pode ser classificada como seca ou úmida, sendo que a combustão seca é aquela em que somente ar é injetado na formação. A combustão úmida é aquela em que ar e água são injetados simultaneamente ou alternadamente, conhecido como COFCAW (do inglês, *Combination Of Forward Combustion And Water*).

A utilização do calor no processo de combustão seca é muito ineficiente porque o ar tem uma baixa capacidade de transportar calor e somente cerca de 20% do calor gerado é carreado adiante da frente de combustão, onde é benéfico para a recuperação de calor (Rosa *et al.*, 2001). Já a combustão úmida utiliza a energia gerada que permanece atrás da frente de combustão, que seria perdida para as formações adjacentes, e que neste caso é transportada adiante pela água injetada. Ao injetar água, ocorre a conversão da água em vapor na zona queimada e esse vapor atravessa a frente de combustão e aquece o reservatório adiante dela. O esquema do perfil de temperatura do processo de combustão seca é apresentado na Figura 4 e o esquema do perfil de temperatura da combustão úmida é apresentado na Figura 5.

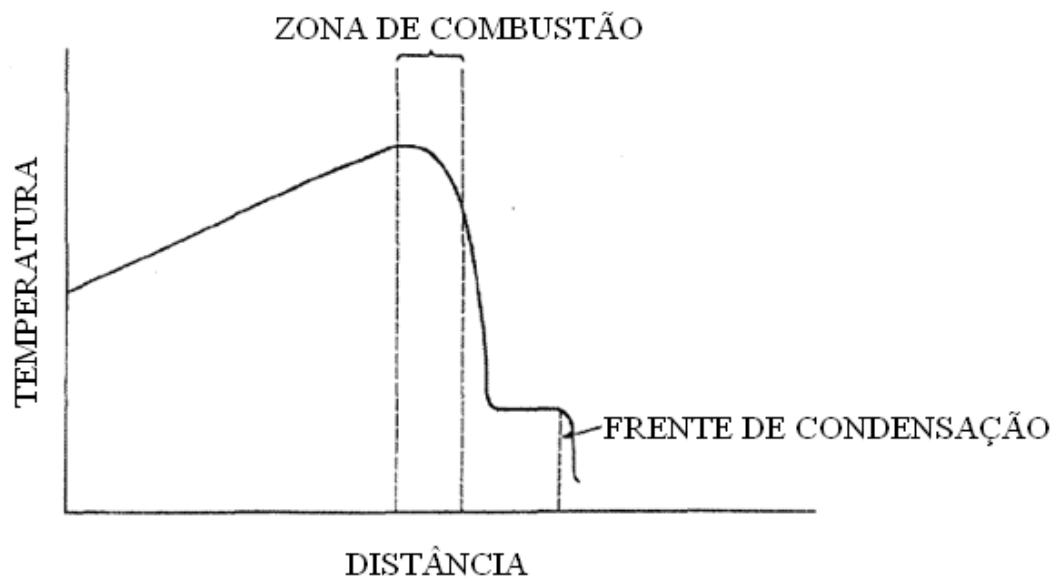


Figura 4. Esquema do perfil de temperatura – Combustão seca (Sarathi, 1998)

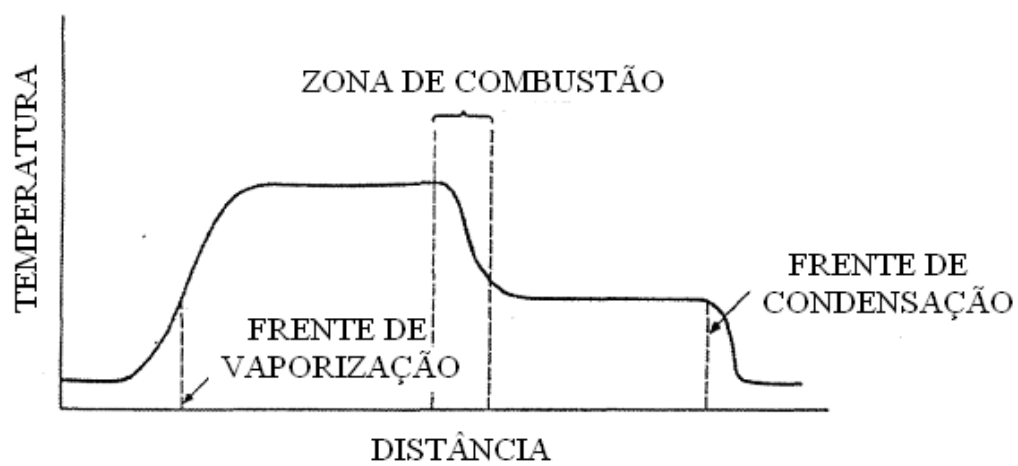


Figura 5. Esquema do perfil de temperatura – Combustão úmida (Sarathi, 1998)

Já a combustão seca pode ser subdividida em direta ou reversa. Na combustão direta, a frente de combustão avança do poço injetor para o poço produtor (a frente de combustão avança no sentido do movimento do ar). O processo inverso é denominado combustão reversa (a ignição é carregada aos poços produtores enquanto ar é introduzido através dos injetores). Apenas a combustão direta já foi testada em campo.

A combustão seca pode também ser classificada como combustão com ar enriquecido. Neste tipo de combustão, o ar injetado contém concentração molar de oxigênio superior a 21%. As vantagens deste tipo de combustão incluem: aumento no calor liberado pela frente de combustão, devido ao decaimento da razão de CO/CO₂ nos gases produzidos; miscibilidade de uma maior concentração de dióxido de carbono no óleo; e finalmente a baixa pressão parcial do oxigênio que ocasiona menores custos de compressão. Na injeção de ar enriquecido é esperado um aumento na temperatura da frente de combustão e um aumento do calor liberado à medida que a concentração de oxigênio do gás injetado aumenta, ocasionando uma diminuição dos custos operacionais, e possivelmente afetando a estequiometria da reação de combustão. Entretanto, o custo de uma elevada concentração de oxigênio é a principal desvantagem (Rodriguez, 2004).

2.5 Reações Químicas

O processo de combustão *in-situ* não é simples. Comparada as outras técnicas de recuperação, a combustão *in-situ* envolve a complexidade adicional de reações químicas exotérmicas, com cinéticas de reação dependentes da temperatura e da pressão, e ainda dependentes do transporte de oxigênio até a frente de combustão (Awoleke, 2007).

Durante o processo de combustão *in-situ* podem ocorrer diversas reações químicas, que variam com o intervalo de temperatura observado e com a composição do óleo. Estas reações podem ser classificadas em três tipos:

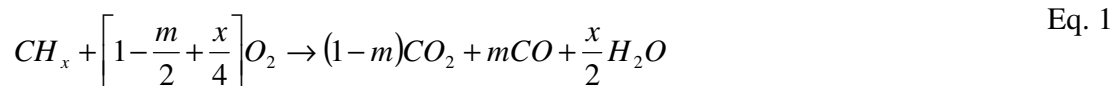
- oxidação em baixa temperatura (do inglês *Low Temperature Oxidation* - LTO)
- reações de craqueamento e pirólise

- oxidação em alta temperatura (do inglês *High Temperature Oxidation* - HTO)

Reações de oxidação são aquelas que ocorrem na presença de oxigênio. Dependendo da temperatura, a oxidação pode ser classificada em baixa temperatura ou alta temperatura. Geralmente, em baixas temperaturas (abaixo de 205°C), o oxigênio combina com o óleo (reações heterogêneas de gás-líquido) formando compostos parcialmente oxigenados como, por exemplo, ácidos carboxílicos, aldeídos, cetonas e alcoóis. Estas reações formam hidrocarbonetos com maior viscosidade que a do óleo, mas elas também aumentam a reatividade do óleo em altas temperaturas (Mamora, 1993). Se a combustão é conduzida de forma adequada, as oxidações em baixa temperatura são minimizadas, pois grande parte do oxigênio injetado é consumido na frente de queima (Castanier e Brigham, 2002).

As reações de LTO são extremamente complexas e não são muito bem compreendidas. Entretanto, acredita-se que essas reações consistem na conversão de componentes de baixo peso molecular em produtos de alto peso molecular (Sarathi, 1998).

Nas oxidações em alta temperatura (acima de 345°C), quando o oxigênio entra em contato com o óleo, com o combustível e com os compostos oxigenados, ocorrem reações de quebra das ligações de H/C, resultando na produção de água e óxidos de carbono. A estequiometria das reações de HTO, descrita por Mamora (1993), é apresentada na Eq. 1.



Onde: x = razão atômica de hidrogênio em relação ao carbono

m = taxa percentual molar de dióxido de carbono produzido convertido em monóxido de carbono (se a combustão for completa, m será zero).

Já as reações de pirólise ocorrem em temperaturas elevadas. É a alteração química de

hidrocarbonetos sob o efeito do calor (Mamora, 1993) e depende da estrutura química do óleo. Estas reações são responsáveis pela deposição de combustível (coque) e podem ser: a) de desidrogenação, onde o número de átomos de carbono na molécula permanece o mesmo, sendo retirados átomos de hidrogênio, ou, b) de craqueamento, que reduz o número de átomos de carbono, e/ou, c) de condensação, que aumenta o número de átomos de carbono. Em temperaturas acima de 500°C, os produtos da pirólise são hidrocarbonetos leves e resíduos similares ao coque (composto rico em carbono).

2.6 Tubo de Combustão

Estudos com tubo de combustão são realizados devido à complexidade do processo de combustão *in-situ* no campo. As corridas experimentais podem ser conduzidas para investigar, entre outros, os efeitos de variáveis de forma independente tais como: o fluxo de injeção de ar, a pressão do sistema, a saturação de fluidos, as propriedades do óleo cru, a taxa de avanço da frente de combustão, o consumo de combustível, o volume de ar requerido, a recuperação de óleo, e a espessura da zona de combustão (Bagci, 1998).

A determinação destes parâmetros do processo de combustão *in-situ* é essencial para a implantação do projeto em campo. Estes testes são mais rápidos e têm um menor custo, quando comparado aos experimentos pilotos de campo.

Dentre os parâmetros obtidos através de ensaios em um tubo de combustão, o mais importante é o da deposição de combustível, uma vez que determina quanto ar deve ser injetado na formação. A quantidade de combustível depositado na areia varia com os diferentes tipos de óleo e de rocha (Bagci, 1998). Se a quantidade de combustível for muito pequena (especialmente no caso de óleos leves), a frente de combustão pode se extinguir. Se for muito alta, a combustão se torna lenta e há um maior requerimento de ar, pois todo o combustível deve ser consumido para que a frente avance.

Outro parâmetro importante é a taxa de injeção de ar. Abaixo dos valores mínimos da taxa de ar, a oxidação do óleo é baixa para gerar calor suficiente para manter a combustão. À proporção que a taxa aumenta a partir desse valor mínimo, a velocidade da frente de combustão

também aumenta e resultados mais rápidos de queima são obtidos. Aumentando-se o fluxo de ar, no entanto, reduz-se o tempo de contato do ar injetado com a frente, resultando em uma utilização ineficiente do oxigênio do ar (Rosa *et al.*, 2001).

Além destes parâmetros, pode-se citar outros importantes de projeto, como a composição do combustível, o volume do reservatório varrido pela zona de combustão, a taxa de produção de óleo e o fator de recuperação, os investimentos, e custos operacionais.

Os testes de laboratório em tubos de combustão não são feitos em escala e diferenças entre os parâmetros da combustão do campo e os medidos em laboratório são esperadas. Mais propriamente, as diferenças devem ser interpretadas como indicadores de que o projeto de campo não está operando nas mesmas condições dos testes laboratoriais. As condições que causam um pobre desempenho da queima ou instabilidades na queima devem ser entendidas, assim os dados do campo podem ser propriamente interpretados e o projeto das estratégias operacionais pode aumentar o sucesso do projeto nos campos (Moore *et al.*, 1994b).

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica

Na literatura, é possível encontrar alguns estudos com tubo de combustão realizados principalmente no Canadá, Estados Unidos e Inglaterra. No Brasil, os ensaios com tubo de combustão apresentados neste projeto são os primeiros a serem realizados em âmbito acadêmico, sendo importantes para avaliar a influência e o efeito de determinadas variáveis no comportamento do processo. A seguir são apresentados os estudos mais recentes encontrados na literatura sobre ensaios em tubo de combustão. Estes estudos estão separados por assunto e ordem cronológica.

Greaves *et al.* (2000b) realizaram ensaios utilizando óleo leve (38,8°API) e médio (19,8°API) visando verificar o comportamento da frente de combustão. Estes ensaios foram conduzidos com saturações iniciais de água elevadas (entre 28 a 50%) a fim de simular a combustão *in-situ* em um meio após injeção de água. No caso do óleo médio, foram realizados dois ensaios com saturação inicial de óleo de 48 e 60%. Com saturação inicial de óleo de 48% a temperatura da frente de combustão permaneceu em aproximadamente 400°C e a zona de combustão avançou aproximadamente 30% do comprimento do tubo, sendo recuperados 40% do OOIP. A recuperação de óleo foi afetada principalmente pelo grande fluxo de vapor gerado à frente da zona de combustão, devido à vaporização *in-situ* da água original. As reações de craqueamento térmico que acontecem à frente da zona de combustão converteram parte do óleo residual em componentes mais leves, que foram deslocados pelo fluxo de gás, e ao mesmo tempo foi produzido aproximadamente 10% de coque (combustível) para o processo de combustão. No segundo ensaio, realizado com saturação inicial de óleo de 60%, foi obtida uma temperatura da frente de combustão variando de 400 a 500°C e foi recuperado 83% do OOIP.

Já nos dois testes com óleo leve foram utilizadas saturações iniciais de óleo de 41 e 45% e saturação de água de 50%. A temperatura de combustão permaneceu em aproximadamente 250°C para os dois testes, sendo um indicativo de ocorrência de reações de oxidação a baixas temperaturas (LTO). O perfil obtido de temperatura axial do tubo foi similar àquele associado normalmente ao movimento da frente de combustão, mas a uma temperatura relativamente baixa, devido principalmente a baixa disponibilidade de combustível do óleo leve. Para o ensaio realizado com saturação inicial de óleo de 41%, foi obtida recuperação de 46% do OOIP e para o ensaio com saturação de 45% foi recuperado 64% do OOIP.

Nos quatro ensaios foram obtidas velocidades elevadas da frente de combustão, variando entre 0,15 a 0,31 m/h. Os autores verificaram que o consumo de combustível, o ar requerido e a utilização de oxigênio, apresentaram valores adequados para a utilização da técnica de combustão *in-situ* em reservatórios contendo saturação inicial de água elevada.

Ensaio de combustão seca e úmida foram realizados por Bagci e Kok (2001) utilizando óleo pesado dos reservatórios da Turquia sob diferentes condições experimentais. Foram comparados os comportamentos de alguns parâmetros, como temperatura da frente de combustão, razão atômica de H/C, relação da razão de combustível com o °API e razão água-ar, fator de recuperação, entre os processos da combustão úmida e da combustão seca. Nos experimentos de combustão úmida, as taxas da reação de combustão, e conseqüentemente as taxas de geração de calor, foram reduzidas, com uma queda resultante nos picos de temperaturas. A razão atômica H/C do combustível consumido decaiu à medida que a média do pico de temperatura aumentou. A taxa de consumo de combustível foi maior para os experimentos de combustão seca, à medida que o °API do óleo aumentou. Um decaimento da taxa de consumo de combustível também foi observado, após o valor da razão água-óleo atingir um valor ótimo. Houve uma tendência de diminuir o ar requerido à medida que o °API do óleo aumentou, tanto para a combustão úmida como para a seca. Para elevadas razões de água-ar nos experimentos de combustão úmida, um decréscimo do ar requerido foi observado à medida do aumento do °API do óleo.

Castanier (2002) descreveu as mudanças causadas pelas várias reações que ocorrem durante a combustão, com ênfase no potencial da combustão *in-situ* em aumentar o °API da corrente produzida, a partir de vários tipos de óleos. O autor examinou as mudanças na temperatura e nas reações químicas que podem tanto aumentar como diminuir o °API e a viscosidade do óleo

produzido.

Além disto, o autor analisou os resultados de três corridas em um tubo de combustão, com o propósito de remover o enxofre, cujos compostos causam problemas no transporte e no refino do óleo. Os ensaios foram realizados com óleo leve contendo 6% de enxofre. A saturação inicial de óleo e de água foi mantida em 20%. A primeira corrida foi de combustão seca e direta. O conteúdo inicial de enxofre foi reduzido a 3% no óleo produzido. A maior parte do enxofre removido foi encontrada como ácido sulfúrico na água produzida.

Para auxiliar a deposição de combustível e obter uma boa queima e utilização de oxigênio, nos demais ensaios foi adicionado aditivo metálico dissolvido na água. Na segunda corrida foi utilizado cloreto de estanho e na terceira corrida foi utilizado nitrato de ferro. Nestas duas corridas, a quantidade de enxofre no óleo produzido teve uma redução de menos de 1% do conteúdo original de 6%.

Estudos com injeção de ar enriquecido com oxigênio também têm sido realizados. Rodriguez (2004) desenvolveu um novo modelo analítico da zona de combustão que permite calcular a temperatura e a espessura da frente de combustão, a partir de ensaios realizados utilizando ar enriquecido com oxigênio. O modelo descreve, na zona de combustão, a quantidade de combustível queimado baseado nas reações cinéticas, na concentração de combustível e a produção do gás efluente considerando a estequiometria da combustão, e a quantidade de calor gerado baseado o balanço de energia. Para este estudo o autor realizou seis ensaios experimentais com óleo de 9-11°API e utilizou ar enriquecido de oxigênio na concentração de 21%, 30% e 40%.

O uso de ar enriquecido com oxigênio ocasionou um aumento da temperatura da frente de combustão e aumentou também a velocidade da frente de combustão, diminuindo o tempo de início de produção de óleo. Os resultados obtidos indicam que a temperatura da zona de combustão calculada e os perfis de temperatura estão de acordo com os dados experimentais, para o intervalo de concentração de oxigênio estudado.

Algumas experiências têm sido realizadas com a introdução de catalisadores. Gerritsen *et al.* (2004) apresentaram o projeto de uma nova ferramenta de simulação do processo de

combustão *in-situ*, baseada em experimentos laboratoriais extensivos conduzidos para validar os dados e estudar os efeitos das variáveis do processo de combustão. Os autores verificaram como os aditivos de sais metálicos podem promover e sustentar a combustão através do aumento da oxidação e craqueamento dos hidrocarbonetos.

He *et al.* (2005) investigaram o efeito de aditivos metálicos no desempenho da combustão *in-situ* tanto sob os aspectos quantitativos como qualitativos, além de realizar testes de temperatura de oxidação para medir a cinética da combustão. Os ensaios foram realizados com óleo pesado (12°API) e leve (34°API), na presença e ausência de aditivos metálicos. Os autores verificaram que o aditivo melhorou o desempenho em todos os casos, incluindo efeitos como: menor energia de ativação, melhor consumo de oxigênio, menor temperatura de entrada, e oxidações mais completas. Os autores propuseram a troca do cátion do sal metálico pela argila como mecanismo de criação de sítios ativados que aumentam a reação de combustão entre o óleo e oxigênio. As superfícies da areia e da argila foram examinadas através de microscópio de varredura eletrônica para evidenciar a troca de cátion e alterações nas propriedades da superfície pelos sais metálicos.

No caso do óleo leve, uma combustão sustentada só foi obtida com a adição do nitrato de ferro. Os autores verificaram que os aditivos metálicos afetam o desempenho da combustão significativamente, sendo a deposição de combustível o principal fator alterado pelos aditivos. No caso de óleo leve, não ocorre deposição de combustível suficiente para sustentar a combustão, enquanto no caso de óleo pesado, a deposição excessiva de combustível provoca um maior requerimento de ar e consumo significativo de óleo. He *et al.* observaram que os aditivos metálicos têm o potencial de expandir a quantidade de reservatórios candidatos ao processo de combustão *in-situ*.

Ramírez-Garnica *et al.* (2007) avaliaram o uso de catalisadores organometálicos em um tubo de combustão utilizando óleo pesado de 12,5°API em um meio poroso homogêneo. Foram realizados ensaios na presença e ausência dos catalisadores a fim de avaliar as principais diferenças no tempo de produção, na produção de óleo, no perfil de temperatura e na qualidade do óleo produzido, quando é adicionado um catalisador na fase líquida previamente difundida no meio poroso. O catalisador foi adicionado ao óleo pesado a uma baixa concentração de 750 ppm.

Os autores verificaram as seguintes vantagens do catalisador utilizado: aceleração da produção, temperatura inicial de combustão relativamente sustentada, aumento da produção, maior eficiência de combustão e aumento da velocidade de propagação da frente de combustão. Além disto, o uso de baixas concentrações de catalisador em óleo pesado pode tornar o processo comercialmente atrativo. O uso de catalisadores pode representar algumas economias em alguns aspectos como: (1) redução da quantidade de ar injetado em relação ao processo tradicional de injeção de ar, (2) aumento da produção de óleo, (3) redução do tempo de início de produção de óleo, o que pode representar um retorno econômico mais rápido.

Em 2008, Ramirez-Garnica *et al.* estudaram também o desempenho do método de combustão *in-situ* na presença de catalisador baseado em uma solução iônica de níquel. Os autores utilizaram óleo de 12,5°API novamente e saturação de óleo de 23,79% e 25,26% de água. O principal objetivo foi aumentar a mobilidade e a qualidade do óleo no interior do reservatório pelo efeito do catalisador iônico na reação de combustão. O uso do catalisador auxilia na produção e transporte de óleos pesados e extra-pesados.

A temperatura da zona de combustão usando catalisador teve um pico máximo de 649°C. Esta temperatura elevada ajudou, provavelmente, para as seguintes ocorrências: quebra relativamente fácil das cadeias longas de hidrocarbonetos de óleo pesado, facilitação da difusão de calor de através do meio poroso, aceleração da frente de combustão, demanda menor da quantidade de ar, redução da viscosidade do óleo. O uso do catalisador aumentou não somente a velocidade de combustão, mas também a produção de óleo. Isto representa uma maior eficiência de combustão, incluindo uma temperatura inicial de combustão relativamente melhor sustentada devido ao uso do catalisador. Assim, o uso deste catalisador de solução iônica de níquel a baixas concentrações pode permitir o aumento no fator de recuperação e melhorar as propriedades do óleo *in-situ*.

A influência de heterogeneidades geológicas existentes no reservatório foi estudada por Awoleke (2007), através de simulações numéricas usando o *software* Stars e ensaios experimentais. Neste estudo, foi avaliado um óleo de 19,8°API, sendo verificado além das propriedades da matriz, o efeito da pressão, da temperatura e da taxa de injeção. O autor verificou que o processo de combustão *in-situ* pode ser implantado com sucesso em um reservatório com heterogeneidades em pequena escala, porém, se as heterogeneidades forem em larga escala, como

canais, falhas e fraturas, a eficiência do processo de combustão pode ser menor.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Foram realizados quatro ensaios experimentais em um tubo de combustão utilizando óleo pesado de 12,8°API e saturações iniciais de óleo variando entre 25 e 50%. A taxa de injeção de ar foi mantida constante em 3 l/min, a pressão de produção foi mantida em 10 bar e a temperatura de ignição foi estabelecida em 500°C.

A composição da mistura em porcentagem mássica utilizada no preenchimento do tubo de combustão e as saturações iniciais das misturas são apresentadas na Tabela 1.

As escolhas do óleo, do meio poroso e das condições de teste foram feitas com vistas à aplicação em um projeto piloto em planejamento pela Petrobras.

Tabela 1. Composição em porcentagem mássica da mistura utilizada no preenchimento do tubo de combustão

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Areia (%)	89,0	84,7	80,0	79,7
Argila (%)	0,0	4,5	10,0	4,9
Óleo (%)	6,4	6,5	5,9	12,3
Água (%)	4,6	4,3	4,1	3,1
S _o (%)	25	25	25	50
S _w (%)	25	25	25	25
S _g (%)	50	50	50	25

4.1 Aparato Experimental

A montagem experimental utilizada neste trabalho segue o esquema simplificado apresentado na Figura 6 e os equipamentos utilizados são sumarizados na Tabela 2. O equipamento foi concebido e desenvolvido no Departamento de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica (UNICAMP) sob a orientação do Prof. Dr. Osvaldo Vidal Trevisan e construído pela Autic Automação e Instrumentação Industrial Ltda de Campinas (SP).

A concepção da montagem do tubo de combustão utilizada neste trabalho segue as linhas básicas das montagens descritas na literatura, como em Bagci (1998), Greaves *et al.* (2000), He *et al.* (2005), Mamora (1993), Ramírez-Garnica *et al.* (2007) e Rodriguez (2004).

As Figura 7 e Figura 8 apresentam fotografias das vistas frontal e posterior do equipamento, respectivamente. Para um melhor entendimento, o equipamento pode ser dividido em: sistema de injeção de fluido, tubo de combustão e jaqueta de vácuo, sistema de produção de fluido, sistema de análise gasosa e gasômetro, e sistema de aquisição e análise de dados. As principais características de cada parte são apontadas a seguir.

Tabela 2. Equipamentos utilizados na parte experimental

EQUIPAMENTO	MODELO
Gasômetro	Precision Scientific Inc., faixa 0,1-3000 L/h
Controlador de Fluxo Mássico	Matheson Electronic Mass Flow Controller, modelo 8270, faixa 0,1-5 SLPM, com totalizador de fluxo modelo
Balança	Ohaus, modelo Adventurer, faixa 0-4100 g, 0,01 g por divisão
Banho Termostatizado	Tecnal, modelo TE-184, faixa -10°C a 99,9°C
Transmissor de Pressão	Zurich, modelo PSI-420, faixa 0-50 bar, saída: 4-20mA
Válvula de Contra Pressão (10 atm)	Tescom, série 26 1700, faixa 0-500 psi
Termopares	Tipo J, Iron Constantan, faixa -40 a +750°C
Programa para Aquisição de Dados	Elipse Scada (<i>Supervisory, Control, and Data Acquisition System</i>) da Elipse Software
Cromatografia Gasosa	DCT - CG90. Gases: Argônio, Padrão Primário, Ar sintético
Karl Fischer	Titulador Karl Fischer Volumétrico 841 Titrando, Methrom Forno ThermoPrep modelo 832 KF
Centrífuga	Fanem Excelsa II, modelo 206-BL com trava

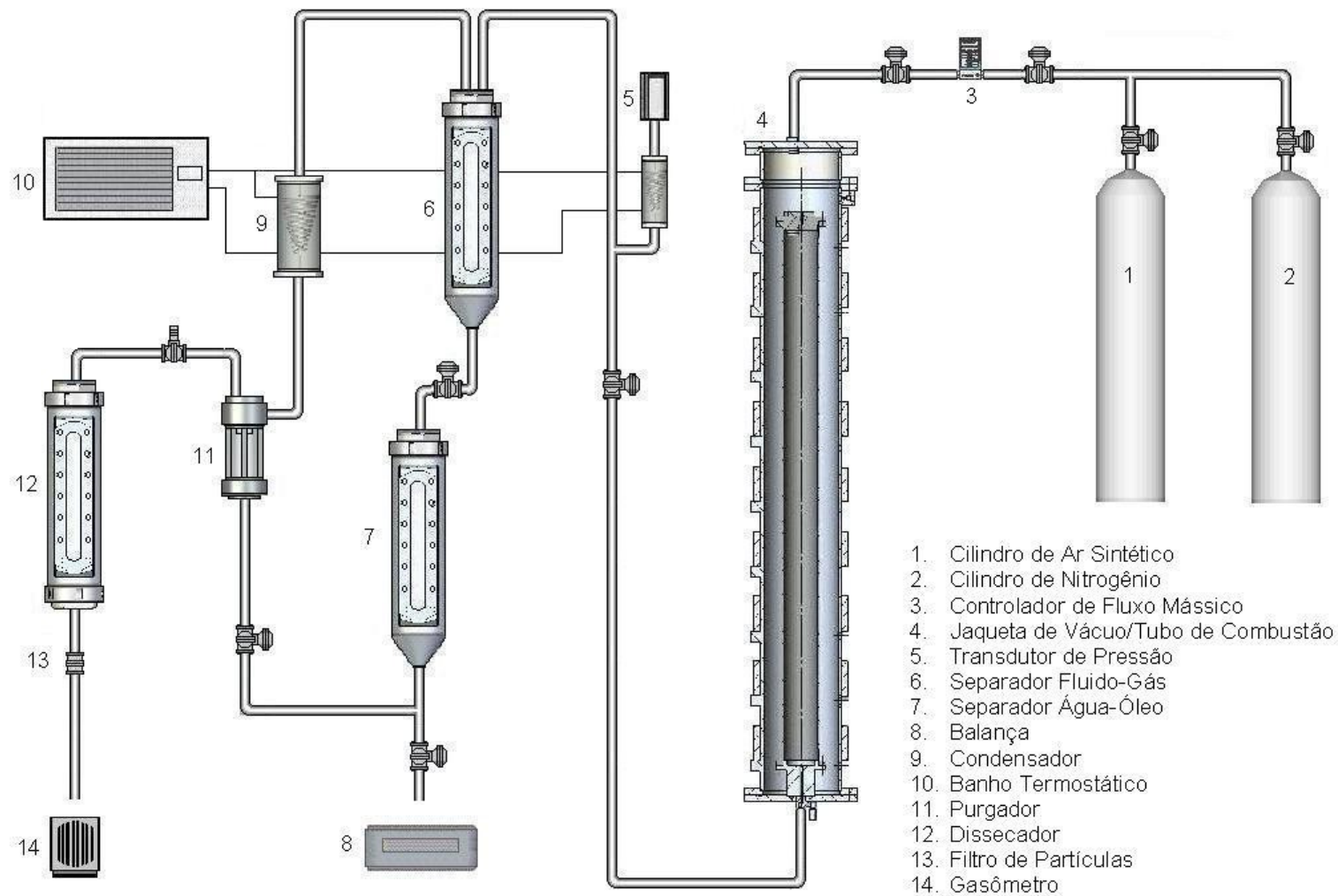


Figura 6. Esquema da montagem experimental de combustão in-situ



Figura 7. Vista frontal do equipamento

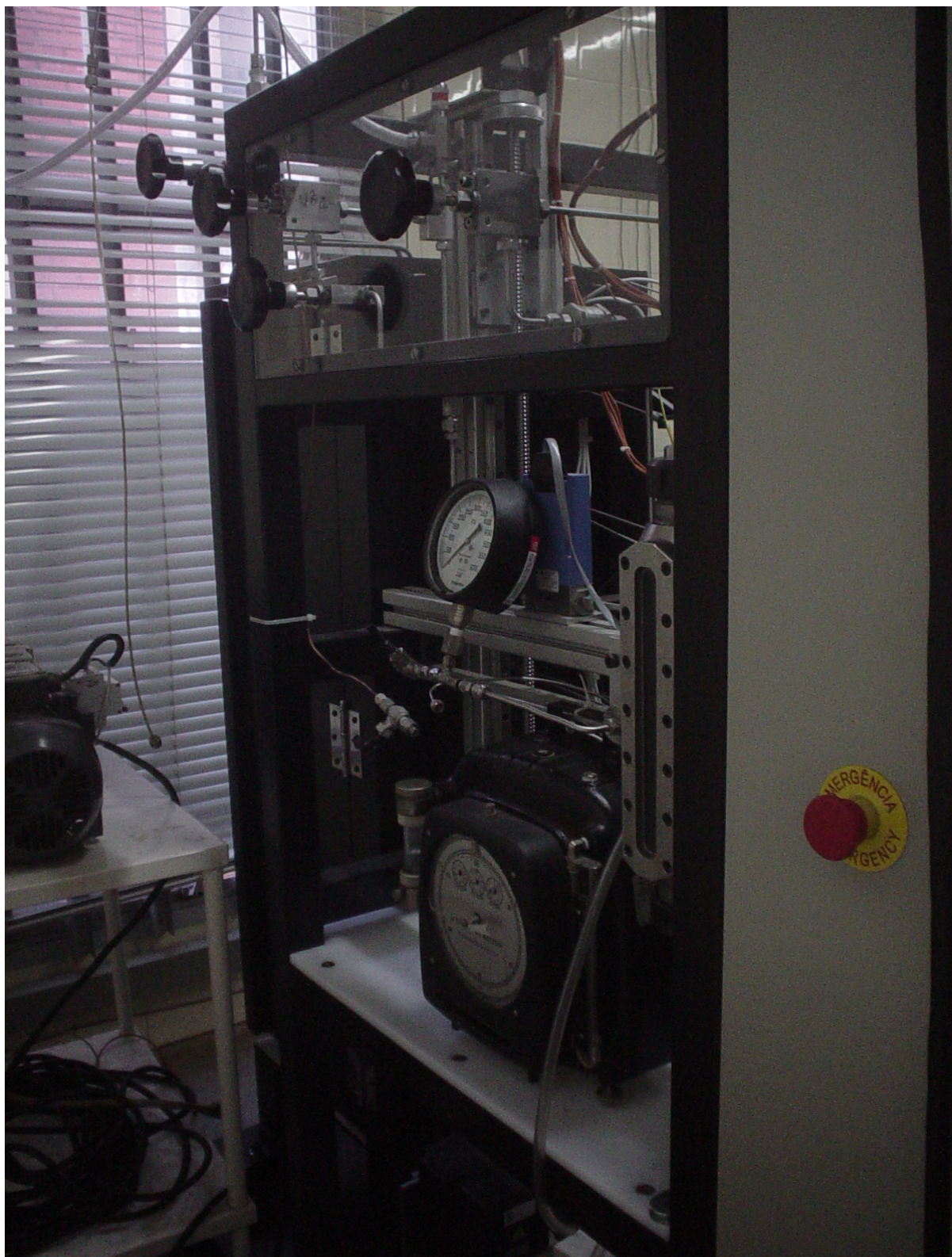


Figura 8. Vista posterior do equipamento

4.1.1 Sistema de Injeção de Ar

O sistema de injeção de ar consiste em um controlador de fluxo mássico (Figura 9) que mantém a taxa de injeção de gás constante, sendo que o gás injetado pode ser ar sintético (79% de nitrogênio e 21% de oxigênio) ou N_2 (99,999% de nitrogênio). Os cilindros são conectados ao sistema de injeção através de tubulação com diâmetro de 4,76 mm.

O sistema apresenta também uma válvula de segurança ajustada para 24 atm antes da entrada do tubo de combustão.



Figura 9. Controlador de fluxo mássico

4.1.2 Tubo de Combustão e Jaqueta de Vácuo

O tubo de combustão (Figura 10) é constituído de aço inoxidável tipo 316 L com diâmetro externo de 76,80 mm, diâmetro interno de 69,30 mm e altura de 100 cm. No flange superior há uma conexão para a injeção de ar, além do encaixe de dois tubos-guias onde são inseridas duas sondas termométricas.



Figura 10. Tubo de combustão

Os tubos-guias são de aço inoxidável tipo 321 com 6,35 mm de diâmetro externo, 2,3 mm de espessura e 1,26 m de comprimento. Cada sonda termométrica possui 10 termopares. Uma sonda, com sensores espaçados de 10 em 10 cm, permanece fixa dentro do tubo de combustão, e uma sonda se move automaticamente, de forma a acompanhar o movimento da frente de combustão. Esta última sonda tem os sensores espaçados de 2,5 em 2,5 cm.

A Figura 11 apresenta um esquema mostrando a localização das sondas móvel e fixa quando a temperatura mais alta obtida durante o experimento estiver localizada no termopar 5 da sonda fixa.

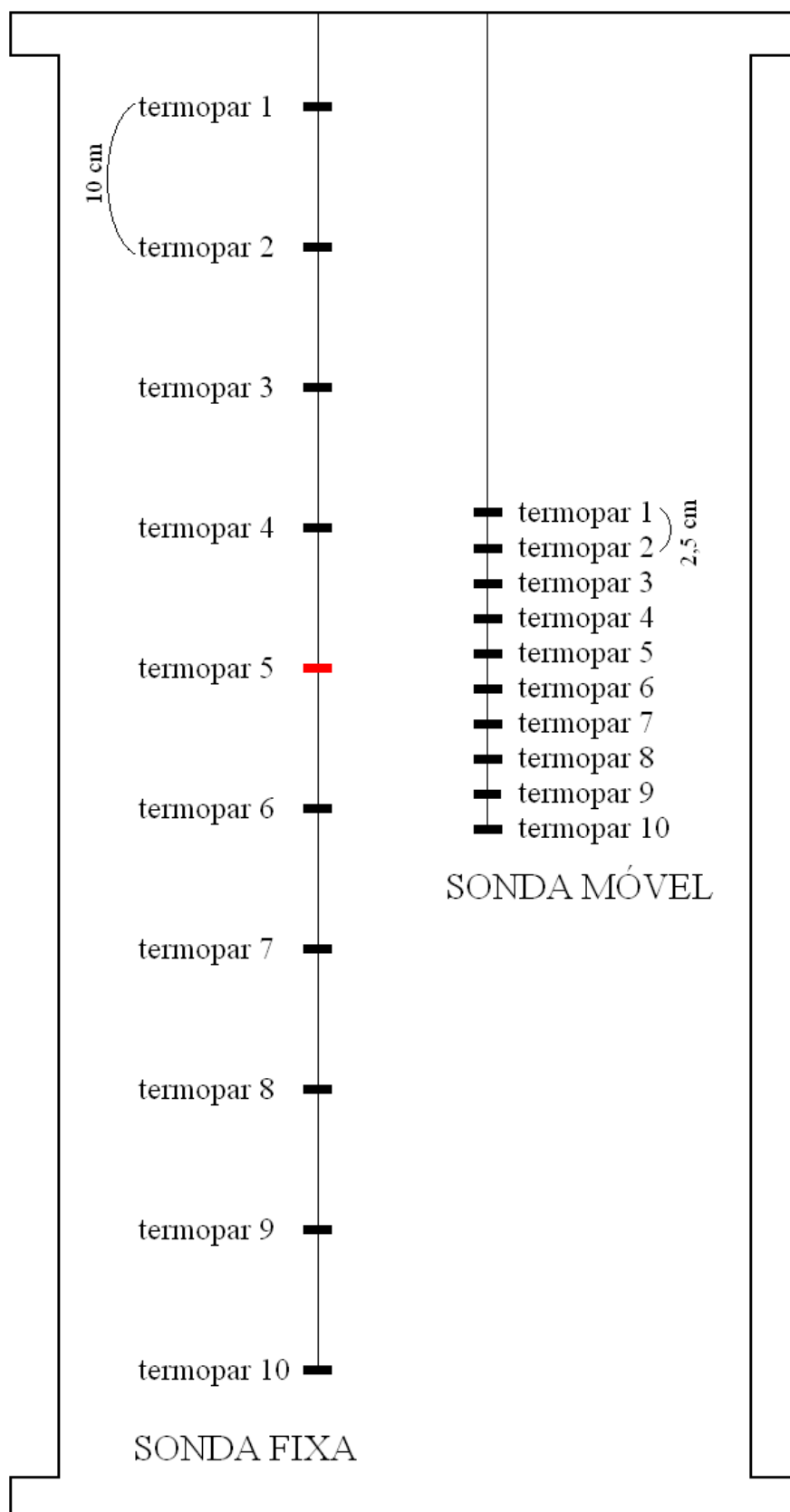


Figura 11. Esquema com localização da sonda fixa e móvel

Um sistema de ignição é disposto ao redor do tubo, no seu topo. No fundo do tubo é colocada uma tela de 200 *mesh*, para evitar o entupimento da tubulação por finos. E a tubulação na saída do tubo de combustão, para a produção de gás e de fluidos, apresenta diâmetro de 7,98 mm.

O tubo é encaixado dentro de uma jaqueta de vácuo (Figura 12) de aço inoxidável tipo 304 de 1,12 m de comprimento, diâmetro externo de 16 cm e 7 mm de espessura, com oito resistores localizados na parte externa de forma a garantir a condição adiabática do sistema. Entre estes resistores são encaixadas telas de amianto para bloquear a transferência de calor por convecção entre as seções.



Figura 12. Jaqueta de vácuo

Em cada resistor há um sensor de temperatura. Além destes, oito sensores são colocados em posições correspondentes entre a jaqueta e a parede externa do tubo de combustão.

No caso do acionamento dos resistores no modo de aquecimento (para simular a temperatura inicial do reservatório) os resistores são ligados alternadamente, ou seja, apenas o primeiro, o terceiro, o quinto e o sétimo resistores são acionados com uma temperatura de *set-point* determinada. E quando os resistores são acionados no modo de operação (no momento em que se inicia o experimento com a injeção de ar), o controle da temperatura dos resistores

é realizado da seguinte maneira: a temperatura da camisa (sensor localizado na parede externa do tubo) é comparada com a temperatura no centro do tubo de combustão; caso a temperatura da camisa externa seja menor do que a temperatura no centro do tubo, o resistor ao redor da jaqueta de vácuo localizado na altura respectiva do sensor é ligado até que as temperaturas da parede externa e do centro se equalizem, mantendo uma condição adiabática e evitando, assim, a perda de calor. Caso contrário, os resistores permanecem desligados.

Além dos controles dos resistores localizados na parede externa, há também o controle do resistor de ignição, que mantém a temperatura em um *set-point* determinado (500°C).

Vácuo é realizado no espaço entre o tubo e a jaqueta, através de uma bomba de vácuo, e estabilizado em 0,6 mbar. As vedações dos flanges tanto do tubo como da jaqueta são realizadas através de duas seções metálicas cônicas. Em torno da jaqueta de pressão há uma caixa forrada com manta de isolante térmico para evitar a perda de calor para o ambiente exterior.

4.1.3 Sistema de Produção de Fluido

O sistema de produção de fluido é apresentado na Figura 13. Os fluidos produzidos no tubo de combustão passam por um transdutor de pressão e seguem para um separador em duplo estágio. No primeiro estágio o gás é separado da mistura de óleo e água, e no segundo estágio ocorre a separação de água e óleo. O fluido é coletado e pesado em uma balança a cada 15 minutos aproximadamente, já os gases passam por um purgador conectado a um banho termostático ajustado em 20°C, para condensar possíveis vapores d'água. Uma válvula de contra-pressão (10 atm) é disposta logo após o purgador, de forma a manter a pressão de produção constante. Ao ultrapassar esta válvula, os gases passam por uma coluna de permanganato de potássio (Figura 14), para retirar possíveis compostos de enxofre, e por um filtro para reter material particulado.

Todo esse sistema fica protegido atrás de uma placa de policarbonato.

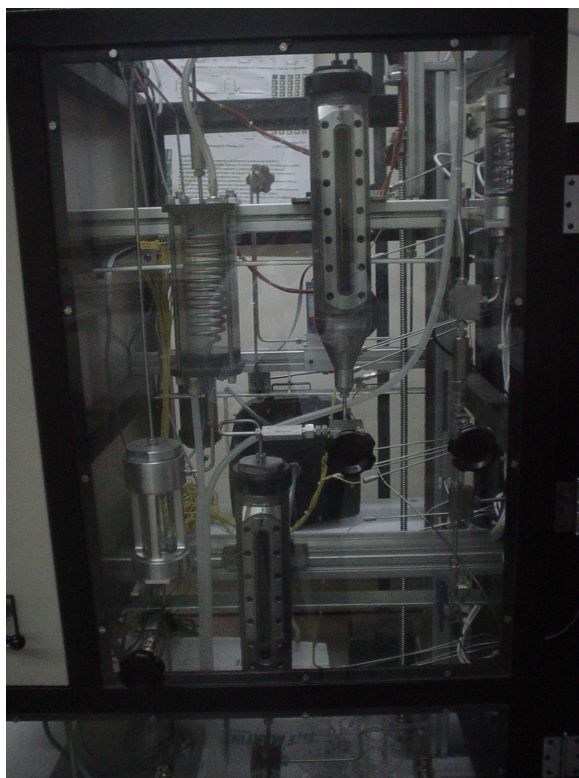


Figura 13. Sistema de produção de fluido



Figura 14: Coluna de permanganato de potássio

4.1.4 Cromatografia Gasosa e Gasômetro

Os gases são encaminhados a um gasômetro (Figura 15), onde têm a vazão medida. Amostras de gases são coletadas em sacos de amostragem de 0,6 l a cada 40 minutos aproximadamente, para a determinação de sua composição através de cromatografia gasosa. O aparelho de cromatografia utilizado foi o CG-90/DCT (Figura 16), que analisa a composição dos seguintes gases: O_2 , CO , CO_2 , H_2 , N_2 e CH_4 , através de um detector de condutividade térmica. As condições operacionais utilizadas no cromatógrafo são descritas na Tabela 3 e um cromatograma típico obtido durante a análise é apresentado na Figura 17.

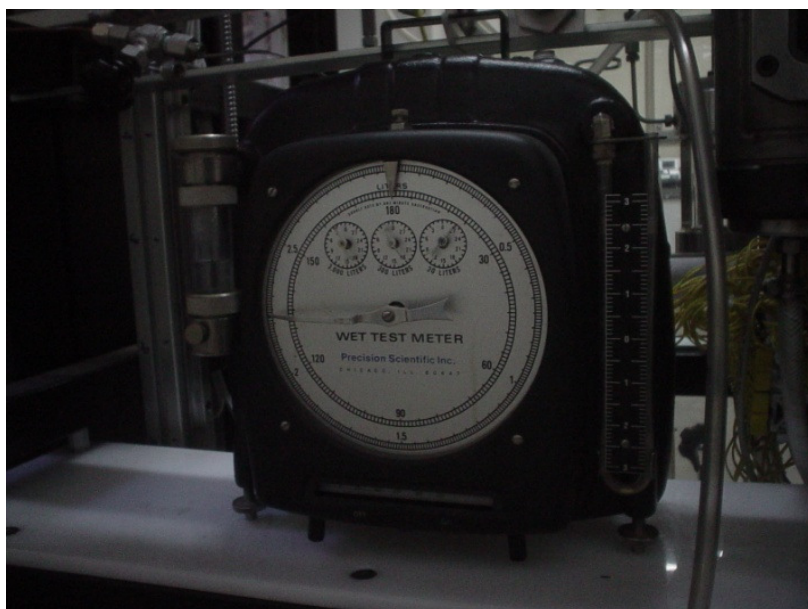


Figura 15. Gasômetro



Figura 16. Cromatógrafo

Tabela 3. Condições operacionais utilizadas na cromatografia gasosa (CG-90/DCT)

Temperatura da coluna (°C)	35
Temperatura do injetor (°C)	35
Temperatura do detector (°C)	100
Vazão (ml/s)	0,5
Corrente do detector (mA)	70

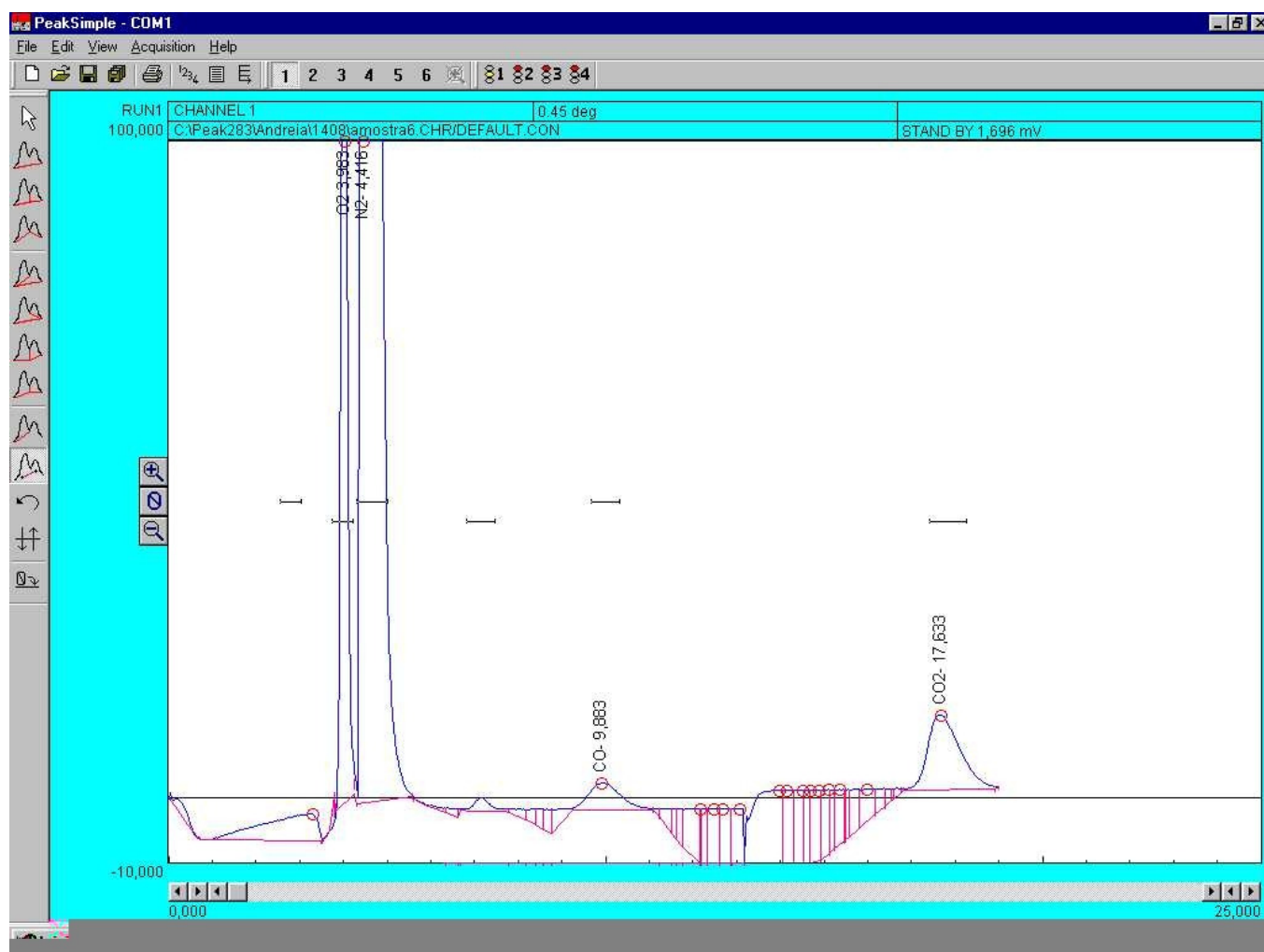


Figura 17. Cromatograma obtido durante análise do gás efluente

4.1.5 Aquisição de Dados

Um programa Eclipse Scada (Figura 18) é utilizado para proceder à aquisição de dados e ao controle do equipamento, das operações de liga/desliga da ignição, das resistências de aquecimento, da automação da sonda móvel. Para a aquisição de dados, o programa foi ajustado para realizar leituras a cada 30 segundos dos seguintes dados: vazão do controlador de fluxo mássico, peso da balança, pressão do sistema, vazão volumétrica do gasômetro, temperatura do banho termostático, temperaturas dos 10 sensores da sonda fixa, dos 10 sensores da sonda móvel, temperaturas dos 8 resistores e dos 8 termopares localizados na parede externa do tubo de combustão.

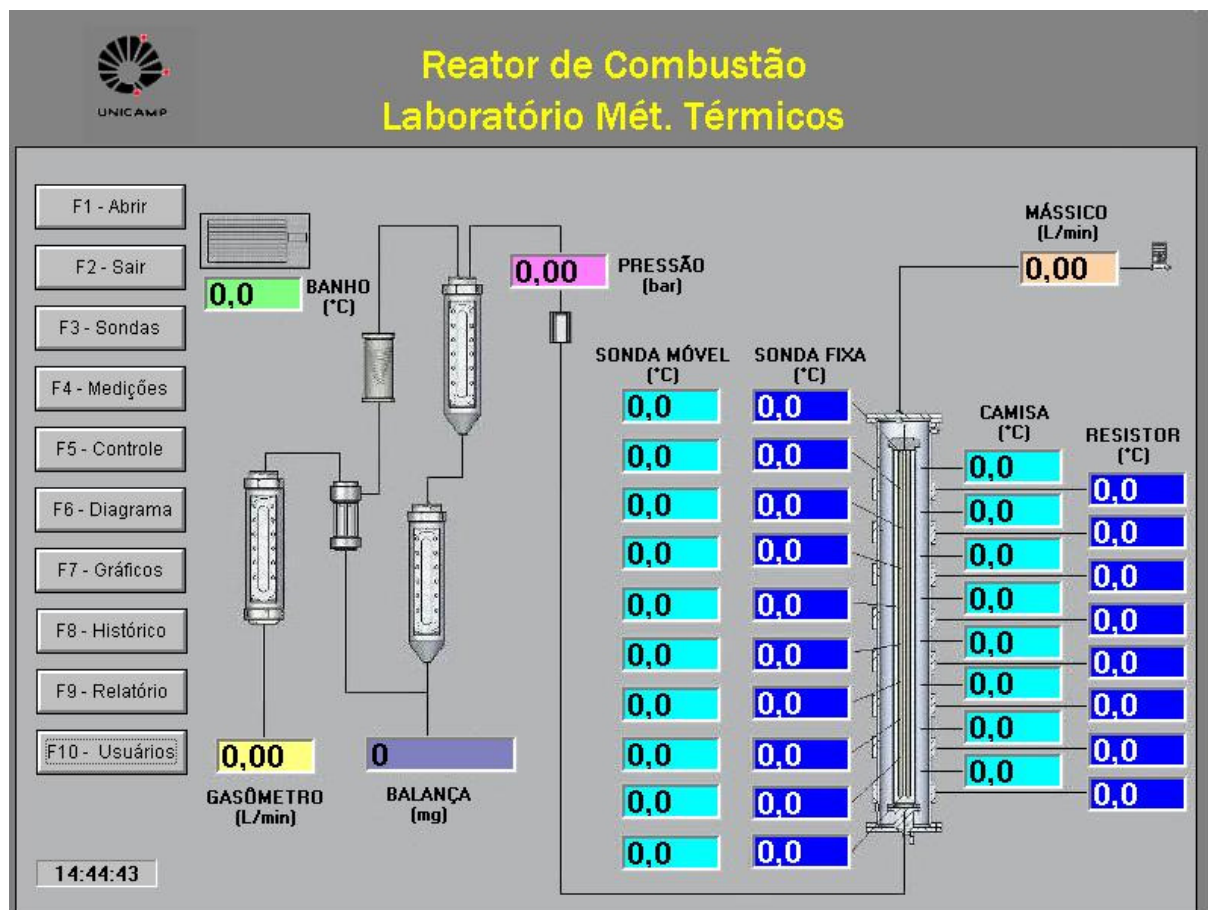


Figura 18. Interface do programa Elipse Scada

4.2 Procedimentos Experimentais

Para o preenchimento do tubo de combustão foi utilizada areia industrial da Mineração Jundu Ltda. A areia foi lavada, secada em estufa por 5 horas e em seguida peneirada até se obter granulometria entre 60-80 *mesh*. A argila utilizada foi a BrasilMinas (BENT CREME 331/325), constituída basicamente de bentonita.

As propriedades do óleo utilizado nos experimentos são apresentadas na Tabela 4, e os dados de viscosidade absoluta (dinâmica) e densidade em função da temperatura são mostrados na Tabela 5.

Já as características da rocha reservatório, estimadas a partir da literatura são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 4. Propriedades do óleo (Pereira, 2008)

°API	12,8
<C ₂₀₊ (%m/m)	12,24
BSW (%)	17
Saturados (%m/m)	41,5
Aromáticos (%m/m)	27,9
Resinas (%m/m)	26,9
Asfaltenos (%m/m)	3,7
Teor de S (%m/m)	0,39
C (%m/m)	75,4
H (%m/m)	11,2
N (%m/m)	0,4

Tabela 5. Viscosidade absoluta e densidade conforme temperatura (Pereira, 2008)

Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)	Densidade (g/cm ³)
90	235	0,9409
80	440	0,9460
70	754	0,9527
60	1508	0,9586
50	3370	0,964
40	8861	0,9692
30	14929	0,9746
20	30456	0,9806

Tabela 6. Propriedades da rocha do reservatório

Porosidade	0,36
Permeabilidade (mD)	10.000
Temperatura (°C)	51

Primeiro os componentes são separados e pesados. O óleo e a água são determinados de modo a se obter uma mistura com as saturações desejadas.

Misturam-se areia e argila e acrescenta-se a água. Por fim, é adicionado o óleo, misturando-se até ficar homogênea, em seguida, a mistura é pesada. Para o caso do primeiro ensaio não foi adicionada argila. A Figura 19 dispõe uma fotografia do óleo utilizado, a Figura 20 da areia limpa e a Figura 21 da mistura de areia, argila, óleo e água logo após o seu preparo.

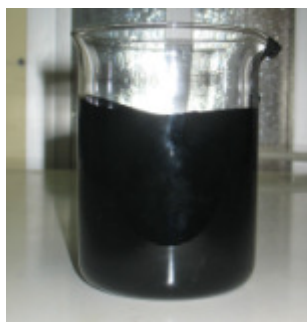


Figura 19. Óleo

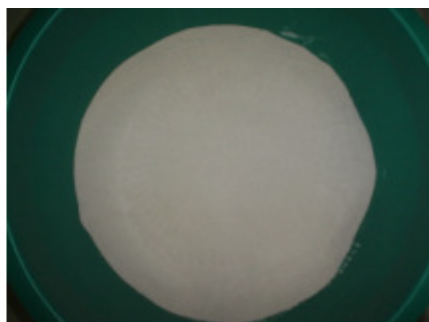


Figura 20. Areia limpa



Figura 21. Mistura de areia, argila, água e óleo

O tubo de combustão é colocado na posição invertida, ou seja, com a base do tubo virada para cima. A sua flange inferior é retirada, deixando as sondas localizadas no interior do tubo presas no flange superior e encaixadas a duas argolas localizadas no final do tubo.

Com o tubo de combustão posicionado de maneira invertida, a mistura é adicionada, de tal modo que primeiro é preenchido o seu topo, até se atingir a base. Inicia-se o preenchimento do tubo com uma camada de aproximadamente 2 cm de areia mais grossa com granulometria entre 20-35 *mesh*, sendo que esta camada é suficiente para cobrir completamente o bico injetor. A seguir, é adicionada mais uma camada desta areia de 20-35 *mesh* (com aproximadamente 4 cm) saturada com 5 cm³ de óleo de linhaça. A areia com granulometria mais grossa ajuda na distribuição e deslocamento do fluido e ajuda a evitar o entupimento da tubulação, enquanto que o óleo de linhaça auxilia na ignição do óleo.

Finalmente, a mistura de areia, argila, água e óleo é inserida no tubo de combustão em porções de aproximadamente 200 g. A cada adição, a mistura é comprimida com um socador. Este procedimento é realizado até a extremidade final do tubo, sendo que os últimos 2 cm do tubo também são preenchidos com areia de granulometria de 20-35 *mesh*. Após, a flange e as conexões são limpas, para retirar possíveis grãos de areia, e o tubo é fechado. A mistura que não foi utilizada no preenchimento é pesada e assim a massa total da mistura utilizada é calculada.

Injeta-se N₂ no tubo a uma taxa muito baixa, para garantir que o gás inerte não contenha oxigênio. Após, o tubo é encaixado dentro da jaqueta de vácuo, e o sistema de injeção de ar é conectado no flange superior do tubo e o sistema de ignição é acoplado. Os termopares são encaixados dentro dos tubos-guias.

Primeiramente é testada a pressurização do sistema de produção de fluido, do tubo de

combustão e da jaqueta de vácuo. Ao verificar a ausência de vazamentos, as resistências em torno da jaqueta são ligadas com uma temperatura de referência de 53°C e o conjunto assim fica por 12 horas, após o que, o sistema se estabiliza na temperatura de 51°C, simulando a temperatura do reservatório.

Depois da estabilização da temperatura, o tubo de combustão e o sistema de produção de fluido são pressurizados com N₂ através de duas válvulas T. N₂ é injetado tanto pela saída como pela entrada do tubo de combustão e através da entrada do sistema de produção de fluidos. Finalmente, é realizado vácuo na jaqueta.

Antes do início de cada experimento, é realizado o ajuste dos seguintes equipamentos: o controlador de fluxo mássico é calibrado com a taxa de injeção de cada experimento, o programa de aquisição e controle de dados Elipse Scada é ligado, os termopares são ajustados na altura em que se encontra o óleo de linhaça (altura do resistor de ignição) e a temperatura do banho termostático é ajustada em 20°C.

A ignição é ligada. Quando a temperatura do primeiro sensor da sonda fixa (que indica a temperatura no centro do tubo na altura do resistor de ignição) atinge a temperatura de 500°C, inicia-se a injeção de ar sintético, sendo este momento considerado o início do experimento.

A ignição é desligada após a verificação do início da movimentação da frente de combustão.

Durante o experimento são realizadas coletas de gás efluente a cada 40 minutos aproximadamente para determinação de sua composição através de cromatografia gasosa. Além disto, a cada 15 minutos aproximadamente é verificada a produção volumétrica de óleo e água. Os demais dados de temperatura, pressão, fluxo mássico e massa são adquiridos através do programa Elipse Scada, sendo realizadas leituras a cada 30 segundos.

Terminado o ensaio, as provetas contendo o fluido produzido são colocadas em uma centrífuga (FANEM Excelsa II, modelo 206-BL com trava) apresentado na Figura 22 a uma velocidade de 1000 RPM por 10 minutos e as medidas das fases água e óleo são determinadas. Após, o teor de umidade da fase óleo é analisado através da titulação Karl Fischer (Titulador Karl Fischer Volumétrico 841 Titrand, acoplado com um forno modelo 832 KF ThermoPrep, todos do fabricante Metrohm) apresentado na Figura 23.



Figura 22. Centrífuga



Figura 23. Aparelho de Karl Fischer

Amostras de areia em diversas posições do tubo de combustão são analisadas através do equipamento Dean-Stark (Figura 24) para detectar a saturação residual do óleo.

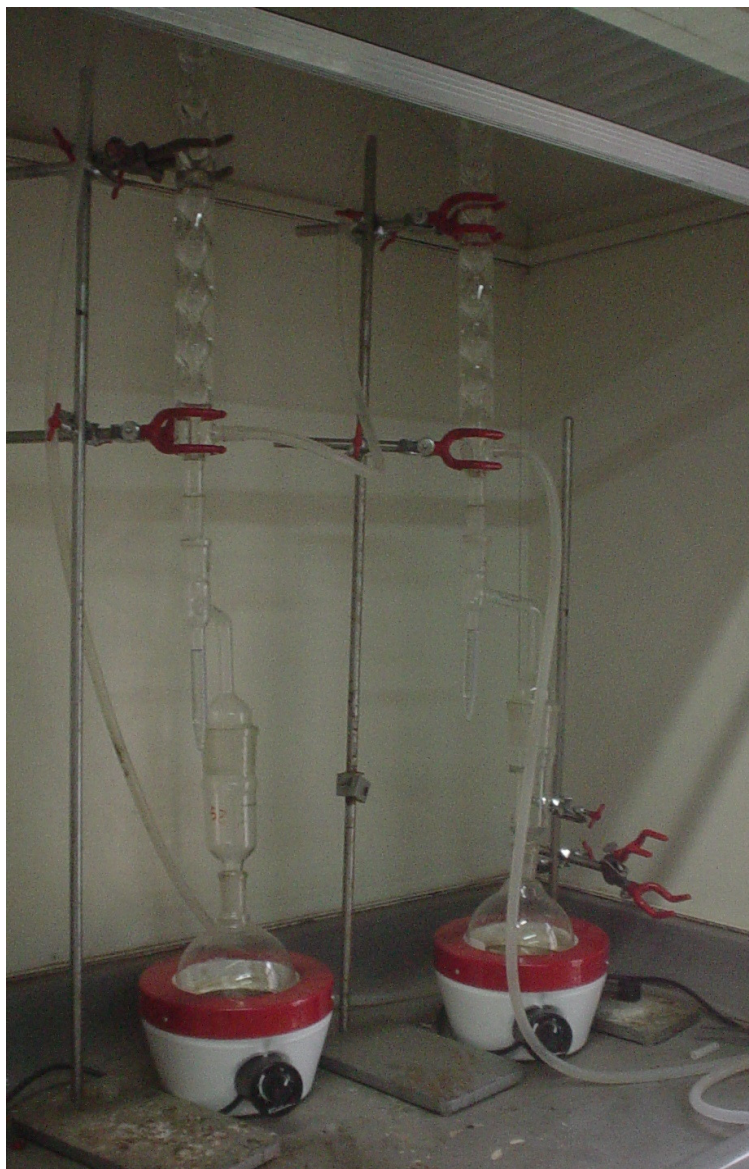


Figura 24. Aparato Dean-Stark

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Os ensaios em tubo de combustão são feitos com o objetivo de se obter dados sobre as características de combustão do sistema composto rocha-óleo-água.

Através dos dados obtidos dos ensaios no tubo de combustão é possível verificar os perfis de temperatura ao longo do tubo, a propagação e velocidade da frente de combustão, a taxa de produção de gás, água e óleo, a composição dos gases produzidos, o teor de umidade do óleo produzido e o fator de recuperação.

Com esses dados é possível determinar os parâmetros básicos da combustão *in-situ*, fundamentais para o desenvolvimento de projetos, tais como:

- a razão aparente de H/C
- razões de $(\text{CO}_2 + \text{CO})/\text{CO}$ e $(\text{CO}_2 + \text{CO})/\text{N}_2$
- razão ar/combustível, que é o volume de ar requerido para queimar uma unidade de combustível.
- razão O_2 /combustível, que é o volume mínimo de oxigênio necessário para queimar uma unidade de massa de combustível.
- excesso de O_2
- fração de O_2 utilizado
- fração de conversão de O_2 reagido em óxidos de carbono, que é um indicativo do grau de ocorrência das reações de LTO.

A metodologia para determinar estes parâmetros foi desenvolvida por Dr. Gardon Moore e Dr. Raj Mehta da Universidade de Calgary (Canadá) e se baseia na estequiometria da reação de HTO apenas. Apesar das reações de pirólise e LTO ocorrerem no tubo, geralmente apenas as reações de HTO são representadas durante o processo e usadas para a análise dos dados do tubo de combustão (Sarathi, 1998). A descrição desta metodologia é apresentada no Apêndice A.

5.1. Ensaio experimental 1

Neste primeiro ensaio não foi adicionada argila na composição da mistura inicial e as saturações iniciais foram mantidas em 25% de óleo, 25% de água e 50% de gás inerte.

O resistor de ignição foi ligado às 9h06 e aguardou-se até às 9h35 para o início da injeção de ar (início do ensaio) quando foi atingida uma temperatura superior a 500°C.

Através dos perfis de temperatura ao longo do tubo (Figura 25) e do tempo (Figura 26) é possível observar que sob as condições estudadas a frente de combustão não conseguiu avançar. A temperatura mais alta alcançada durante este experimento foi de 560,7°C localizada no primeiro sensor do termopar. Porém, esta temperatura não se manteve constante e começou a diminuir, enquanto a temperatura no segundo sensor aumentava muito pouco, indicando que a frente de combustão não avançava. O pequeno aumento de temperatura no segundo sensor foi ocasionado pelas reações de LTO e pela movimentação da corrente de ar, que ao ser injetado no tubo de combustão empurra o ar quente para baixo e, por convecção, provoca um aumento de temperatura na região abaixo do topo do tubo.

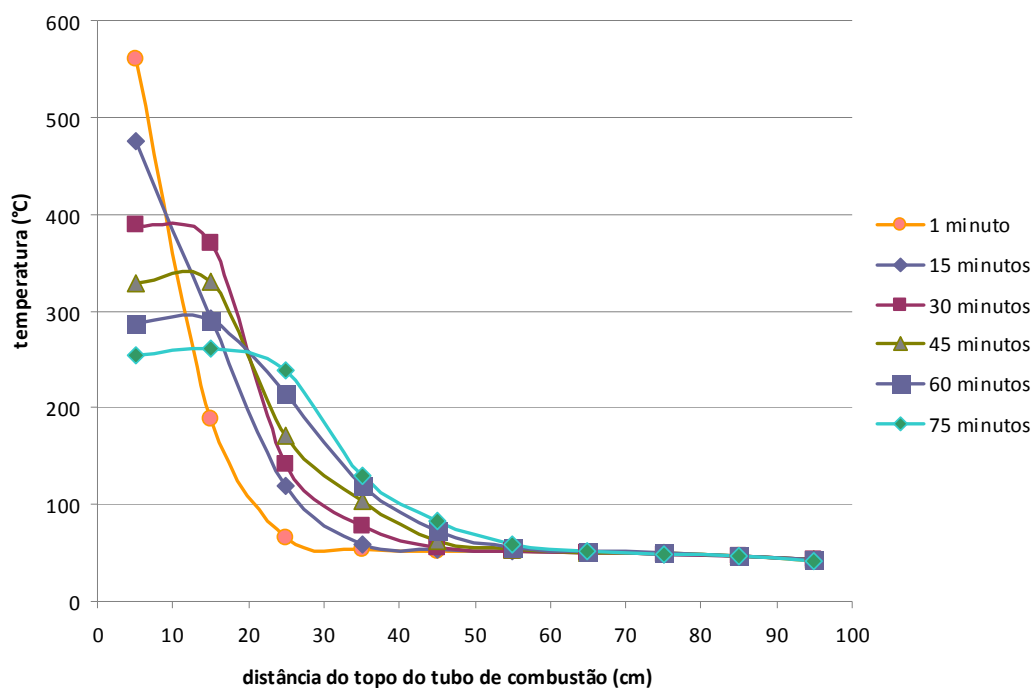


Figura 25. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 1

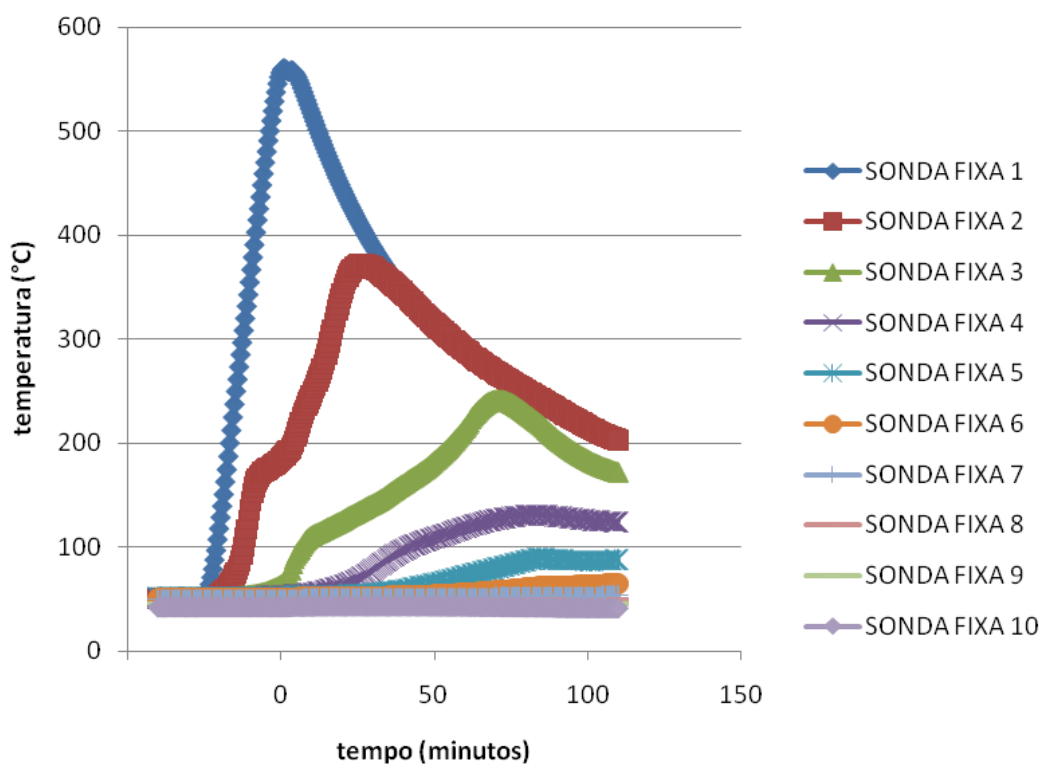


Figura 26. Histórico de temperatura em diversas posições – Experimento 1

A produção de gás foi iniciada quase imediatamente após o início da injeção de ar, sendo liberada pela válvula de contrapressão ajustada em 10 bar. Foram realizadas três coletas de amostra de gases respectivamente 27, 74 e 88 minutos após o início do experimento. A Tabela 7 apresenta a composição dos gases obtidos durante o experimento. A análise dos gases também indica a extinção da frente de combustão. A presença dos gases monóxido de carbono e, principalmente, dióxido de carbono, que indicam a ocorrência da reação de oxidação, diminui à medida que o experimento transcorre, enquanto a concentração de oxigênio aumenta, indicando que não há mais o seu consumo. A amostra coletada aos 88 minutos apresenta sua composição próxima à do ar sintético injetado no tubo de combustão.

Tabela 7. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 1

Gás	27 min	74 min	88 min
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)
H ₂	0,03	0,00	0,00
O ₂	11,67	16,92	18,07
N ₂	83,78	81,29	81,42
CH ₄	0,00	0,00	0,00
CO	1,49	0,69	0,00
CO ₂	3,05	1,10	0,51

Aos 81 minutos a válvula de produção de fluido foi aberta e foram coletadas 2,73g de água, conforme mostra a Figura 27.



Figura 27: Fluido produzido durante o experimento 1

Ao verificar que a frente de combustão não estava avançando, a injeção de ar foi desligada depois de passados 91 minutos do seu início.

O tubo foi deixado em resfriamento natural, e no dia seguinte procedeu-se à sua abertura, de modo a permitir a análise do seu conteúdo.

Nos 17,5 cm iniciais do tubo de combustão encontrou-se areia com coloração clara e aspecto de limpa, conforme pode ser observado na Figura 28. Na região seguinte deparou-se com um volume que identificamos como zona de combustão, com a presença de coque (Figura 29), numa formação consolidada e resistente, de cor escura, tornando a limpeza do tubo extremamente difícil. Já a mistura de areia não queimada, à frente da zona de combustão, apresentava o mesmo aspecto da mistura inicial, conforme pode ser observado na Figura 30.

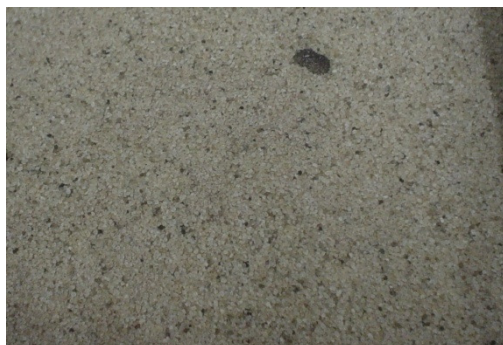


Figura 28. Areia presente nos 17,5 cm iniciais do tubo



Figura 29. Pedacos de coque formados durante Experimento 1

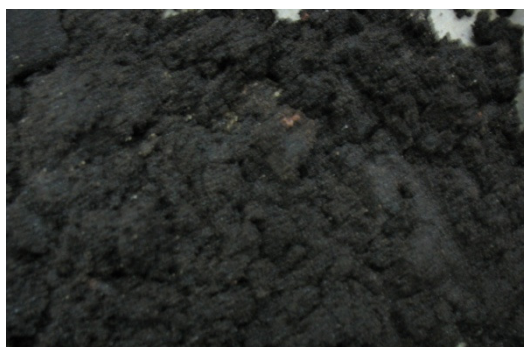


Figura 30. Mistura de areia, óleo e água contida no restante do tubo

Com a presença de CO e CO_2 nos gases produzidos, consistente com a constatação de uma região inicial de areia de aspecto limpo, seguida de uma região com presença de coque, pode-se concluir que a reação de combustão começou a ocorrer, porém as condições não foram adequadas para que a mesma se sustentasse. A reação de HTO se extinguiu após a frente avançar o trecho inicial do tubo, permanecendo então apenas as reações de LTO. Fato comprovado com a constatação de uma espessa camada de coque logo adiante no tubo.

A primeira hipótese de causa para a não sustentação da queima repousa na hipótese de que pode não haver ocorrido a deposição de combustível suficiente para sustentar a combustão. Registro de caso semelhante encontra-se relatado na literatura. A extinção da frente de combustão também foi observada por Mamora (1993), cujo ensaio no tubo de combustão consistia em queimar óleo pesado ($11,5^\circ\text{API}$) em uma mistura de areia e óleo. Expandindo seus ensaios, os autores constataram a importância da presença de argila no meio poroso. Esta atua como um catalisador das reações de oxidação, ao tempo em que aprisiona o óleo, diminui a permeabilidade e ajuda assim na concentração de combustível. A causa da extinção da frente de combustão foi atribuída pelos autores principalmente ao fato da ausência da argila.

Uma segunda possibilidade, para a não sustentação da queima, está associada à perda de adiabaticidade no processo. No gráfico da Figura 31 pode ser observada a persistente diferença de temperaturas entre o tubo e a jaqueta, possibilitando perda de calor do tubo pelas paredes laterais. Ocorrência provocada pelo mau funcionamento do controle dos resistores. Estes não garantiram que a temperatura da parede do tubo fosse mantida na mesma temperatura do centro do tubo. Isto também pode ter contribuído para a frente de combustão se extinguir. Ocorrência semelhante encontra-se relatada na literatura. Greaves *et al.*(2000b) experimentaram uma falta de potência dos aquecedores de contorno, que não proporcionaram a condição adiabática, desejável para o processo de combustão *in-situ*. Os autores observaram que a ocorrência provocou uma redução da temperatura da combustão, porém, no experimento realizado a frente não se extinguiu.

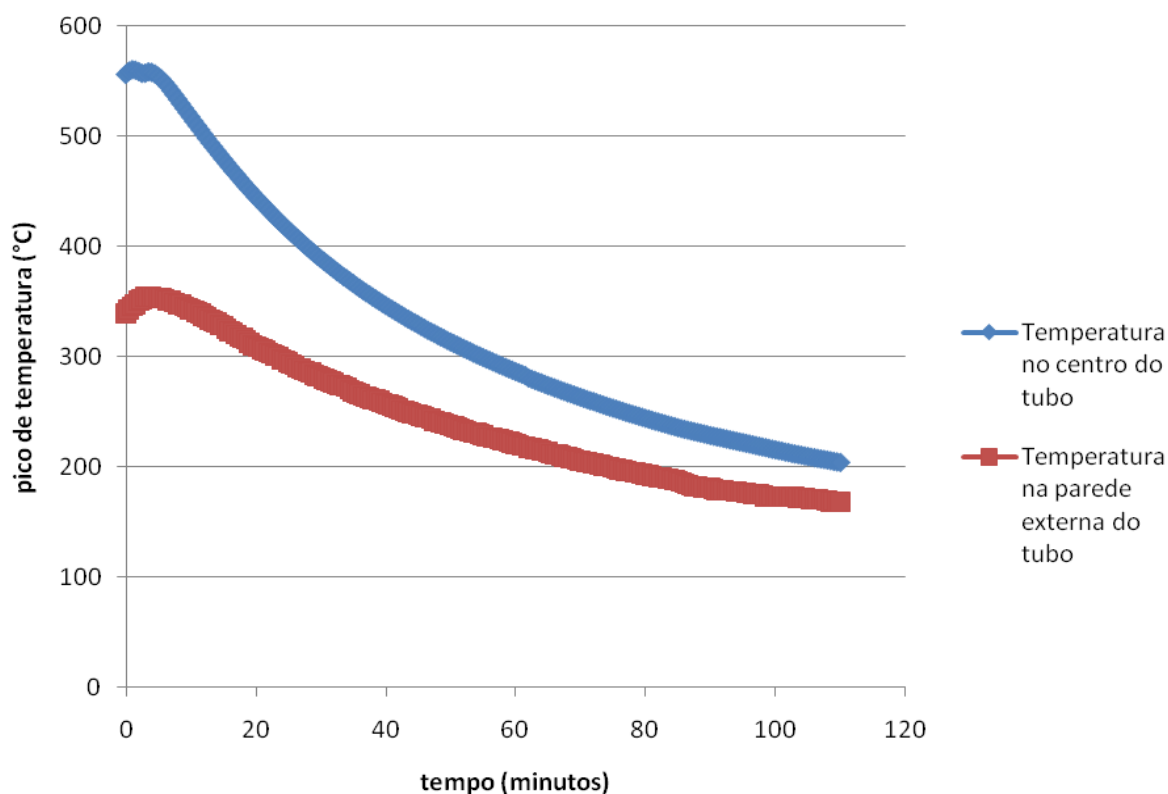


Figura 31. Perfis de temperatura no centro e lateral do tubo - Experimento 1

5.2. Ensaio experimental 2

Neste ensaio, foi acrescentada argila na composição da mistura, na proporção mássica

de 4,5%, e as saturações iniciais foram mantidas em: 25% de óleo, 25% de água e 50% de gás inerte.

Manutenções na montagem experimental, incluindo uma correção no *software* de controle dos resistores foram realizadas antes do início deste experimento.

Após os procedimentos iniciais de preparação já relatados no experimento anterior, a ignição foi ligada às 9h49 e o experimento teve início às 10h13 quando a temperatura do primeiro resistor atingiu 500°C. Após o início da injeção de ar, a ignição ainda permaneceu ligada por mais 20 minutos. Durante este período foi possível verificar a elevação na temperatura na faixa do tubo de combustão que se encontra na altura do resistor de ignição. A Figura 32 apresenta o histórico das temperaturas da sonda fixa. O primeiro pico indicado pelo termopar 1 refere-se ao excesso promovido pela inércia do sistema para que a temperatura da ignição se estabilize na temperatura pré-estabelecida (500°C). Já, o início do segundo pico coincide com o instante em que o resistor de ignição foi desligado. Esta elevação de temperatura indica o início da reação de combustão.

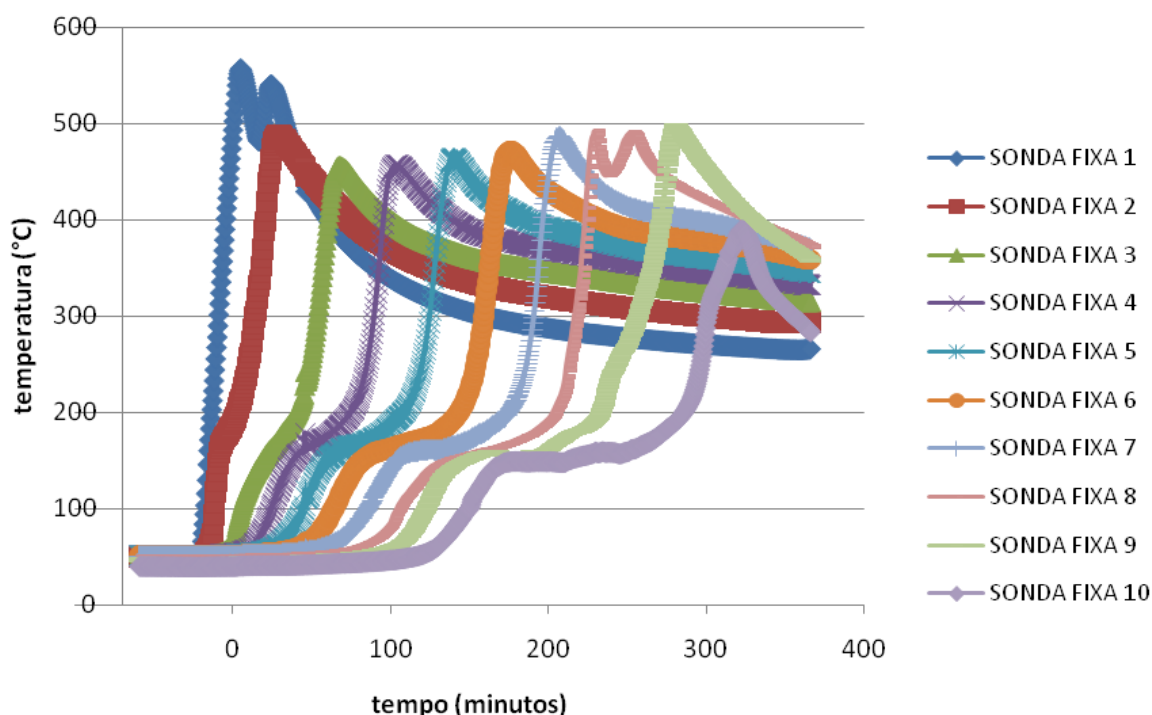


Figura 32. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 2

A Figura 33 apresenta o perfil da frente de combustão ao longo do tubo em instantes determinados e a Figura 34 apresenta a velocidade e a temperatura desta frente. É possível

verificar que a frente de combustão apresenta um comportamento estável com temperatura de aproximadamente 485°C e sua velocidade permanece praticamente constante em 18,3 cm/h. E após 300 minutos do início do experimento, a frente de combustão já começa a se extinguir.

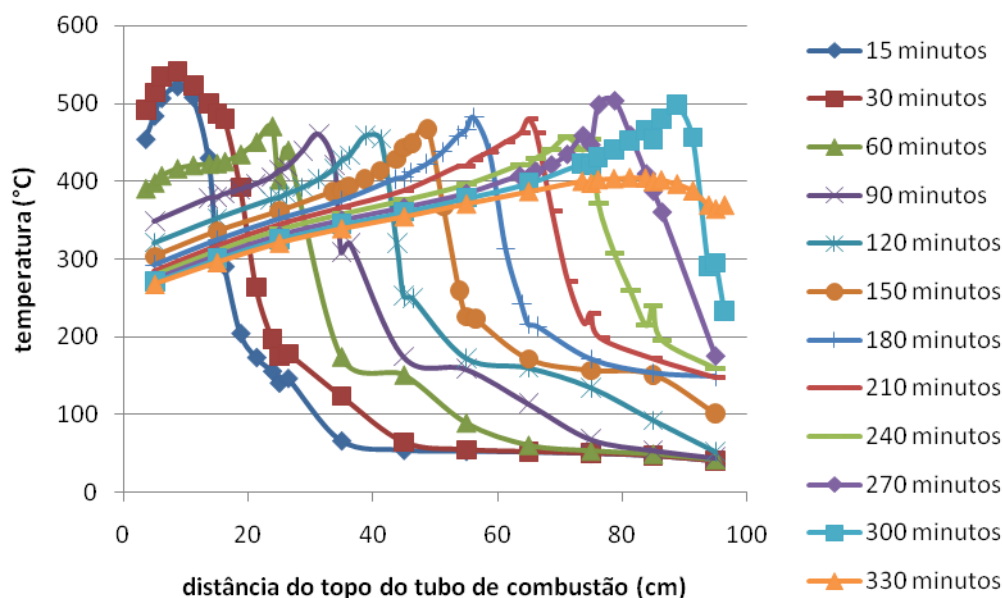


Figura 33. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 2

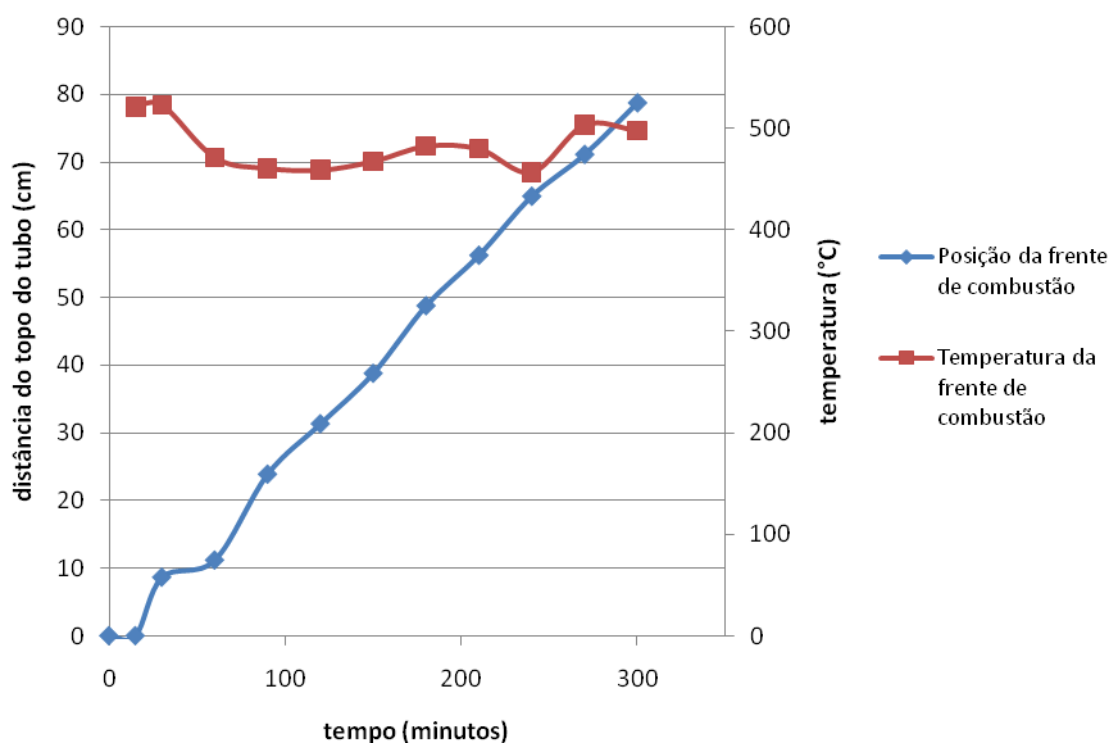


Figura 34. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 2

O histórico da pressão do sistema e a taxa de injeção de ar sintético são apresentados na Figura 35.

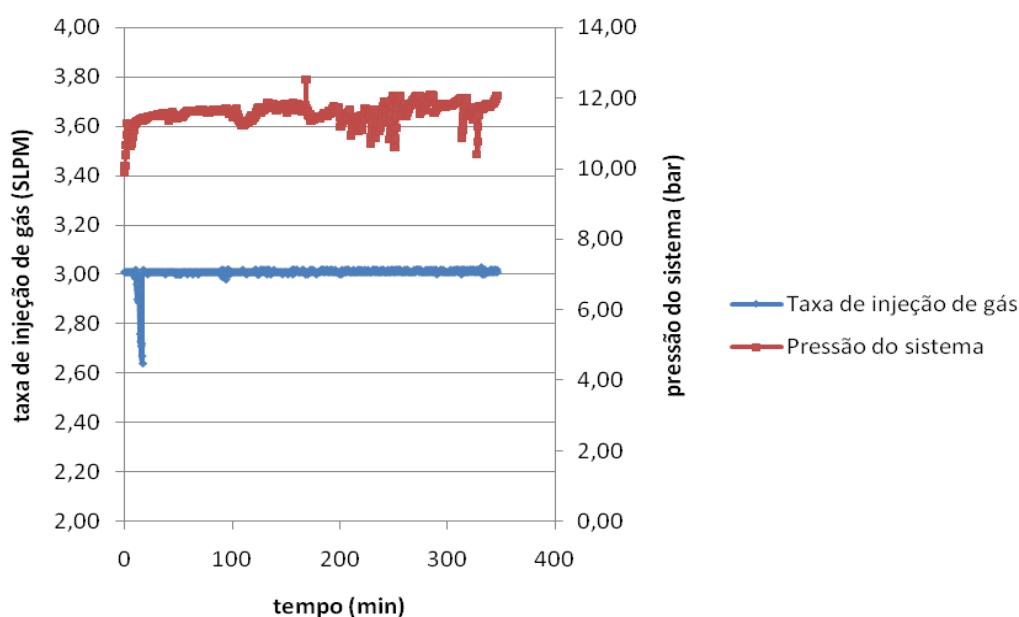


Figura 35. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 2

A produção de gases durante o experimento pode ser visualizada na Figura 36, que apresenta a produção acumulada em litros e a taxa de produção em l/min.

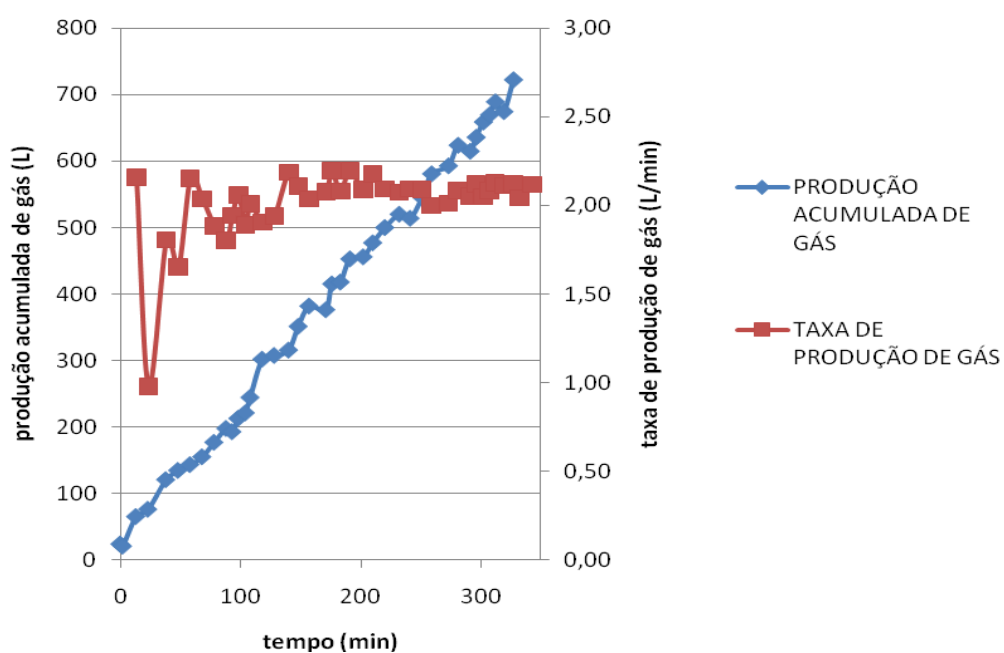


Figura 36. Produção de gás – Experimento 2

A composição do gás efluente (Figura 37 e Tabela 8) manteve-se quase constante durante o experimento, com exceção da primeira amostra, coletada logo no início do experimento e das duas últimas amostras, coletadas quando a frente já havia se extinguido. Assim, a média da concentração dos gases produzidos durante o período de combustão estável foi de: 5,38% de O₂, 82,45% de N₂, 3,18% de CO e 8,99% de CO₂. Não foram detectadas concentrações significativas de H₂ e CH₄ nas amostras. A Figura 38 apresenta a razão aparente de H/C, razão CO₂/CO e razão CO/(CO+CO₂), cujas médias foram: 1,962; 2,83 e 0,261 respectivamente. Estes valores indicam a ocorrência de reações de oxidação em altas temperaturas (HTO). Para valores de razão H/C maiores que 1, há a indicação de ocorrência de reações de HTO.

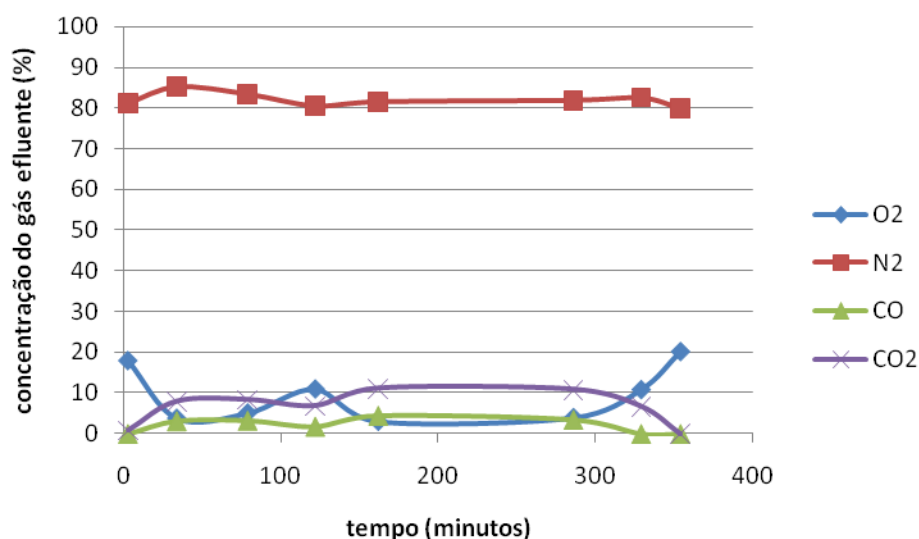


Figura 37. Composição do gás efluente – Experimento 2

Tabela 8. Análise cromatográfica dos gases - Experimento2

Gás	3 min	34 min	79 min	122 min	162 min	286 min	329 min	554 min
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	Amostra 4 (%)	Amostra 5 (%)	Amostra 6 (%)	Amostra 7 (%)	Amostra 8 (%)
H ₂	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00
O ₂	17,95	3,80	5,10	11,01	3,05	3,93	10,86	20,20
N ₂	81,03	85,18	83,37	80,40	81,47	81,12	82,46	79,80
CH ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	3,10	3,21	1,76	4,40	3,39	0,00	0,00
CO ₂	0,87	7,92	8,31	6,83	11,08	10,70	6,68	0,00

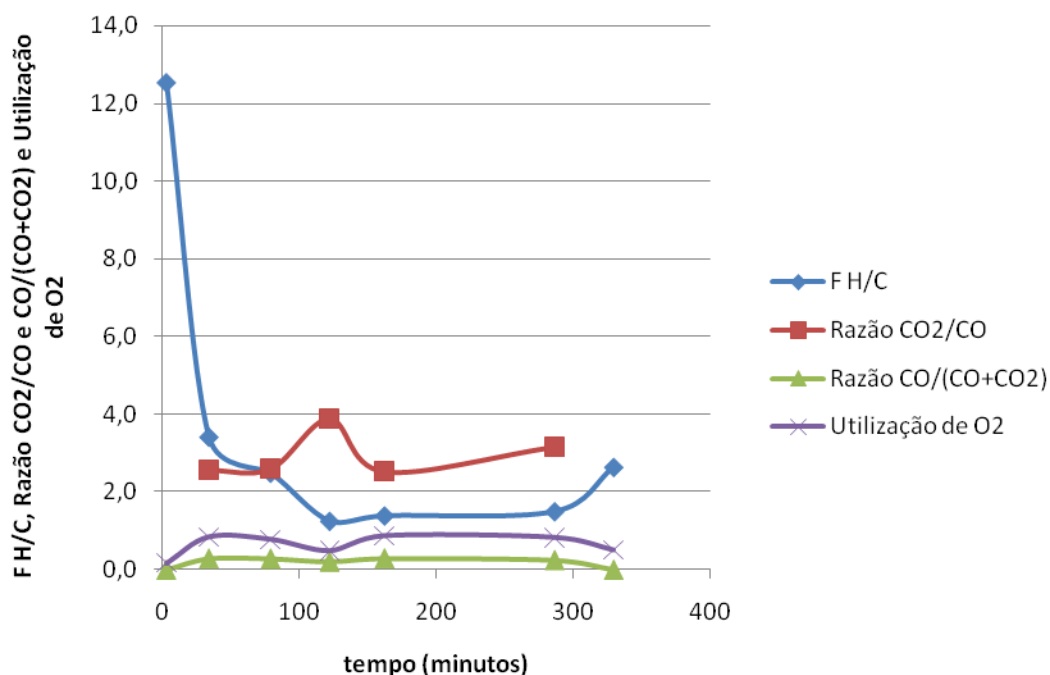


Figura 38. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2

A Tabela 9 apresenta um resumo com os demais parâmetros determinados nesta corrida experimental, sendo possível verificar que o consumo de combustível, o ar requerido e a utilização de oxigênio são todos compatíveis com a queima bem sucedida.

Tabela 9. Resumo dos parâmetros da combustão *in-situ* – Experimento 2

Razão H/C	1,962
Razão O_2 /Combustível ($m^3(ST)/kg$)	3,045
Razão Ar/Combustível ($m^3(ST)/kg$)	14,494
Fração de Conversão de O_2 injetado em Óxidos de Carbono	0,482
Fração de Conversão de O_2 reagido em Óxidos de Carbono	0,639
Fração de O_2 utilizado	0,755
Excesso de Ar	0,325
Razão $(CO_2+CO)/CO$	3,827
Razão $(CO_2+CO)/N_2$	0,148
Ar requerido (m^3/m^3)	215,5
Consumo de Combustível (kg/m^3)	15,13

O consumo de combustível obtido foi de 15,13 kg de combustível por m^3 de reservatório. Já o ar requerido, que é um dos parâmetros mais importantes para a avaliação econômica do processo, permaneceu em 215,5 m^3 de ar para recuperar 1 m^3 de óleo. Outro

parâmetro importante para a avaliação econômica do processo é a razão ar/combustível que permaneceu em 14,494 m³ de ar consumido por kg de combustível. A fração de O₂ reagido em óxidos de carbono, que é um indicativo da ocorrência das reações de LTO, ficou em 63,9%.

A fração de O₂ utilizada foi de 75,5%, gerando um excesso de ar de 32,5%.

Os valores encontrados para os parâmetros desta corrida experimental são compatíveis com os encontrados na literatura. A Tabela 10 apresenta a comparação dos resultados obtidos neste experimento com os valores encontrados por Rodriguez (2004) e Mamora (1993).

Rodriguez realizou dois ensaios experimentais utilizando óleo de 9-11°API e Mamora utilizou óleo com 11,5 e 10,2°API. As condições experimentais dos ensaios realizados pelos dois autores são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 10. Comparação entre dados da literatura dos parâmetros da combustão *in-situ* e dados deste trabalho

	Rodriguez (2004)		Mamora (1993)		(2009)
	Run 2	Run 7	CL13	VEN5	Experimento 2
Razão H/C	1,174	2,230	1,600	1,630	1,962
Razão O ₂ /Combustível (m ³ (ST)/kg):	2,343	2,574	2,336	2,281	3,045
Razão Ar/Combustível (m ³ (ST)/kg)):	11,155	12,253	11,121	10,857	14,494
Fração de Conversão de O ₂ injetado em Óxidos de Carbono:	0,670	0,555	0,631	0,649	0,482
Fração de Conversão de O ₂ reagido em Óxidos de Carbono:	0,749	0,612	0,688	0,684	0,639
Fração de O ₂ utilizado:	0,894	0,906	0,917	0,949	0,755
Excesso de Ar:	0,119	0,103	0,091	0,054	0,325
Razão (CO ₂ +CO)/CO:	4,032	3,533	3,220	3,367	3,827
Razão (CO ₂ +CO)/N ₂ :	0,203	0,172	0,199	0,203	0,148

Tabela 11. Condições experimentais de ensaios realizados por Rodriguez (2004) e Mamora (1993)

	Rodriguez (2004)		Mamora (1993)	
	Run 2	Run 7	CL13	VEN5
So (%)	23,79	23,24	29	29
Sw (%)	25,26	22,08	26	27
Sg (%)	50,95	54,67	45	44
ϕ (%)	36,22	36,29	31	31
Q (L/min)	3,0	3,0	3,0	3,0
Óleo (% massa)	4,69	4,60	4,6	4,6
Água (% massa)	4,04	4,02	4,1	4,1
Areia (% massa)	86,60	86,79	86,8	86,8
Argila (% massa)	4,67	4,60	4,6	4,6

As provetas de 100 ml contendo as fases de água e óleo foram colocadas em uma centrífuga (FANEM Excelsa II, modelo 206-BL com trava) a uma velocidade de 1000 RPM por 10 minutos e as medidas das fases água e óleo foram determinadas. Após, foram retiradas amostras de óleo das provetas 3 à 9 e o teor de umidade foi analisado em triplicata através da titulação Karl Fischer (Titulador Karl Fischer Volumétrico 841 Titrando, acoplado com um forno modelo 832 KF ThermoPrep, todos do fabricante Metrohm). Os valores do teor de umidade em massa das amostras de óleo são apresentados na Tabela 12. O valor final de recuperação de óleo foi de 84%.

Tabela 12. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 2

Nº Proveta	Teor de Umidade do Óleo (%)
1	-
2	-
3	18,30
4	17,39
5	9,91
6	12,08
7	2,80
8	8,32
9	12,43

O histórico de produção de fluido pode ser verificado na Figura 39 e o fator de recuperação de óleo na Figura 40. Uma avaliação fotográfica da sequência de fluidos produzidos pode ser feita na Figura 41.

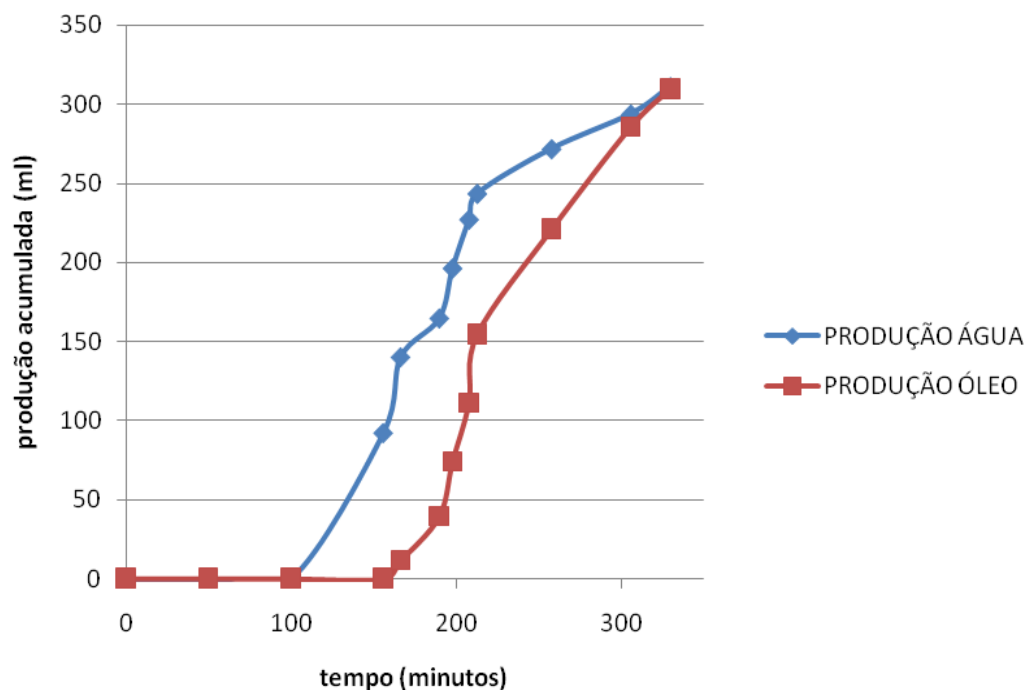


Figura 39. Histórico da produção de fluidos – Experimento 2

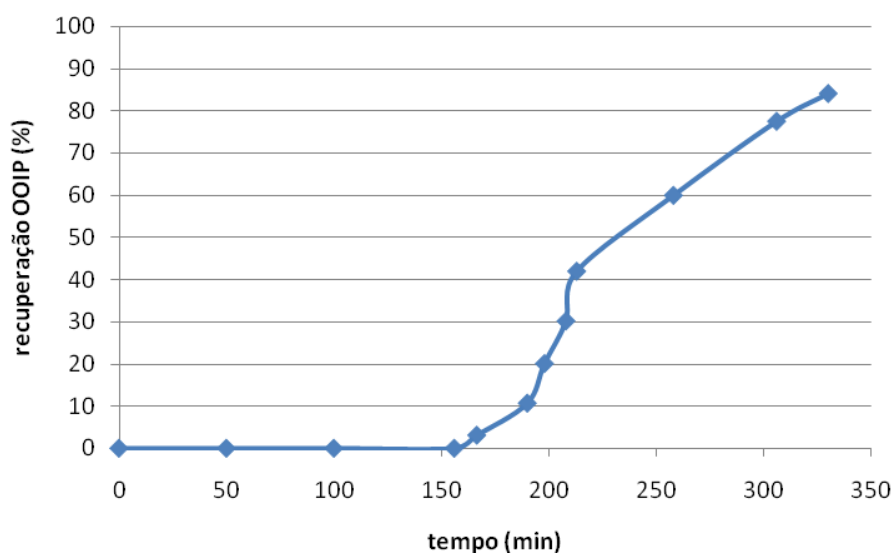


Figura 40. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 2

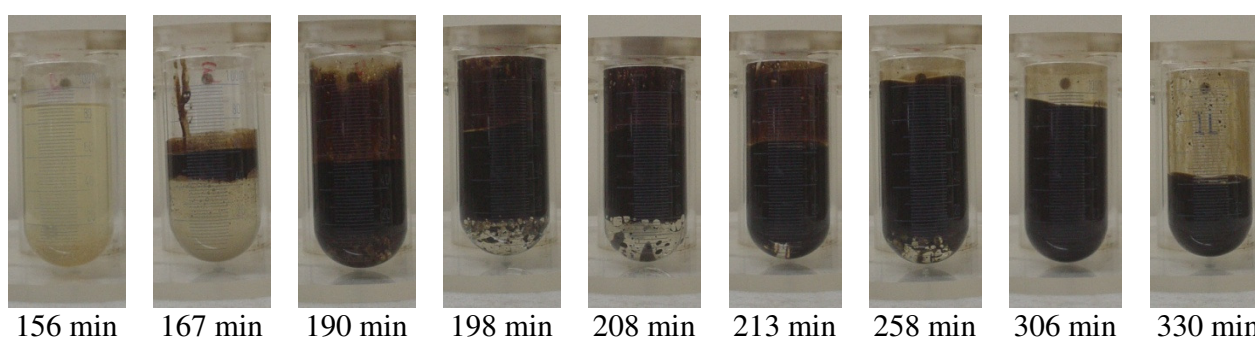


Figura 41. Sequência de fluidos produzidos durante o experimento 2 com o respectivo tempo de produção

O óleo produzido apresenta um $^{\circ}\text{API}$ de 18,6, tendo assim um aumento de $5,8^{\circ}\text{API}$. A produção de água foi iniciada após 103 minutos da injeção de ar e a produção de óleo após 165 minutos.

No dia seguinte ao ensaio, o tubo de combustão foi aberto e cuidadosamente foram retiradas amostras de areia em determinados pontos do tubo de combustão para análise de óleo residual através do Dean-Stark.

A *Figura 42* apresenta a amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão e as amostras retiradas do tubo após o ensaio são apresentadas na *Figura 43* com as respectivas distâncias em relação ao topo do tubo. Essas amostras apresentam aspecto limpo e claro e foram realizadas três análises com uma amostra do topo, do meio e do final do tubo e em nenhuma análise foi verificada a presença de óleo residual, indicando uma alta eficiência do processo. Todo combustível depositado foi consumido e todo óleo deslocado.



Figura 42. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 2

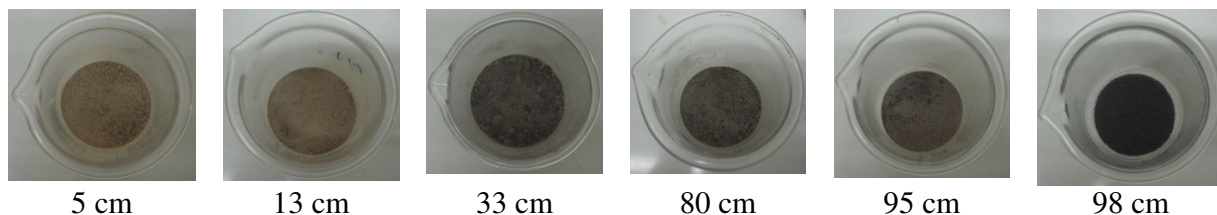


Figura 43. Sequência da areia presente no tubo de combustão com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 2

5.3. Ensaio experimental 3

Neste ensaio experimental a concentração de argila na amostra inicial foi alterada para 10%, sendo que as demais proporções mássicas foram mantidas em: 80,0% de areia, 5,9% de óleo e 4,1% de água. Já as saturações iniciais permaneceram em 25% de óleo, 25% de água e 50% de gás.

A ignição foi ligada às 9h40 e o experimento iniciou às 10h07, quando a temperatura no resistor de ignição atingiu 500°C. Após o início da injeção de ar, a ignição permaneceu ligada por mais 20 minutos.

O histórico das temperaturas da sonda fixa pode ser visualizado na Figura 44. Neste experimento também foi possível verificar a ocorrência de um pico no termopar 1 devido ao excesso promovido pela inércia do sistema para a estabilização da temperatura da ignição.

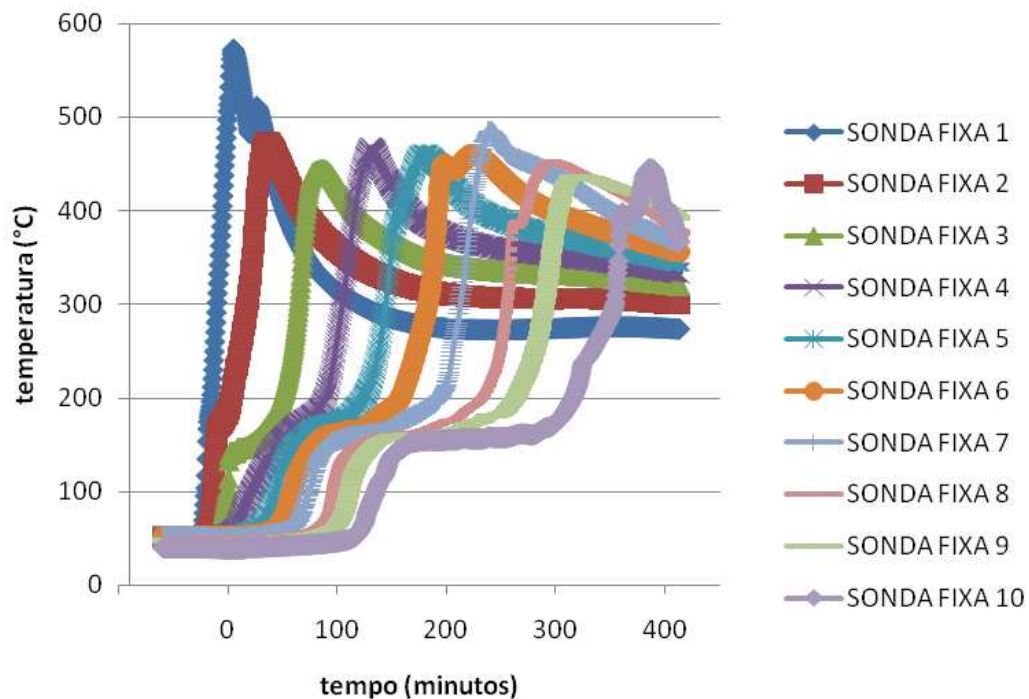


Figura 44. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 3

A Figura 45 apresenta o perfil da frente de combustão ao longo do tubo em instantes determinados e a Figura 46 apresenta a velocidade e a temperatura da frente. É possível verificar que a frente de combustão apresenta uma temperatura de aproximadamente 457°C e sua velocidade permanece praticamente constante em 14,1 cm/h. E após 350 minutos do início do experimento, a frente de combustão já começa a se extinguir.

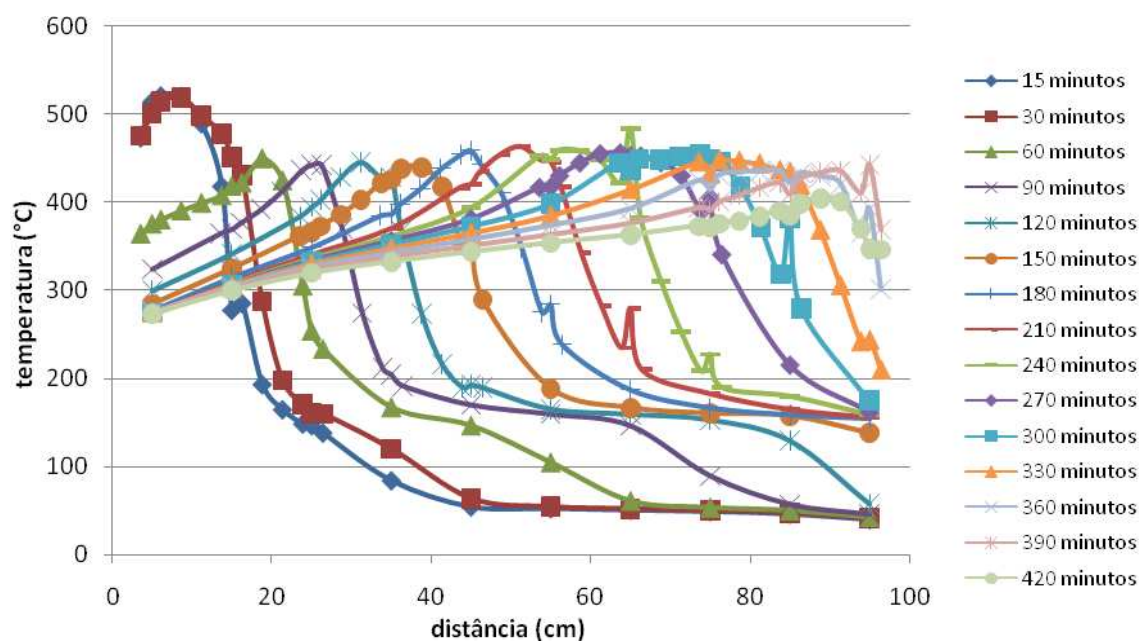


Figura 45. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 3

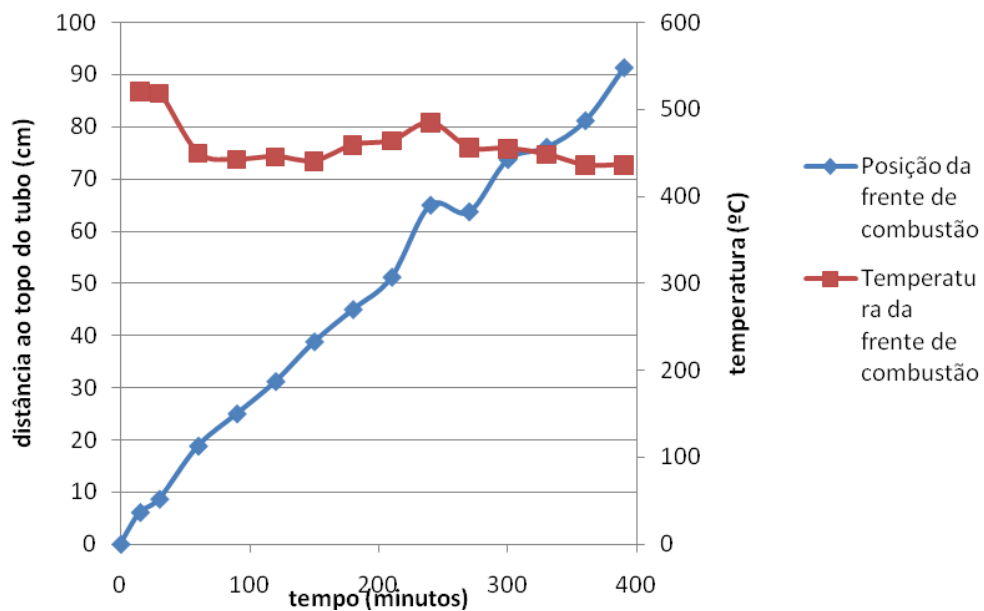


Figura 46. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 3

O histórico da pressão do sistema e a taxa de injeção de ar sintético são apresentados na Figura 47. A taxa de injeção foi mantida constante durante todo o experimento, já a pressão apresentou uma oscilação no início do experimento, coincidindo com o momento de início de produção de gás, quando a válvula de contra-pressão é aberta para a liberação do gás.

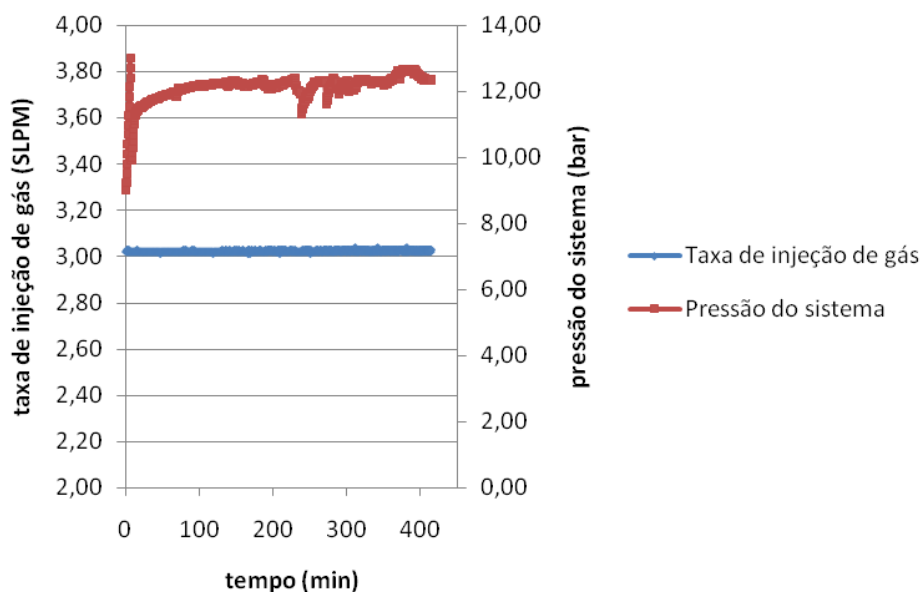


Figura 47. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 3

A produção de gases durante o experimento pode ser visualizada na Figura 48, que apresenta a produção acumulada em litros e a taxa de produção em l/min. A produção de gás começou 7 minutos após o início da injeção de ar e permaneceu praticamente constante em 2,16 l/min.

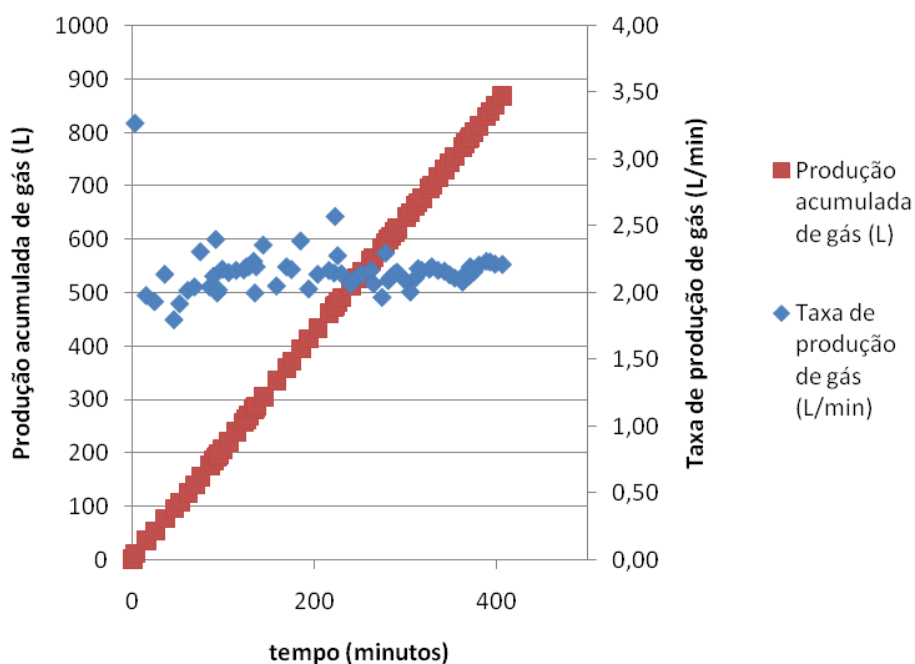


Figura 48. Produção de gás – Experimento 3

A composição dos gases efluentes é apresentada na Tabela 13 e na Figura 49. É possível verificar que, somente após 62 minutos, a reação de combustão começa a ocorrer e as demais amostras apresentam uma pequena variação na concentração.

Tabela 13. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 3

	13 min	62 min	118 min	164 min	221 min	253 min	306 min	338 min	368 min
Gás	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	Amostra 4 (%)	Amostra 5 (%)	Amostra 6 (%)	Amostra 7 (%)	Amostra 8 (%)	Amostra 9 (%)
H ₂	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O ₂	20,51	20,62	7,74	13,91	4,73	12,41	5,56	14,66	16,25
N ₂	79,49	77,49	81,41	79,00	82,65	79,47	81,64	79,09	81,78
CH ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	0,93	2,63	1,49	3,22	1,73	2,91	1,39	1,05
CO ₂	0,00	0,85	8,22	5,60	9,40	6,39	9,89	4,86	0,92

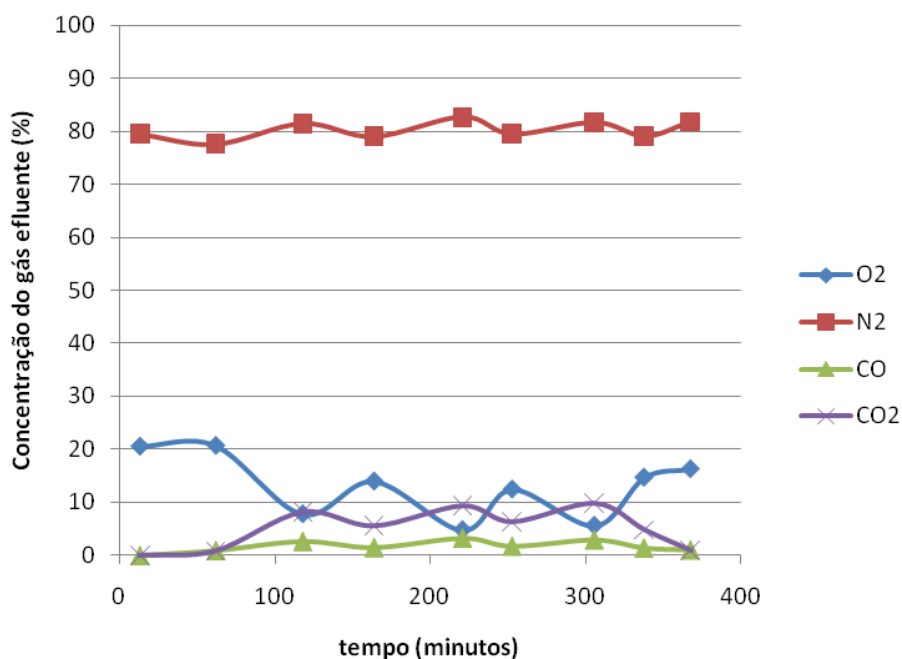


Figura 49. Composição do gás efluente – Experimento 3

A composição dos gases efluentes permaneceu em 8,87% de O₂, 80,83% de N₂, 2,40% de CO e 7,90% de CO₂ ao longo do ensaio, desconsiderando os dois primeiros dados quando as reações de combustão ainda não haviam começado e os dois últimos dados quando a reação já começa a se extinguir.

A Figura 50 apresenta a razão aparente de H/C, razão CO₂/CO e razão CO/(CO+CO₂), cujas médias foram: 1,372; 4,300 e 0,127 respectivamente. Estes valores indicam a ocorrência de reações de oxidação em altas temperaturas (HTO).

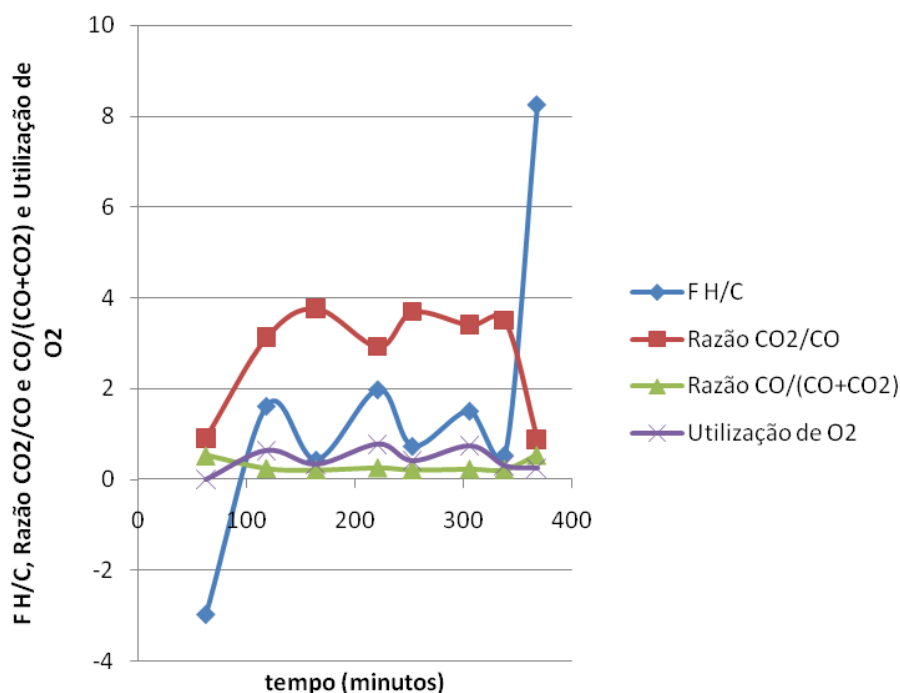


Figura 50. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2 – Experimento 3

Já os demais parâmetros são apresentados na Tabela 14. O consumo de combustível obtido foi de 17,49 kg de combustível por m^3 de reservatório. Já o ar requerido foi de $338,7 m^3/m^3$ e a razão ar/combustível permaneceu em $17,546 m^3 (st) /kg$ de combustível. A fração de conversão de O_2 reagido em óxidos de carbono foi de 72,0%.

A fração de O_2 utilizada foi de apenas 58,7%, ocasionando um elevado excesso de ar de 70,3%.

Todos os parâmetros obtidos neste ensaio também são compatíveis com a queima bem sucedida.

Tabela 14. Resumo dos parâmetros da combustão *in-situ* – Experimento 3

Razão H/C	1,372
Razão O ₂ /Combustível (m ³ (ST)/kg)	3,686
Razão Ar/Combustível (m ³ (ST)/kg)	17,546
Fração de Conversão de O ₂ injetado em Óxidos de Carbono	0,423
Fração de Conversão de O ₂ reagido em Óxidos de Carbono	0,720
Fração de O ₂ utilizado	0,587
Excesso de O ₂	0,703
Razão (CO ₂ +CO)/CO	4,300
Razão (CO ₂ +CO)/N ₂	0,127
Ar requerido (m ³ /m ³)	338,7
Consumo de Combustível (kg/m ³)	17,49

As provetas contendo óleo tiveram o teor de umidade em massa analisado através do equipamento Karl-Fischer e os valores obtidos são apresentados na Tabela 15. O histórico de produção de óleo e água durante o ensaio é apresentado na Figura 51. A produção de água teve início após 244 minutos e a produção de óleo após 300 minutos do início da injeção de ar.

Tabela 15. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 3

Nº Proвета	Teor de Umidade do Óleo (%)
1	-
2	-
3	15,60
4	10,26
5	29,14
6	23,94
7	3,75
8	1,85

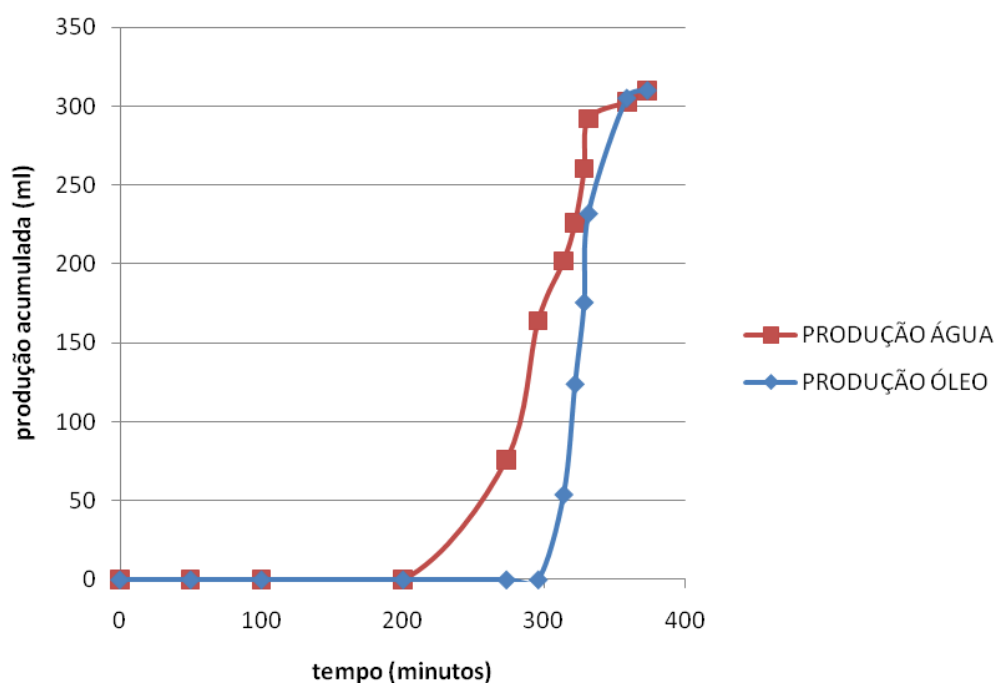


Figura 51. Histórico da produção de fluidos – Experimento 3

Neste ensaio foi obtido um fator de recuperação final de 85%. A Figura 52 apresenta a recuperação de óleo obtida através do tempo.

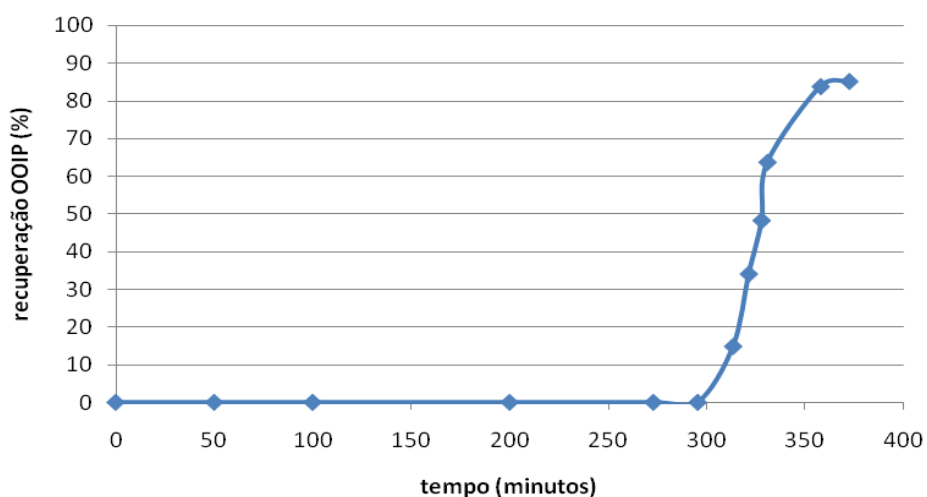


Figura 52. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 3

A Figura 53 apresenta uma seqüência de fotografias dos fluidos produzidos durante o experimento 3. A análise do óleo produzido indica um aumento médio de 8,4°API. O óleo obtido neste experimento apresentou um °API de 21,2.

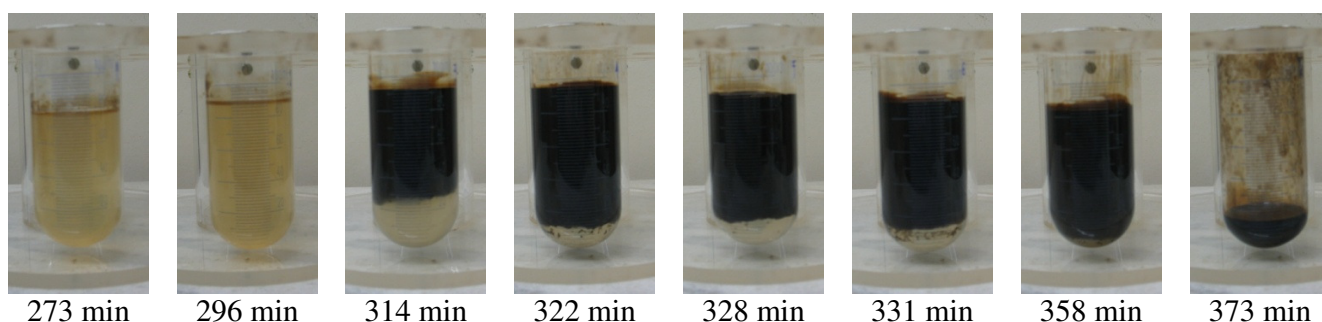


Figura 53. Seqüência de fluidos produzidos durante o experimento 3 com o respectivo tempo de produção

A Figura 54 apresenta a amostra utilizada no preenchimento do tubo. E a seqüência de aspectos da areia presente no tubo após o experimento 3 pode ser observada na Figura 55. Apesar da amostra no final do tubo apresentar uma coloração escura, foi realizada a análise de saturação do óleo residual na areia através da técnica Dean-Stark e não foi verificada nenhuma saturação de óleo residual em amostras no início, metade e final do tubo de combustão. Indicando assim que todo óleo foi deslocado ou consumido.



Figura 54. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 3

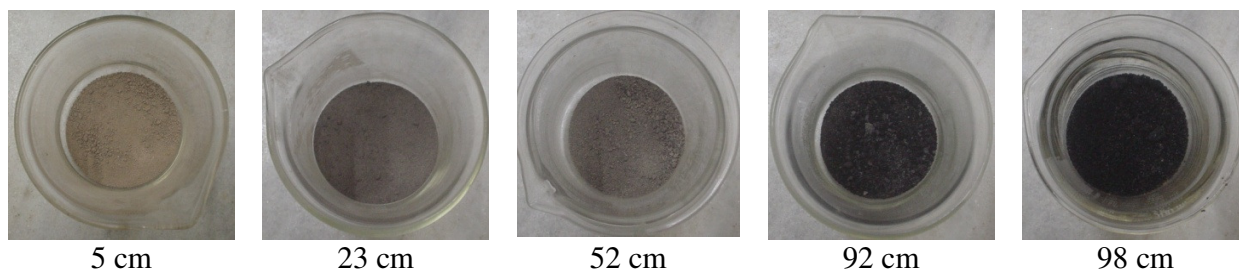


Figura 55. Seqüência da areia presente no tubo de combustão após o experimento com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 3

5.4. Ensaio experimental 4

Neste ensaio foi verificada a influência da saturação de óleo durante os ensaios de combustão *in situ*. A saturação inicial de óleo foi mantida em 50%, enquanto a saturação de água e gás inerte permaneceu em 25%. Foi utilizada uma mistura no preenchimento do tubo de combustão com a seguinte composição mássica: 79,7% de areia, 4,9% de argila, 12,3% de óleo e 3,1% de água.

A ignição foi ligada às 9h37min, às 10h11min foi atingida a temperatura de 500°C e então foi iniciada a injeção de ar. A ignição permaneceu ligada por 20 minutos.

A Figura 56 apresenta o perfil de temperatura ao longo do tubo e a Figura 57 apresenta o comportamento da frente de combustão em diversos instantes.

Neste experimento, é possível verificar a existência de três picos no termopar 1. Durante este experimento a taxa de injeção apresentou uma queda considerável no início do experimento. Assim, foi necessário aumentar a pressão de injeção do ar sintético para 400 psi, para assegurar uma taxa de injeção de 3L/min. Nos demais ensaios esta pressão permaneceu constante em 250 psi. Esta alteração foi necessária devido à resistência encontrada durante a injeção de ar, ocasionada principalmente pelo banco de óleo formado e este fato ocasionou a formação de três picos no primeiro termopar.

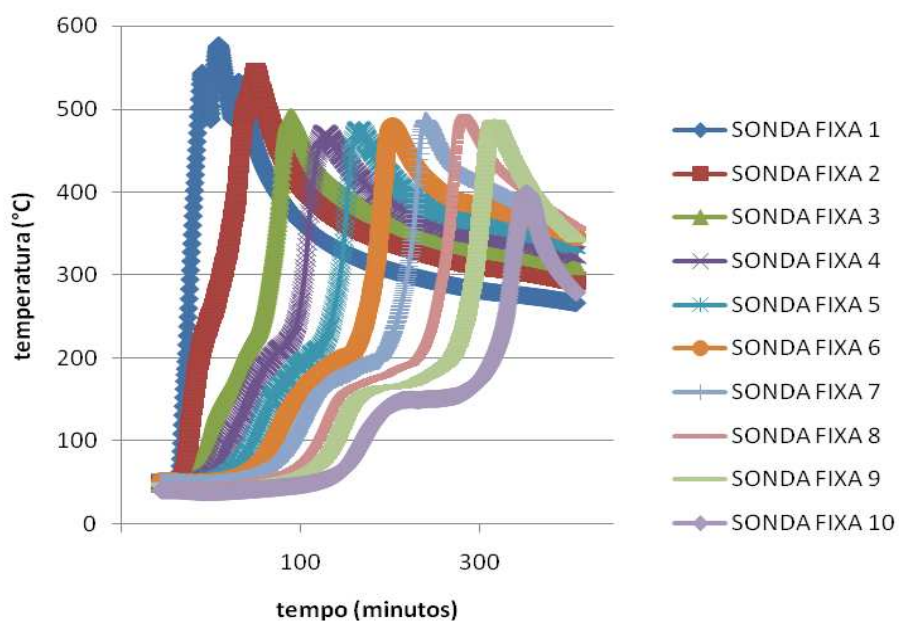


Figura 56. Histórico de temperatura em posições diversas – Experimento 4

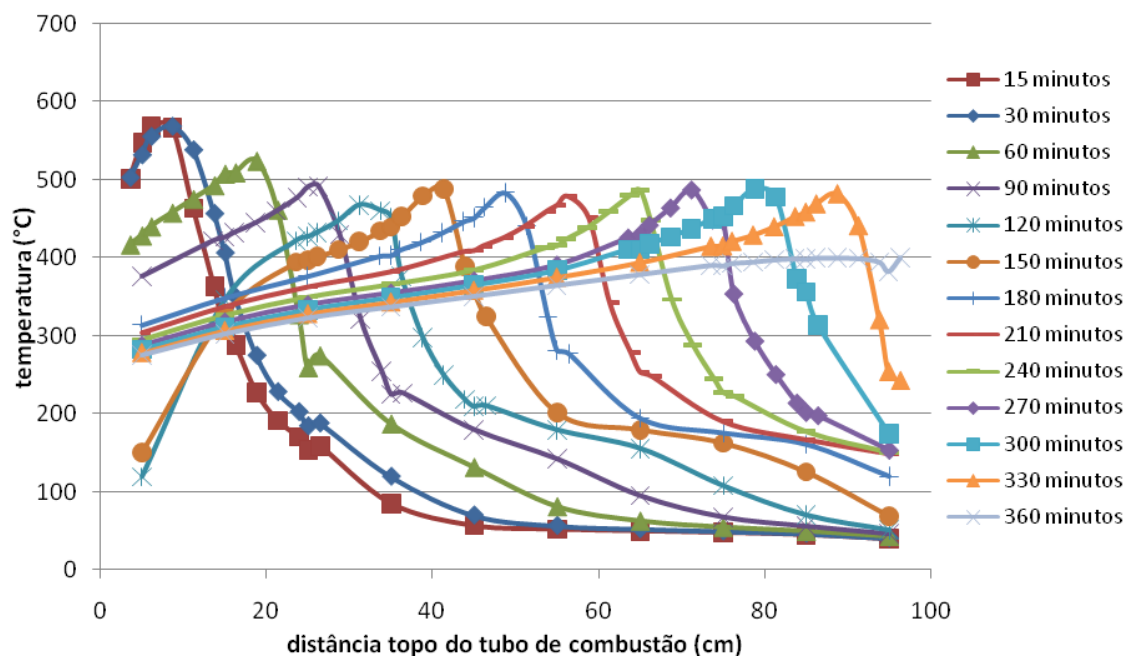


Figura 57. Perfis de temperatura em diversos instantes – Experimento 4

A frente de combustão apresentou um avanço estável com temperatura média de 501°C e

velocidade de aproximadamente 16,1 cm/h, como pode ser observado na Figura 58.

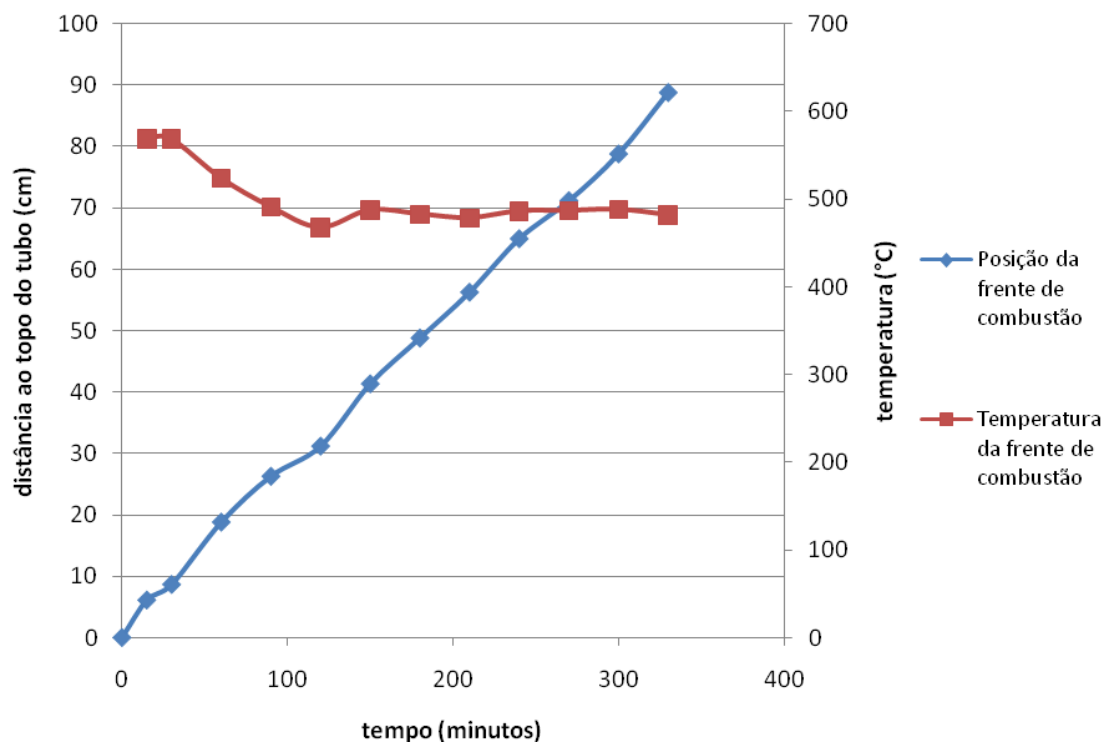


Figura 58. Histórico da posição e temperatura da frente de combustão – Experimento 4

O histórico da pressão do sistema e a taxa de injeção de ar sintético são apresentados na Figura 59. É possível verificar a queda na taxa de injeção no início do experimento, antes do aumento na pressão de injeção para 400 psi.

Após o aumento da pressão de injeção do ar, a taxa de injeção de ar permaneceu constante ao longo do experimento. Já a pressão do sistema apresentou uma variação no início do experimento, coincidindo com a abertura da válvula de contrapressão que libera a produção de gás efluente.

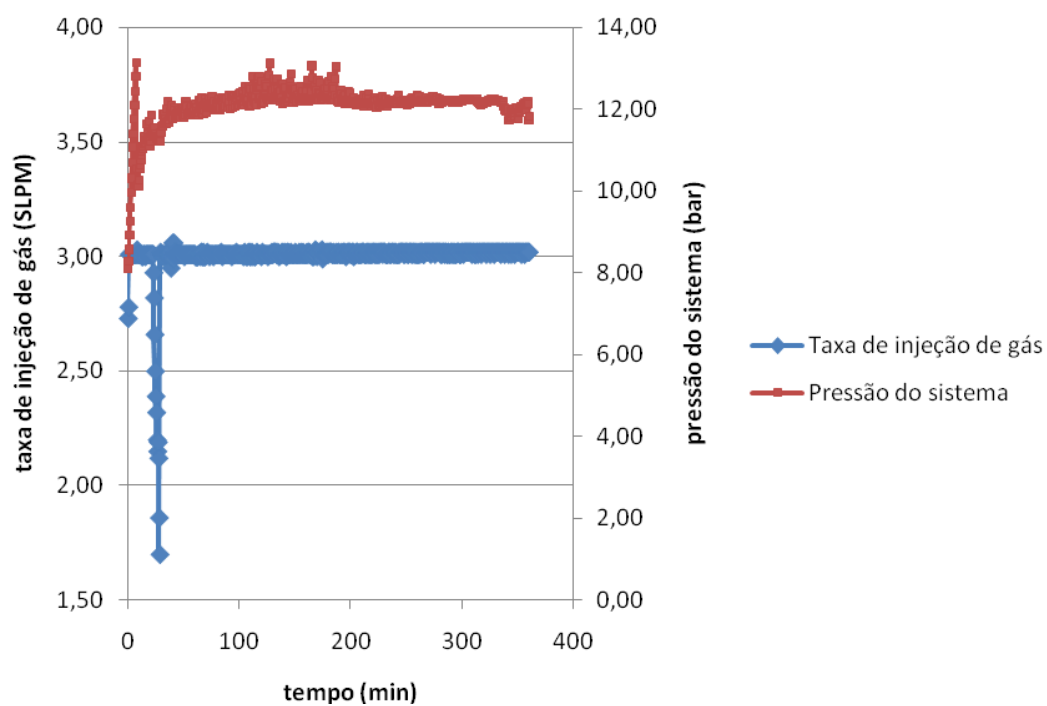


Figura 59. Histórico da pressão do sistema e taxa de injeção de gás – Experimento 4

A produção de gases, apresentada na Figura 61, começou 6 minutos após o início do ensaio e permaneceu em uma taxa praticamente constante de 2,09 l/min.

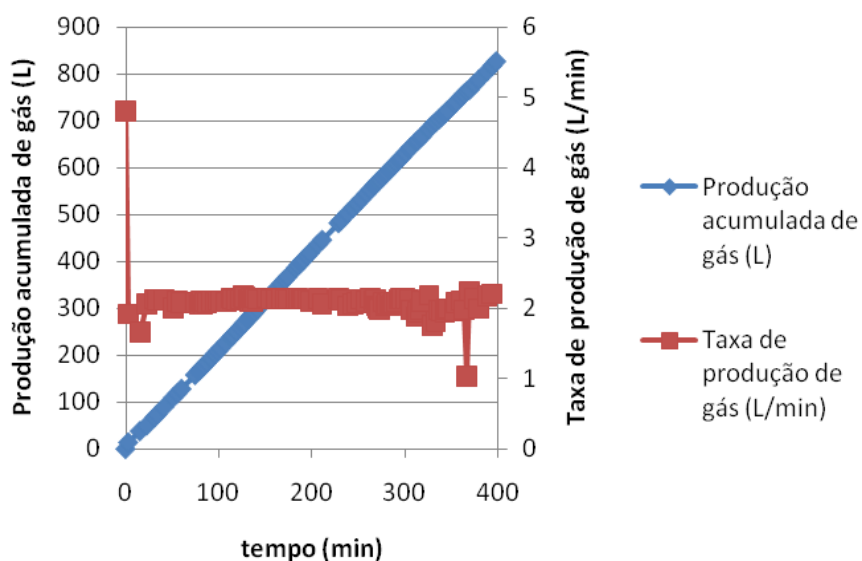


Figura 60. Produção de gás – Experimento 4

A composição do gás efluente durante este ensaio é apresentada na Tabela 16 e na Figura 61. Os gases efluentes obtidos durante o experimento apresentaram a seguinte composição média: 3,60% de O₂, 82,21% de N₂, 3,68% de CO e 10,51% de CO₂. Devido as baixas concentrações de H₂ e CH₄ obtidas durante o experimento, esses dois componentes não foram considerados na composição média.

Tabela 16. Análise cromatográfica dos gases – Experimento 4

	34 min	85 min	115 min	155 min	186 min	217 min	270 min	320 min	359 min
Gás	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	Amostra 4 (%)	Amostra 5 (%)	Amostra 6 (%)	Amostra 7 (%)	Amostra 8 (%)	Amostra 9 (%)
H ₂	0,05	0,00	0,05	0,13	0,00	0,20	0,00	0,05	0,03
O ₂	5,96	2,30	2,95	2,03	5,92	2,62	2,13	2,17	6,22
N ₂	79,79	82,58	82,63	81,42	80,59	80,79	87,90	80,47	82,05
CH ₄	0,46	0,00	0,31	0,39	0,00	0,00	0,00	0,24	0,16
CO	3,05	3,95	4,04	3,63	3,27	3,89	4,39	3,97	2,87
CO ₂	10,68	11,17	10,03	12,40	10,22	12,51	5,58	13,10	8,68

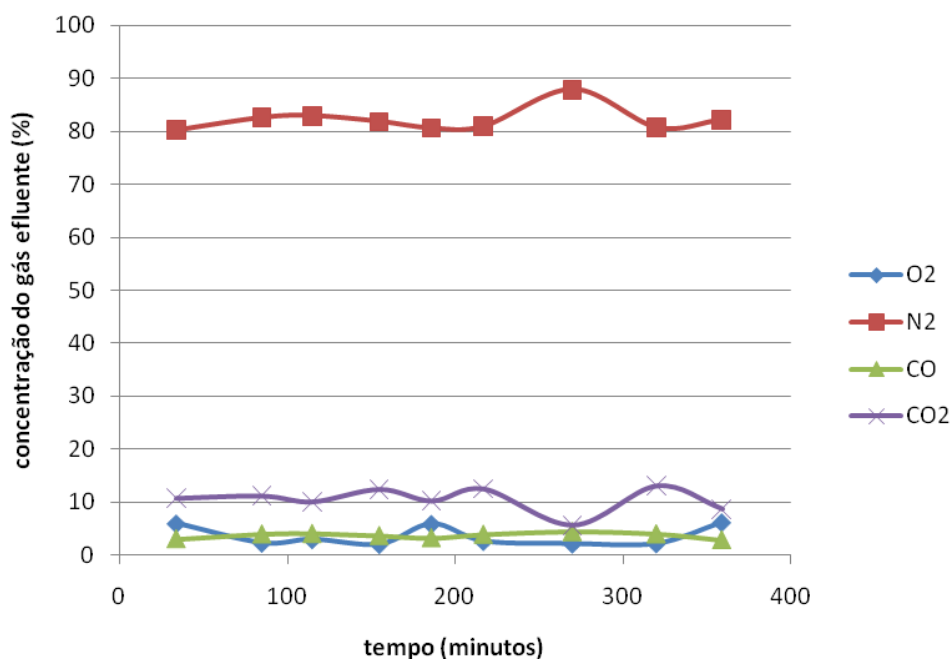


Figura 61. Composição do gás efluente – Experimento 4

A Figura 62 apresenta a razão aparente de H/C, razão CO_2/CO e razão $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$, cujas médias foram: 1,667; 3,856 e 0,173 respectivamente. Estes valores indicam a ocorrência de reações de oxidação em altas temperaturas (HTO).

O consumo de combustível obtido foi de 19,96 kg de combustível por m^3 de reservatório. O ar requerido foi de $296,6 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e a razão ar/combustível permaneceu em $12,661 \text{ m}^3 \text{ (ST)}/\text{kg}$ de combustível. A fração de conversão de O_2 reagido em óxidos de carbono foi de 67,6%.

A fração de O_2 utilizada foi de 83,6%, ocasionando um excesso de ar de 19,7%.

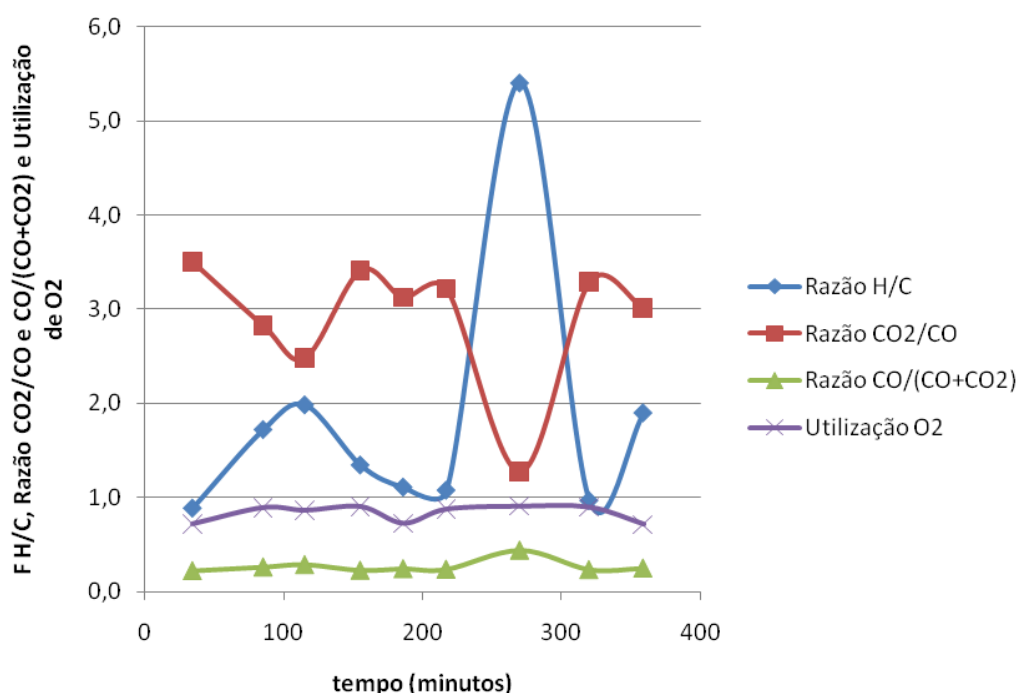


Figura 62. $F_{H/C}$, razão CO_2/CO e $CO/(CO+CO_2)$ e utilização de O_2 – Experimento 4

Tabela 17. Resumo dos parâmetros da combustão *in-situ* – Experimento 4

Razão H/C:	1,667
Razão O_2 /Combustível ($m^3(ST)/kg$):	2,660
Razão Ar/Combustível ($m^3(ST)/kg$):	12,661
Fração de Conversão de O_2 injetado em Óxidos de Carbono:	0,565
Fração de Conversão de O_2 reagido em Óxidos de Carbono:	0,676
Fração de O_2 utilizado:	0,836
Excesso de O_2 :	0,197
Razão $(CO_2+CO)/CO$:	3,856
Razão $(CO_2+CO)/N_2$:	0,173
Ar requerido (m^3/m^3)	296,6
Consumo de Combustível (kg/m^3)	19,96

A análise do teor de umidade em massa presente no óleo durante o experimento 4 pode ser verificado na Tabela 18.

Tabela 18. Análise do teor de umidade do óleo – Experimento 4

Nº Proveta	Teor de Umidade do Óleo (%)
1	12,80
2	11,46
3	12,72
4	12,80
5	13,43
6	19,65
7	29,83
8	32,67
9	37,30
10	26,36
11	17,23
12	19,40
13	16,10

Já a produção de óleo e água pode ser visualizada na Figura 63. Neste ensaio a produção de óleo foi iniciada junto com a produção de água, aos 133 minutos.

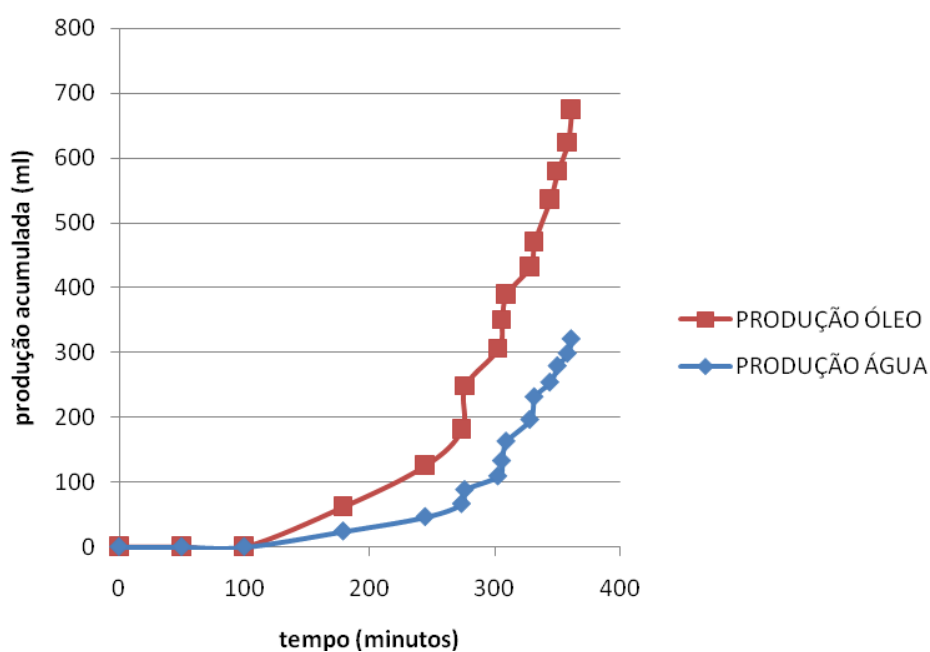


Figura 63. Histórico da produção de fluidos – Experimento 4

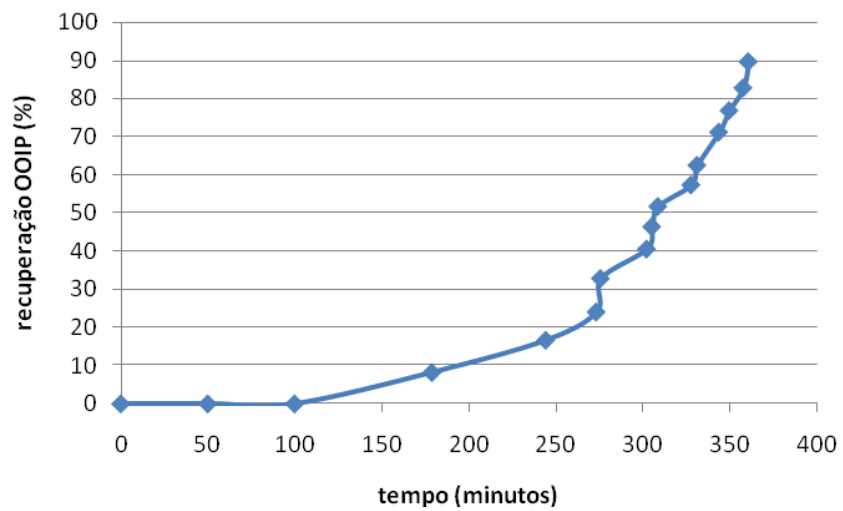


Figura 64. Histórico do fator de recuperação de óleo – Experimento 4

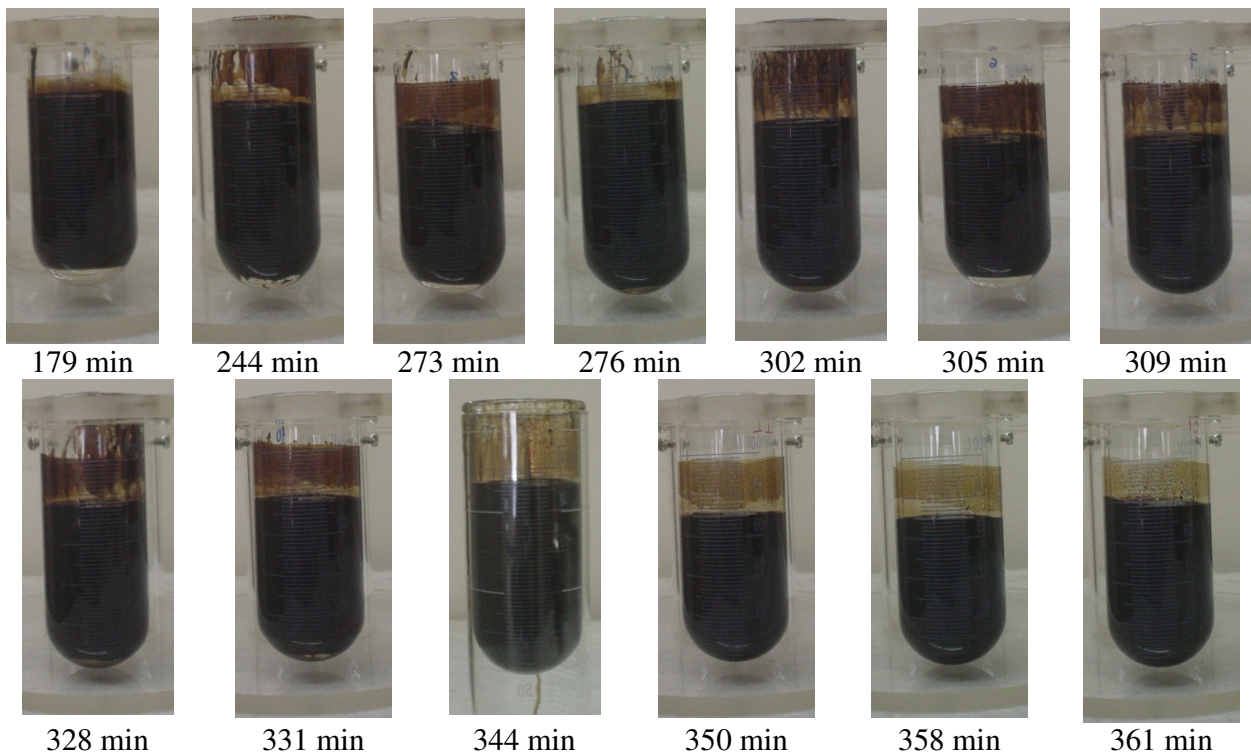


Figura 65. Sequência de fluidos produzidos durante o experimento 4 com o respectivo tempo de produção

O óleo produzido apresenta um °API de 16,0, o que representa um aumento de 3,2°API.

A Figura 66 apresenta a amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo e a Figura 67 apresenta a seqüência de areia presente no tubo de combustão depois de terminado o ensaio. Não foi verificada a presença de óleo residual em nenhuma amostra através da análise de Dean-Starck, indicando assim que todo combustível depositado foi consumido e todo óleo deslocado.



Figura 66. Amostra inicial utilizada no preenchimento do tubo de combustão – Experimento 4

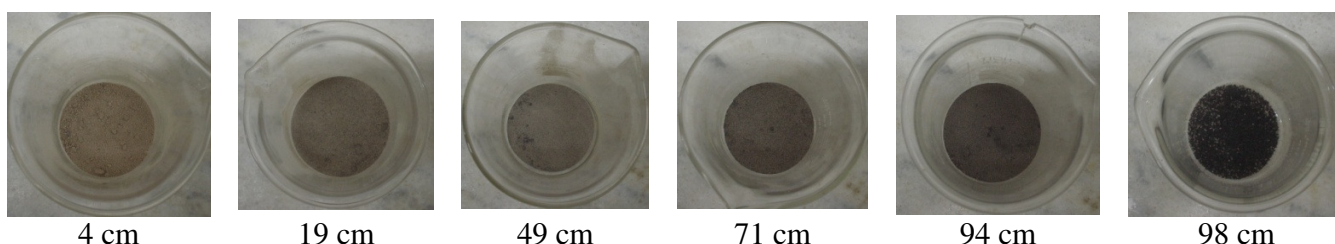


Figura 67. Seqüência da areia presente no tubo de combustão com a respectiva distância em relação ao topo do tubo – Experimento 4

5.5 Comparação de Resultados

A seguir, nas Figura 68, Figura 69, Figura 70 e Figura 71 são apresentadas as comparação dos resultados dos experimentos 2, 3 e 4. E a Tabela 19 apresenta um sumário com os dados obtidos durante estes experimentos.

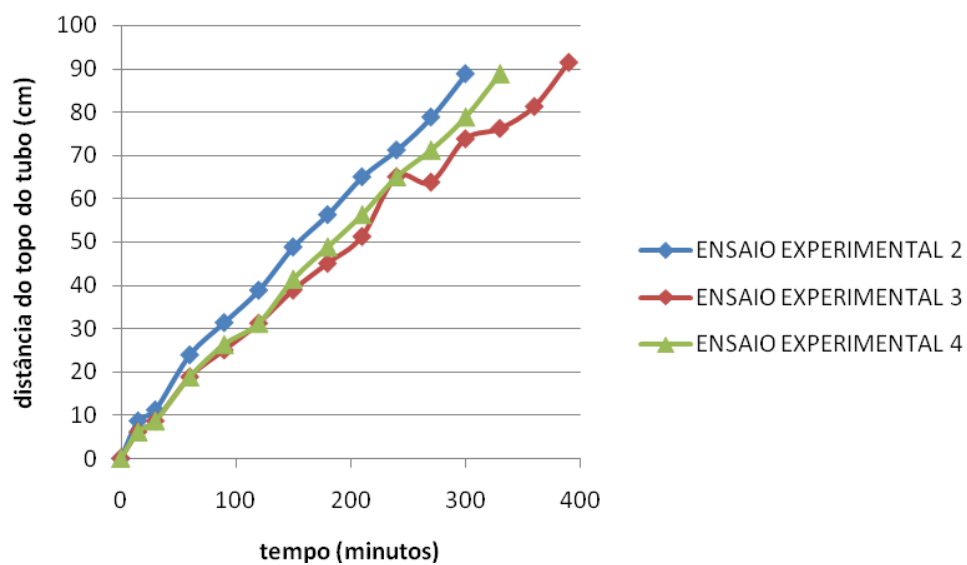


Figura 68. Comparação da velocidade da frente de combustão durante os ensaios 2, 3 e 4

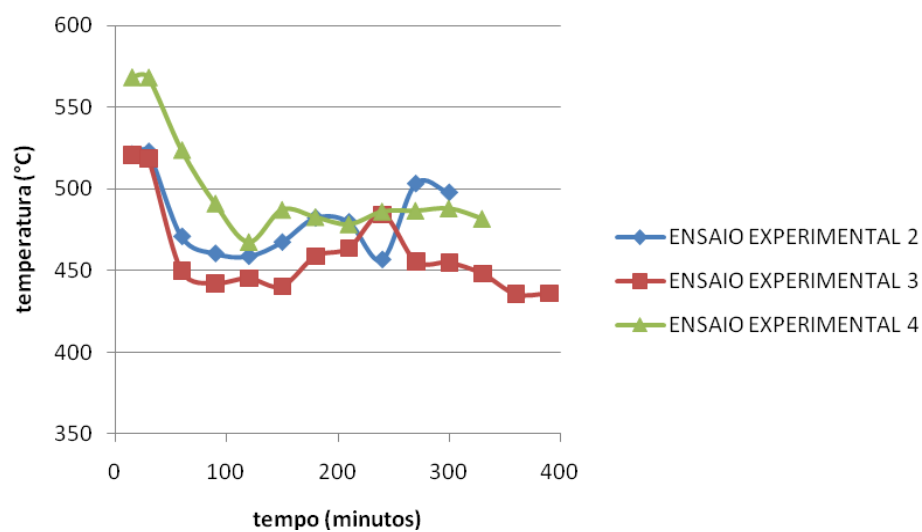


Figura 69. Comparação da temperatura da frente de combustão durante os ensaios 2, 3 e 4

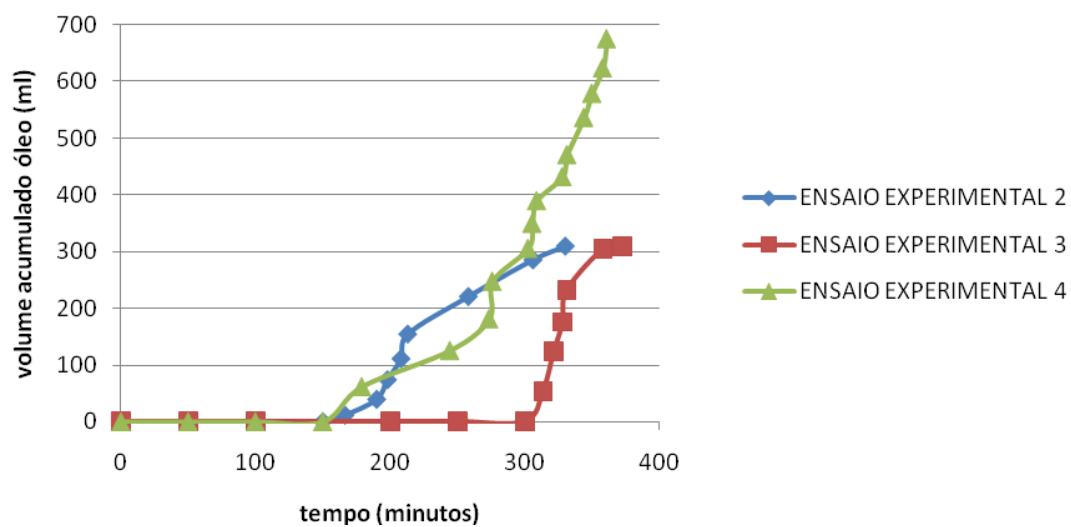


Figura 70. Comparação da produção de óleo durante os ensaios 2, 3 e 4

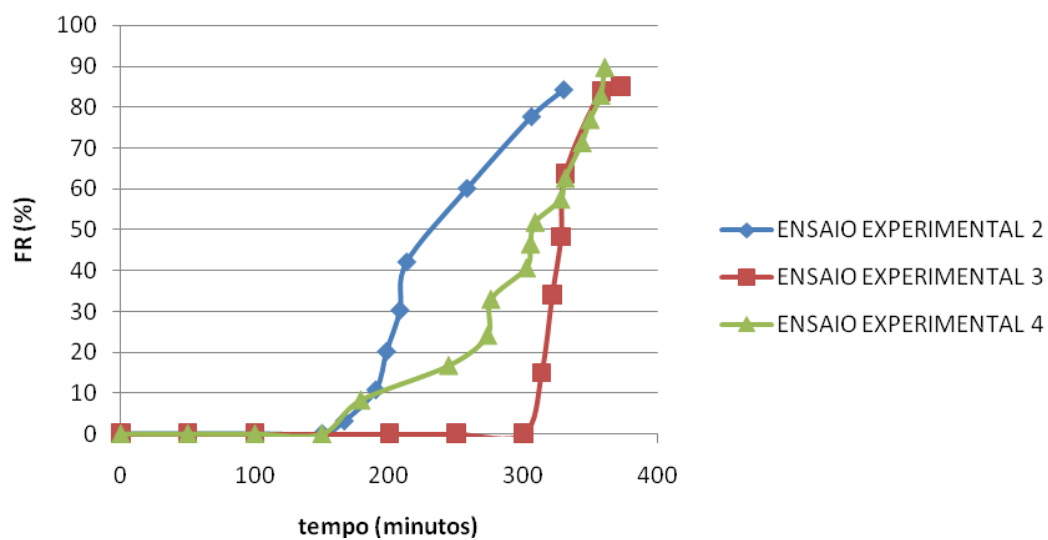


Figura 71. Comparação da recuperação de óleo durante os ensaios 2, 3 e 4

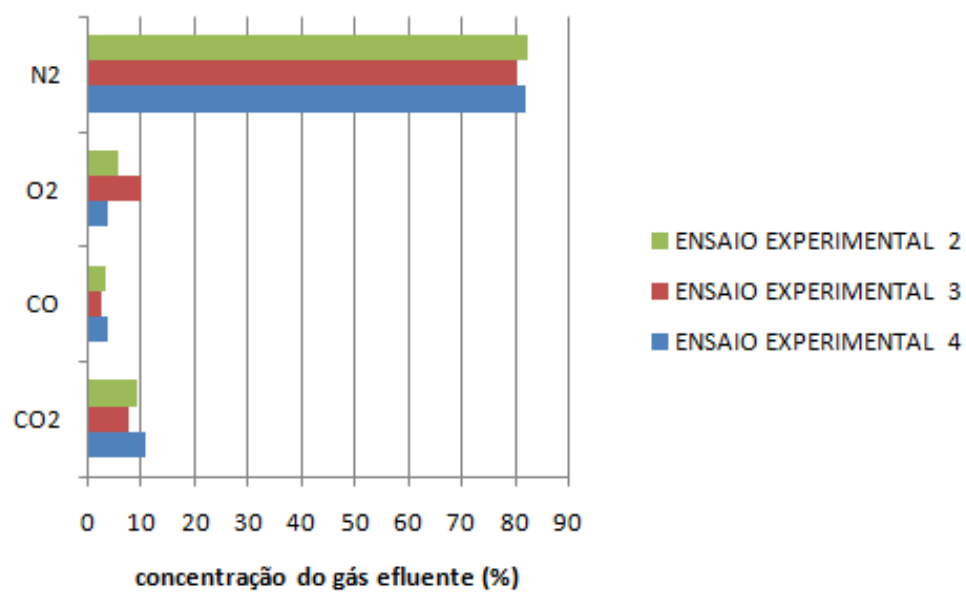


Figura 72. Comparação da composição média dos gases efluentes durante os ensaios 2, 3 e 4

Tabela 19. Sumário com a média dos dados obtidos durante os experimentos 2, 3 e 4

	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Temperatura da frente de combustão (°C)	485	457	501
Velocidade da frente de combustão (cm/h)	18,3	14,1	16,1
FR (%)	84	85	90
°API do óleo produzido	18,6	21,2	16
O ₂ (%)	5,38	8,87	3,60
N ₂ (%)	82,45	80,83	82,21
CO (%)	3,18	2,40	3,68
CO ₂ (%)	8,99	7,90	10,51
Razão H/C	1,962	1,372	1,667
Razão (CO ₂ +CO)/CO	3,827	4,300	3,856
Razão (CO ₂ +CO)/N ₂	0,148	0,127	0,173
Consumo de combustível (kg/m ³)	15,13	17,49	19,96
Ar requerido (m ³ /m ³)	215,5	338,7	296,6
Razão ar/combustível (m ³ (ST)/kg)	14,494	17,546	12,661
Fração de conversão de O ₂ reagido em óxidos de carbono	0,639	0,720	0,676
Fração de O ₂ utilizado	0,755	0,587	0,836
Excesso de ar	0,325	0,703	0,197
Início produção de água (min)	103	244	133
Início de produção de óleo (min)	165	300	133

É possível observar que o aumento da concentração de argila na mistura inicial ocasiona um aumento no consumo de combustível. Conforme pode ser verificado no ensaio experimental 1, no qual a frente de combustão não conseguiu avançar (Figura 25 e Figura 26), a argila tem papel fundamental na deposição do combustível pois diminui a permeabilidade e aprisiona o óleo. Nos ensaios experimentais não foi possível medir experimentalmente a permeabilidade do meio poroso, porém foi possível observar um aumento no consumo do combustível com o aumento da concentração de argila.

Assim, como há um aumento na deposição de combustível, a velocidade da frente de combustão diminui já que todo combustível depositado deve ser consumido.

A velocidade da frente de combustão influencia diretamente a quantidade de ar requerido e o tempo de início da produção de fluidos, conforme pode ser observado na Tabela 19 e Figura 70. Quanto menor a velocidade da frente de combustão, maior será a quantidade de ar requerido e mais demorado será o início da produção de fluidos.

O ensaio experimental 3 apresentou a velocidade da frente de combustão mais lenta (14,1cm/h) e conseqüentemente teve a maior quantidade de ar requerido (338,7 m³/m³) e o início de produção de fluidos só iniciou após 244 minutos. Enquanto o ensaio experimental 2, que apresentou a velocidade da frente de combustão mais rápida (18,3 cm/h), requereu a menor quantidade de ar (215,5 m³/m³) e a produção de fluidos iniciou aos 103 minutos.

Devido ao fato do ensaio experimental 4 apresentar um maior consumo de combustível uma vez que foi utilizada uma saturação inicial de óleo de 50% ocorrendo maior depósito de combustível, este ensaio apresentou a menor razão ar-combustível. Já com relação aos ensaios experimentais 2 e 3 realizados com a mesma saturação inicial de óleo de 25%, o ensaio 2 apresentou uma menor quantidade de combustível depositado e conseqüentemente uma menor quantidade de ar requerido. Enquanto o ensaio 3, realizado com uma maior porcentagem mássica de argila, houve a deposição de uma maior quantidade de combustível, o que ocasionou uma maior quantidade de ar requerido. Conseqüentemente, o ensaio 2 apresentou uma menor razão ar-combustível comparada ao ensaio 3.

A temperatura da frente de combustão observada durante os ensaios 2, 3 e 4 indicam a ocorrência de reações de oxidação de alta temperatura, desejáveis para a reação de combustão. E os demais parâmetros de combustão também estão compatíveis com a ocorrência dessas reações.

Em todos os ensaios foi injetado um excesso de ar uma vez que nem toda a fração de O₂ foi utilizada. Como resultado, principalmente no ensaio experimental 3, foi verificada uma elevada concentração de O₂ nos gases efluentes. E os demais gases efluentes apresentam uma proporção compatível com os dados encontrados na literatura (Rodriguez, 2004 e Mamora 1993). As reações de oxidação em elevada temperatura tem como principais produtos dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), e água (H₂O). Essas reações são heterogeneas (gás-sólido e gás-líquido) e são caracterizadas pelo consumo de todo oxigênio na fase gás (Sarathi, 1999).

Já o aumento na saturação inicial de óleo para 50% ocasionou uma velocidade da frente de combustão inferior porém com uma temperatura mais elevada quando comparada ao ensaio 2, que apresentou praticamente a mesma composição mássica com saturação inicial de óleo de 25%. Esta diminuição na velocidade é causada pelo maior consumo de combustível. O experimento 4 apresentou o melhor consumo de O_2 , resultando em um menor excesso de ar.

Capítulo 6

Conclusões

O desempenho do método de recuperação térmica combustão *in-situ* foi avaliado através de quatro testes experimentais com tubo de combustão, sendo verificada a influência da argila presente no reservatório e a saturação inicial de óleo.

Constatou-se experimentalmente que o óleo investigado é propício para as reações de oxidação que formam a base do método de combustão *in-situ*. Esta constatação habilita tecnicamente o hidrocarboneto para o processo de recuperação.

Verificou-se que a presença da argila no reservatório se mostra um fator fundamental para a sustentação da queima do óleo e a conseqüente propagação da frente de oxidação. Sem a argila, não foi possível sustentar a frente de combustão no modo de HTO, permanecendo apenas as reações de LTO, que sozinhas são prejudiciais ao escoamento posterior do óleo.

Durante o experimento realizado na presença de argila foi obtida uma frente de avanço da combustão relativamente estável, com velocidade média de 18,3 cm/h e temperatura média de 485°C. E o processo mostrou-se altamente eficiente com a obtenção de um fator de recuperação de óleo de 84%.

Já os demais ensaios realizados na presença de argila apresentaram um comportamento da frente de combustão estável com temperaturas superiores a 457°C e com taxas de recuperação de óleo acima de 84%.

Foram levantados os parâmetros básicos do processo de combustão *in-situ* para o óleo e a formação ensaiados, a saber: temperatura de pico de oxidação, razão hidrogênio-carbono, razão oxigênio-combustível, razão ar-combustível, fator de conversão de oxigênio, excesso de oxigênio, razão de ar requerido e consumo de combustível por unidade de volume de rocha. Estes valores se mostraram compatíveis com os correspondentes relatados na literatura (Rodriguez, 2004 e Mamora, 1993).

Referências Bibliográficas

- AWOLEKE, O. G. An Experimental Investigation of In-situ Combustion in Heterogeneous Media. SPE-113022-STU (Student 2), 2007.
- BAGCI, S. Estimation of Combustion Zone Thickness during In Situ Combustion Processes. Energy & Fuels, 1998.
- BAGCI, S., KOK, M.V. In-situ Combustion Laboratory Studies of Turkish Heavy Oil Reservoirs. Fuel Processing Technology 74 (2001) 65-79, 2001.
- CARCOANA, A. Applied Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
- CASTANIER, L.M., BRIGHAM, W.E. Upgrading of Crude Oil via In Situ Combustion. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2002.
- CASTANIER, L.M., BAENA, C.J., HOLT, R.J., BRIGHAM, W.E., TAVARES, C. In Situ Combustion with Metallic Additives, SPE 23708, 1992.
- DONALDSON, C., CHILINGARIAN, G.V., YEN, T. F. Enhanced Oil Recovery: II Process and Operations. Amsterdam Elsevier, 1989.
- FAROUQ ALI, S.M. Heavy Oil - evermore mobile. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2002.
- GERRITSEN, M., KOVSCEK, A., CASTANIER, L., NILSSON, J., YOUNIS, R., HE, B. Experimental Investigation and High Resolution Simulator of In-Situ Combustion Processes; 1. Simulator Design and Improved Combustion with Metallic Additives. SPE

86962, 2004.

GREAVES, M., XIA, T. X.; TURTA, A. T.; AYASSE, C. Recent Laboratory Results of THAI and Its Comparison with Other IOR Processes. SPE 59334, 2000.

GREAVES, M., YOUNG, T.J., EL-USTA, S., RATHBONE, R.R., REN, S.R., XIA, T.X. Air Injection into Light and Medium Oil Reservoirs: Combustion Tube Studies on West of Shetlands Clair Oil and Light Australian Oil. Trans IChemE, Vol 78, Part A, 2000b.

HE, B.; CHEN, Q.; CASTANIER, L.M.; KOVSCEK, A. R. Improved In-Situ Combustion Performance With Metallic Additives. SPE 93901, 2005.

KOK, M.V.; KESKIN, C. Comparative Combustion Kinetics for In Situ Combustion Process, Thermochimica Acta 369, 143-147, 2000.

KOVSCSEK, A. R., BRIGHAM, W.E. Research on Oil Recovery Mechanisms in Heavy Oil Reservoirs. Stanford University Petroleum Research Institute. Stanford, California, 1999.

MAMORA, D.D. Kinetics of in situ combustion. Stanford University, 1993.

MOORE, R.G., LAURESHEN, C.J., BELGRAVE, J.D.M, URSENBACH, M.G.; MEHTA, S.A. In-Situ Combustion: New Ideas for an Old Process. Presented at the 11th Annual Canadian Heavy Oil and Oil Sands Symposium., Calgary, Alberta, Canada, 1994.

MOORE, R.G.; LAURESHEN, C.J.; BELGRAVE, J.D.M.; URSENBACH, M.G.; MEHTA, S.A.R.: "In situ combustion in Canadian Heavy Oil Reservoirs". Fuel Vol 74, 1994b.

Petrobras, página na internet no endereço

https://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/areadeatuacao_oleospesados.asp, acessado em 29/06/2007.

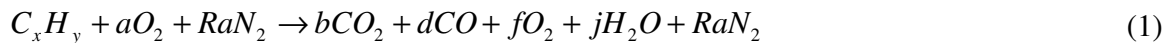
RAMIREZ-GARNICA, M.A., MAMORA, D.D., NARES, H.R., SCHACHT-HERNÁNDEZ, P., MOHAMMAD, A.A., CABRERA-REYES, M.C. Increase Heavy-Oil Production in Combustion Tube Experiments Through the Use of Catalyst. SPE 107946, 2007.

- RAMIREZ-GARNICA, M.A., HERNÁNDEZ-PÉREZ, J.R., CABRERA-REYES, M.C., SCHACHT-HERNÁNDEZ, P., MAMORA, D.D. Increase Oil Recovery of Heavy Oil in Combustion Tube Using a New Catalyst Based Nickel Ionic Solution. SPE/PS/CHOA 117713, 2008.
- RODRIGUEZ, J.R. Experimental and Analytical Study to Model Temperature Profiles and Stoichiometry in Oxygen-Enriched In-Situ Combustion. Texas A&M University, 2004.
- ROSA, A.J., CARVALHO, R.S., XAVIER, J.A.D. Engenharia de Reservatórios de Petróleo. Volume 1. Petrobras, 2001.
- SARATHI, P. S., In-Situ Combustion Handbook – Principles and Practices, BDM Petroleum Technologies, Oklahoma, 1998. Na internet em <http://www.osti.gov/bridge/index.jsp>.
- SHECAIRA, F.S., BRANCO, C.C.M.; DE SOUZA, A.L.S., PINTO, A.C.C., DE HOLLEBEN, C.R.C.; JOHANN, P.R.S. IOR: The Brazilian Perspective. SPE 75170, 2002.
- XIA, T.X., GREAVES, M. Downhole Upgrading Athabasca Tar Sand Bitumen Using THAI – SARA Analysis. SPE 69693, 2001.
- WU, C.H., FULTON, P.F. Experimental Simulation of the Zones Preceding the Combustion Front in an In-Situ Combustion Process. *SPEJ* 38 - 46, 1971.

Apêndice A – Parâmetros obtidos de ensaios em um Tubo de Combustão

Sarathi (1998) descreve a metodologia desenvolvida por Dr. Gardon Moore e Dr. Raj Mehta da Universidade de Calgary (Canadá) para a avaliação dos dados obtidos através do tubo de combustão. Estas análises do tubo de combustão baseiam-se na estequiometria da HTO apenas (que se assume representar o processo).

A reação química que ocorre na combustão do coque é descrita como:



$$\text{i.e.} \quad R = \left(\frac{y_{N_2}}{y_{O_2}} \right)_{\text{GásAlimentação}} \quad (2)$$

Onde “R” é a razão da fração molar de nitrogênio em oxigênio no gás de alimentação (a, b, d, f, j são coeficientes estequiométricos).

Através de um balanço de elementos, obtêm-se:

$$[\text{Carbono}] \quad x = b + d \quad (3)$$

$$[\text{Oxigênio}] \quad a = b + \frac{d}{2} + f + \frac{j}{2} \quad (4)$$

$$[\text{Hidrogênio}] \quad y = 2j \quad (5)$$

1. Cálculo da razão atômica de H/C = y/x

$$\frac{H}{C} = \frac{4 \cdot (a - b - \frac{d}{2} - f)}{(b + d)} \quad (6)$$

2. Razão de OXIGÊNIO/COMBUSTÍVEL é o volume mínimo de oxigênio necessário para queimar uma unidade de massa de combustível:

$$RazãoOxigênio / Combustível = \frac{(a) \cdot (molO_2)}{molCombustível} \quad (7)$$

$$MassaMolecularCombustível = (12,011 \cdot x + 1,008 \cdot y) \quad (8)$$

Onde: 12,011 é a massa atômica de carbono e 1,008 é a massa atômica de hidrogênio.

Assumindo que o consumo de oxigênio é medido em volume padrão e o combustível em kg (ou lbm) por unidade de volume da formação, temos:

$$\frac{O_2}{F} = \frac{23,64 \cdot a}{(12,011 \cdot x + 1,008 \cdot y)} \frac{m^3(STD)}{kg} \quad (9)$$

$$\text{Ou: } \frac{O_2}{F} = \frac{379 \cdot a}{(12,011 \cdot x + 1,008 \cdot y)} \frac{scf}{lbm} \quad (10)$$

Nas equações (9) e (10), a condição de referência é:

Padrão (STD) = 101,325kPa e 15°C

Sistema Inglês = 14,696psi e 60°F

Na equação (9) a constante 23,64 refere-se ao volume (em “standard cubic meter”) ocupado por um mol de gás na condição de referência e a constante 379 (na equação (10)) refere-se ao volume (em “standard cubic feet”) ocupado por um mol de gás também na condição de referência.

3. Razão AR/COMBUSTÍVEL: é o volume de ar requerido para queimar uma unidade de combustível e é função da quantidade de carbono e de hidrogênio no combustível e da razão de nitrogênio/oxigênio do ar.

$$RazãoAr / Combustível = \frac{23,64 \cdot (1 + R) \cdot a}{(12,011 \cdot x + 1,008 \cdot y)} \frac{m^3(STD)}{kg} \quad (11)$$

$$\text{Ou: } RazãoAr / Combustível = \frac{379 \cdot (1 + R) \cdot a}{(12,011 \cdot x + 1,008 \cdot y)} \frac{scf}{lbm} \quad (12)$$

4. Fração de O₂ convertido em óxidos de carbono: este parâmetro é um indicativo do grau de ocorrência das LTO no tubo de combustão. Durante o teste, nem todo oxigênio é consumido na geração de óxido de carbono e água. Uma fração do oxigênio consumido reage com o óleo produzindo compostos oxigenados.

Fração de O₂ convertido em óxidos de carbono:

$$f_{O_{2R}} = \frac{(b - \frac{d}{2})}{(a - f)} \quad (13)$$

5. Fração de O₂ utilizado:

$$Y = 1 - \frac{f}{a} \quad (14)$$

6. Excesso de O₂:

$$ExcessoO_2 = \frac{(1 - Y)}{Y} \quad (15)$$

Assumindo a composição de gás normalizada, os parâmetros da combustão podem ser calculados em termos dos coeficientes estequiométricos a, b, d e f da seguinte maneira:

$$a = \frac{[N_2]}{R}$$

$$f = [O_2]$$

$$b = [CO_2]$$

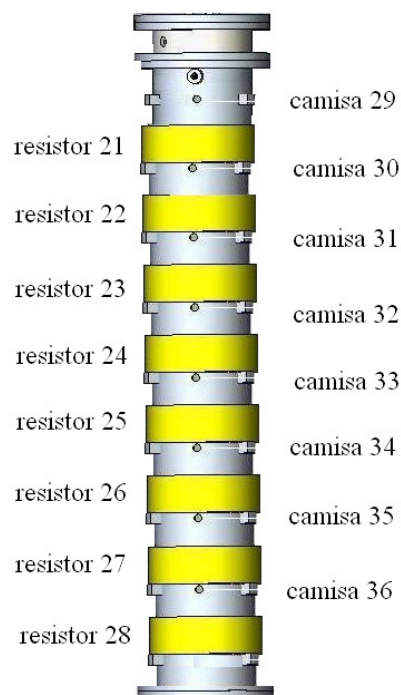
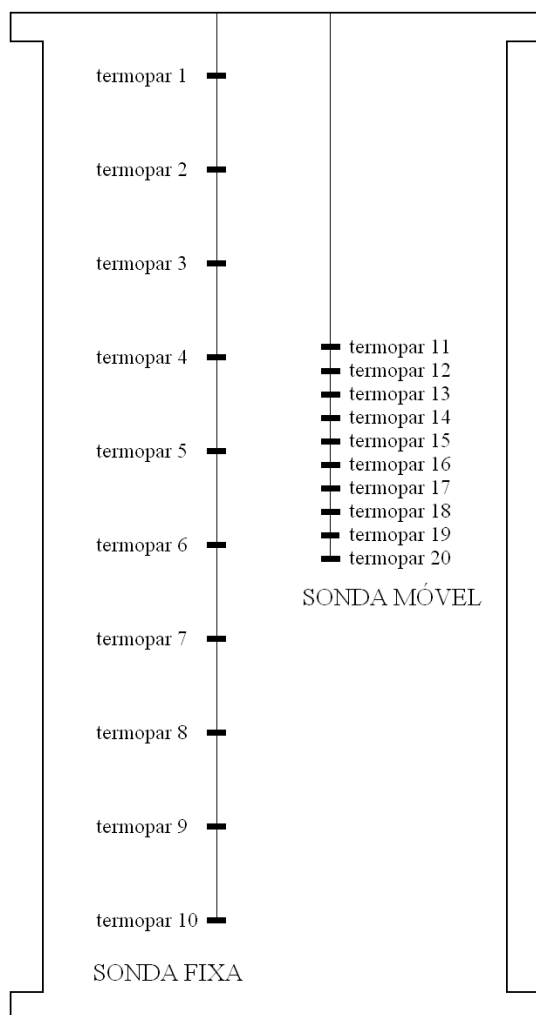
$$d = [CO]$$

Onde: [] denota a composição do gás normalizada em porcentagem de mol.

Apêndice B – Dados experimentais

Os dados experimentais dos quatro ensaios experimentais são apresentados a seguir neste apêndice. Estes dados foram coletados através do *software* a cada 30 segundos, porém, aqui eles são descritos a cada 5 minutos.

Durante o primeiro ensaio experimental, a sonda móvel não funcionou corretamente, permanecendo na posição inicial durante todo o experimento.



ENSAIO EXPERIMENTAL 1

TEMPERATURAS DA SONDA FIXA (°C)										
Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
09:00	50,00	51,00	51,50	51,30	51,10	50,70	49,70	48,40	46,30	41,80
09:05	50,10	50,90	51,50	51,40	51,20	50,80	49,80	48,50	46,30	41,70
09:10	63,99	51,20	51,50	51,30	51,10	50,70	49,70	48,40	46,30	41,80
09:15	162,59	58,99	51,90	51,60	51,30	50,90	49,80	48,40	46,40	41,80
09:20	284,97	87,09	52,80	51,80	51,40	50,90	49,90	48,50	46,30	41,80
09:25	402,76	163,09	54,80	52,20	51,60	51,00	49,90	48,50	46,30	41,80
09:30	510,15	177,98	58,99	52,90	51,90	51,10	50,00	48,60	46,40	41,80
09:35	559,05	191,38	67,39	53,60	52,20	51,20	50,00	48,50	46,40	41,80
09:40	541,65	224,98	100,49	54,70	52,60	51,50	50,20	48,70	46,60	42,40

09:45	502,05	260,08	113,49	56,59	52,90	51,60	50,30	48,90	46,80	42,60
09:50	465,56	309,67	120,89	60,09	53,40	52,00	50,40	49,00	47,10	42,70
09:55	432,96	360,97	128,99	64,79	53,80	52,10	50,50	49,00	47,10	42,70
10:00	404,56	372,57	136,69	71,69	54,40	52,20	50,50	49,00	47,10	42,70
10:05	379,77	365,27	144,49	81,99	55,50	52,50	50,70	49,20	47,10	42,60
10:10	358,17	353,17	154,89	92,09	57,19	52,90	50,80	49,30	47,20	42,70
10:15	339,47	338,97	164,69	100,09	59,59	53,20	50,90	49,40	47,10	42,70
10:20	322,57	323,97	174,78	105,99	62,69	53,70	51,00	49,50	47,10	42,60
10:25	307,67	310,07	187,58	110,79	66,09	54,30	51,20	49,50	47,00	42,50
10:30	294,07	297,37	202,98	115,69	69,69	55,00	51,30	49,50	47,10	42,50
10:35	280,67	284,97	223,08	120,79	73,59	55,99	51,40	49,40	46,90	42,40
10:40	270,68	275,78	236,78	124,29	76,69	56,79	51,50	49,30	46,80	42,30
10:45	260,08	265,98	241,48	127,39	80,39	57,89	51,60	49,30	46,60	42,00
10:50	250,48	256,88	236,08	129,69	84,19	59,39	51,90	49,20	46,50	41,80
10:55	241,48	248,08	225,38	130,99	87,69	60,89	52,10	49,10	46,40	41,70
11:00	233,38	239,58	213,28	130,69	88,59	61,89	52,30	49,10	46,20	41,50
11:05	226,58	230,78	200,58	129,29	87,79	62,49	52,30	48,80	45,80	41,10
11:10	220,08	222,28	190,18	127,49	87,19	62,89	52,30	48,60	45,70	41,00
11:15	213,48	214,08	181,58	125,79	86,69	63,29	52,70	48,70	45,60	41,00
11:20	207,78	207,38	175,38	124,99	87,29	64,19	53,20	48,90	45,70	40,90

TEMPERATURAS DA SONDA MÓVEL (°C)										
Horas	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
09:00	26,40	26,70	26,50	27,00	26,80	26,90	27,30	28,60	31,50	36,40
09:05	23,40	23,50	23,10	23,40	23,40	23,50	23,80	24,50	26,70	35,00
09:10	24,40	24,90	24,90	25,50	25,60	26,10	26,50	27,60	30,30	36,10
09:15	25,10	25,50	25,40	26,40	26,80	27,40	28,10	28,90	31,30	36,70
09:20	26,00	26,60	26,70	27,70	28,20	29,20	30,40	31,30	33,70	39,00
09:25	25,10	25,50	25,70	26,50	27,30	28,60	30,30	32,30	34,40	40,90
09:30	24,70	25,00	25,00	25,60	25,90	26,60	27,90	30,00	34,60	44,00
09:35	30,90	32,20	32,70	40,40	44,90	54,60	66,19	105,89	158,79	223,68
09:40	38,10	41,00	50,00	58,99	74,69	92,09	148,19	203,78	255,38	304,47
09:45	42,00	46,20	54,40	63,19	78,89	95,59	148,79	200,28	249,08	295,77
09:50	45,70	48,20	55,50	65,39	81,89	97,69	145,29	192,68	238,88	282,07
09:55	37,80	40,70	56,69	67,89	84,49	99,99	144,29	187,98	230,58	270,68
10:00	389,06	405,46	403,86	394,66	386,67	356,07	235,28	171,08	143,69	129,39
10:05	369,57	384,77	384,57	376,97	370,27	362,37	286,37	189,08	155,19	140,29
10:10	342,27	357,17	359,67	355,37	351,07	351,87	322,07	220,88	167,68	151,69

10:15	330,07	343,67	346,17	342,37	337,87	338,17	329,97	256,88	178,18	160,29
10:20	314,87	327,77	330,97	328,27	323,87	322,87	323,47	289,17	195,98	166,88
10:25	300,77	313,07	316,67	314,97	310,67	308,87	312,27	305,07	223,68	175,78
10:30	287,87	299,57	303,37	302,37	298,57	296,47	299,77	303,27	253,98	190,78
10:35	275,18	286,27	290,17	289,87	286,57	284,27	286,27	291,47	272,68	214,88
10:40	265,38	275,98	279,97	280,17	277,38	274,98	275,88	279,77	272,78	232,48
10:45	255,18	265,28	269,38	269,88	267,38	264,98	264,78	266,38	262,58	238,98
10:50	245,88	255,38	259,68	260,38	258,18	255,78	254,48	253,88	249,08	234,18
10:55	237,08	246,28	250,48	251,38	249,38	246,88	244,58	242,08	235,98	224,38
11:00	229,48	237,98	241,78	242,88	241,08	238,28	235,28	231,28	223,18	211,88
11:05	43,60	44,30	45,80	47,80	51,40	53,50	55,50	58,29	64,49	76,69
11:10	34,30	35,90	37,00	39,30	41,30	44,40	49,00	54,40	62,29	71,59
11:15	38,70	40,70	42,70	46,00	49,10	52,70	55,20	55,99	60,09	69,09
11:20	26,60	26,90	26,70	27,50	28,20	30,20	34,10	40,70	54,40	66,69

TEMPERATURAS DOS RESISTORES (°C)									
Horas	21	22	23	24	25	26	27	28	29
09:00	54,50	49,40	53,10	49,40	53,20	47,10	55,59	46,50	58,79
09:05	57,79	49,40	54,60	49,40	55,59	47,10	53,70	46,50	54,00
09:10	55,20	50,20	57,79	49,40	53,80	47,10	53,20	46,50	55,59
09:15	62,59	61,59	56,09	49,70	55,10	47,10	53,20	46,60	57,99
09:20	78,89	84,09	56,89	50,40	53,80	47,30	55,79	46,60	59,59
09:25	100,29	111,29	60,49	51,30	55,30	47,40	55,79	46,80	54,00
09:30	124,79	139,19	66,69	52,60	53,40	47,50	56,09	46,80	54,50
09:35	144,49	156,29	73,29	53,70	55,50	47,80	52,50	46,90	56,49
09:40	150,29	156,39	78,49	54,80	53,40	47,70	50,20	46,80	51,30
09:45	150,09	152,59	82,19	55,89	51,90	47,40	48,50	46,40	47,80
09:50	147,89	148,19	84,89	56,99	50,80	47,00	47,30	45,80	45,40
09:55	170,58	175,78	109,29	81,89	67,49	60,99	59,09	58,29	60,59
10:00	160,99	160,49	108,19	81,69	63,89	55,69	54,00	53,70	52,60
10:05	152,29	153,19	106,49	78,79	61,59	54,00	52,00	51,50	48,60
10:10	145,59	147,29	105,49	77,29	60,29	52,90	50,70	49,90	46,00
10:15	140,09	141,99	104,59	76,29	59,39	52,10	49,60	48,40	43,90
10:20	135,19	137,39	103,49	75,59	58,49	51,20	48,70	47,10	42,30
10:25	130,89	132,99	102,29	74,99	57,69	50,40	47,70	45,70	40,80
10:30	127,09	128,99	101,09	74,69	57,19	49,80	46,80	44,60	39,50
10:35	123,09	124,99	99,59	74,19	56,59	49,10	45,80	43,30	38,30
10:40	120,09	121,89	98,39	73,89	56,09	48,40	45,20	42,40	37,50

10:45	116,89	118,59	96,79	73,39	55,69	47,80	44,30	41,40	36,60
10:50	113,99	115,59	95,29	73,09	55,30	47,20	43,70	40,70	35,90
10:55	111,19	112,59	93,69	72,59	55,00	46,80	43,00	39,80	35,10
11:00	108,39	109,69	91,99	71,99	55,00	46,50	42,40	39,20	34,50
11:05	106,09	107,29	90,59	71,69	54,90	46,20	41,70	38,40	33,90
11:10	106,19	107,79	91,39	73,99	57,19	49,90	55,50	41,80	55,99
11:15	152,29	154,69	132,79	120,39	96,19	68,29	54,70	53,70	52,00
11:20	134,69	138,19	121,89	110,59	87,29	63,89	52,60	51,00	47,90

TEMPERATURAS DA CAMISA (°C)								
Horas	30	31	32	33	34	35	36	37
09:00	50,90	49,60	51,40	51,30	50,10	49,70	48,30	47,70
09:05	50,90	49,50	51,50	51,50	50,10	49,70	48,40	47,80
09:10	54,90	64,79	52,50	51,60	50,00	49,40	48,20	47,70
09:15	73,99	109,89	57,39	53,70	50,40	49,90	48,30	47,60
09:20	98,59	174,88	62,49	55,50	50,70	50,40	48,40	47,80
09:25	131,39	241,58	67,19	57,69	51,10	51,30	48,40	48,30
09:30	155,69	303,87	71,19	58,99	52,60	51,70	48,60	48,50
09:35	156,39	350,97	69,49	57,39	51,60	50,90	48,40	48,40
09:40	156,79	350,67	70,79	56,49	51,40	50,30	48,50	48,20
09:45	162,89	336,77	75,39	55,99	51,30	49,90	48,40	47,60
09:50	169,28	319,87	79,99	55,89	51,20	49,60	48,30	47,10
09:55	178,58	303,97	84,49	56,39	51,20	49,40	48,30	46,70
10:00	195,48	289,07	97,49	63,19	53,10	51,00	49,00	48,20
10:05	199,08	276,28	104,89	66,49	53,80	51,30	49,00	48,30
10:10	197,88	263,78	108,69	68,29	54,00	51,20	48,90	47,80
10:15	194,38	253,18	111,39	69,99	54,30	51,00	48,80	47,20
10:20	190,48	243,98	113,59	71,89	54,70	50,70	48,60	46,90
10:25	186,88	233,28	115,69	73,99	55,50	50,70	48,50	46,50
10:30	183,08	226,18	118,19	76,09	56,29	50,70	48,50	46,10
10:35	178,78	217,28	120,89	78,39	57,39	50,60	48,30	45,50
10:40	175,08	211,18	122,99	80,19	58,39	50,40	48,10	45,20
10:45	170,88	204,08	124,49	81,99	59,69	50,40	48,00	44,90
10:50	166,49	197,48	124,79	83,49	60,99	50,50	47,80	44,50
10:55	161,69	191,18	123,79	84,69	62,29	50,50	47,60	44,10
11:00	156,09	184,18	121,89	85,69	63,89	50,80	47,60	44,00
11:05	149,79	179,18	118,19	84,49	64,09	50,60	47,20	43,60
11:10	145,99	175,08	116,19	84,79	64,99	52,10	47,70	45,10
11:15	153,49	172,88	124,49	96,29	68,49	54,30	48,70	47,10

11:20	156,59	171,08	131,89	102,29	71,69	55,59	48,90	47,30
-------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

ENSAIO EXPERIMENTAL 2

TEMPERATURAS DA SONDA FIXA (°C)										
Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
09:30	48,40	49,30	50,30	50,60	50,70	51,10	50,30	49,20	46,40	39,60
09:35	48,40	49,40	50,40	50,60	50,70	51,10	50,30	49,10	46,30	39,60
09:40	48,50	49,40	50,30	50,60	50,80	51,20	50,40	49,20	46,10	39,30
09:45	48,40	49,30	50,40	50,70	50,90	51,20	50,30	49,10	46,10	39,30
09:50	48,50	49,40	50,30	50,60	50,70	51,10	50,30	49,10	46,00	39,20
09:55	94,39	51,60	50,60	50,80	50,90	51,20	50,40	49,20	46,10	39,30
10:00	212,28	73,69	51,50	51,20	51,20	51,50	50,50	49,30	46,20	39,50
10:05	323,77	162,39	53,30	51,80	51,50	51,60	50,60	49,30	46,30	39,50
10:10	431,96	178,98	58,39	52,40	51,60	51,60	50,70	49,30	46,40	39,70
10:15	530,05	197,18	76,19	53,40	52,00	51,90	51,00	49,50	46,50	39,80
10:20	548,15	225,38	109,49	55,50	52,60	52,20	51,50	49,70	47,10	40,30
10:25	509,55	273,38	130,19	59,99	53,60	52,70	51,90	50,00	47,40	40,60
10:30	481,86	337,77	144,69	70,09	54,80	53,20	52,20	50,30	47,50	40,70
10:35	530,75	428,76	157,39	87,79	56,59	53,80	52,30	50,40	47,50	40,70
10:40	532,45	484,96	166,78	109,69	60,49	54,60	52,60	50,60	47,60	40,70
10:45	505,65	484,06	178,68	129,89	67,29	55,59	52,90	50,80	47,70	40,70
10:50	479,16	473,56	189,88	146,99	76,39	57,39	53,50	51,20	47,90	40,80
10:55	456,56	461,76	204,68	156,89	89,39	60,09	54,40	51,70	48,20	41,10
11:00	434,46	447,76	233,08	164,79	109,89	64,49	55,59	52,10	48,60	41,40
11:05	420,76	439,16	278,67	167,58	129,59	70,59	56,69	52,50	48,80	41,70
11:10	406,96	429,46	348,77	171,48	144,29	80,49	58,89	53,20	49,40	42,20
11:15	394,96	420,26	422,96	176,68	153,59	94,39	61,99	54,10	49,90	42,50
11:20	384,47	411,76	455,76	184,08	159,99	110,59	66,19	55,20	50,30	42,80
11:25	375,17	403,66	451,56	193,18	164,29	127,19	72,19	56,69	50,90	43,20
11:30	366,97	396,26	440,66	204,48	165,89	141,09	80,39	58,79	51,50	43,60
11:35	359,57	389,56	429,76	225,98	167,38	150,09	90,99	61,59	52,50	43,90
11:40	353,17	383,47	420,06	264,68	171,38	156,09	103,39	65,39	53,70	44,50
11:45	346,97	377,87	411,46	332,57	175,88	159,49	119,09	70,59	55,00	45,00
11:50	341,67	372,77	404,36	418,16	182,08	161,49	133,09	77,89	56,89	45,80
11:55	336,67	367,87	397,76	454,26	190,48	163,79	145,29	91,69	59,39	46,50
12:00	331,97	363,17	391,66	453,86	197,98	166,19	153,89	106,99	63,19	47,70
12:05	327,67	358,97	386,47	444,06	209,18	168,88	157,59	117,59	70,89	49,00

12:10	323,77	355,27	381,97	433,56	230,38	171,08	159,29	127,69	82,89	50,60
12:15	320,07	351,67	378,27	424,26	265,08	173,48	160,29	137,39	96,69	53,20
12:20	316,57	348,37	374,97	416,06	329,67	176,28	160,79	144,09	114,59	57,19
12:25	313,67	345,37	371,87	408,76	406,86	181,38	160,89	148,19	129,79	63,89
12:30	310,67	342,57	368,87	402,26	455,76	188,08	163,39	151,09	138,69	72,89
12:35	307,87	339,87	366,07	396,56	462,26	196,88	165,79	153,19	144,49	83,09
12:40	305,47	337,37	363,37	391,36	451,26	211,08	168,38	155,19	148,89	94,89
12:45	302,97	334,97	360,87	387,17	439,96	234,68	172,88	157,49	152,39	109,59
12:50	300,97	332,77	358,67	383,97	430,76	276,28	177,18	159,69	155,19	122,39
12:55	298,87	330,77	356,87	381,67	423,46	343,67	181,78	161,19	156,89	135,09
13:00	296,97	328,97	355,27	379,77	417,46	412,96	187,98	163,49	156,89	143,19
13:05	295,27	327,37	353,87	378,27	412,56	462,56	194,18	166,19	156,39	147,39
13:10	293,47	325,67	352,67	376,77	408,06	471,06	204,38	168,98	154,69	148,89
13:15	291,97	324,27	351,37	374,97	403,76	462,56	222,18	172,58	153,39	148,89
13:20	290,67	322,87	350,07	373,07	399,56	450,96	254,18	176,08	155,69	148,39
13:25	289,27	321,47	348,57	371,27	396,06	441,26	312,67	181,08	157,79	148,79
13:30	288,07	320,17	347,47	369,77	393,36	434,26	402,06	187,68	157,79	148,79
13:35	286,77	318,87	346,07	368,27	391,06	428,26	462,76	196,08	162,89	148,89
13:40	285,67	317,67	344,87	366,87	389,06	422,86	485,96	212,68	168,68	147,99
13:45	284,37	316,37	343,77	365,67	387,27	418,06	475,46	249,48	174,18	149,59
13:50	283,37	315,27	342,77	364,37	385,37	413,56	461,56	300,67	178,38	152,49
13:55	282,47	314,17	341,57	362,97	383,17	409,06	450,36	371,77	181,48	154,79
14:00	281,37	313,07	340,47	361,47	380,97	404,96	440,86	474,16	186,08	156,59
14:05	280,57	312,07	339,47	360,17	378,97	401,36	432,36	465,06	193,88	157,89
14:10	279,57	310,87	338,17	358,67	376,77	397,76	425,46	446,96	218,38	158,29
14:15	278,77	309,87	336,97	357,17	374,77	394,76	419,86	457,06	243,78	158,19
14:20	277,97	308,87	335,77	355,77	372,87	392,16	415,66	475,86	260,98	157,19
14:25	277,18	307,87	334,67	354,47	371,27	390,06	412,46	491,06	276,38	160,59
14:30	276,28	306,87	333,47	353,07	369,67	388,27	409,86	478,26	298,37	163,39
14:35	275,48	305,87	332,47	351,97	368,27	386,67	407,86	462,26	325,37	167,48
14:40	274,68	304,97	331,37	350,67	366,97	385,17	406,16	452,16	356,07	171,78
14:45	274,08	304,07	330,37	349,67	365,87	383,97	404,76	444,76	403,26	178,18
14:50	273,28	303,17	329,47	348,57	364,67	382,87	403,36	438,96	468,56	184,88
14:55	272,58	302,27	328,47	347,47	363,57	381,67	402,06	434,26	496,66	192,18
15:00	272,08	301,57	327,57	346,57	362,47	380,67	400,66	429,86	484,86	202,28
15:05	271,38	300,67	326,57	345,57	361,57	379,57	399,36	425,66	472,36	218,68
15:10	270,78	299,87	325,77	344,67	360,57	378,47	397,96	421,56	460,66	253,28
15:15	270,18	299,17	324,77	343,77	359,57	377,37	396,56	417,86	450,26	307,97
15:20	269,58	298,37	324,07	342,97	358,77	376,47	394,96	413,96	439,96	331,17

15:25	269,08	297,67	323,27	341,97	357,67	375,27	393,16	410,26	430,06	350,17
15:30	268,48	296,97	322,37	341,07	356,77	374,17	391,56	406,66	420,76	370,87
15:35	267,88	296,17	321,67	340,27	355,87	372,97	389,76	403,16	412,36	388,86
15:40	267,38	295,67	320,77	339,37	354,87	371,67	387,87	399,56	404,76	381,57
15:45	266,98	294,87	320,07	338,57	353,87	370,47	386,07	396,26	397,66	355,07
15:50	266,38	294,17	319,27	337,67	352,77	369,07	384,07	392,86	391,06	334,27
15:55	265,98	293,57	318,27	336,67	351,57	367,57	381,97	389,46	384,97	322,17
16:00	265,38	293,17	317,57	335,77	350,67	366,17	379,87	386,17	379,37	313,37

TEMPERATURAS DA SONDA MÓVEL (°C)										
Horas	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
09:30	21,90	22,10	21,80	22,40	23,10	24,20	25,70	27,20	27,70	29,80
09:35	22,10	22,40	22,10	22,70	23,40	24,30	25,50	26,10	26,60	29,60
09:40	22,70	23,00	22,90	23,30	23,40	23,80	24,70	25,10	26,30	29,60
09:45	23,00	23,20	22,90	23,70	24,20	25,30	26,50	27,70	28,20	30,40
09:50	22,90	23,20	23,00	23,60	24,10	24,70	25,50	26,50	27,50	30,60
09:55	24,20	24,60	24,70	25,50	26,00	26,90	27,60	28,10	28,40	31,30
10:00	23,20	23,50	23,40	24,20	24,80	25,70	26,70	27,50	28,30	31,90
10:05	23,60	24,10	24,20	25,00	25,70	26,70	27,90	29,20	30,30	32,90
10:10	23,80	24,20	24,10	25,60	26,90	28,40	30,00	31,00	31,30	34,20
10:15	416,06	486,46	446,36	352,77	258,68	213,58	197,98	183,78	152,79	103,59
10:20	510,85	577,95	569,95	461,36	313,77	215,88	172,38	156,89	139,79	119,09
10:25	475,06	534,55	545,95	508,35	381,27	258,68	189,78	165,59	149,99	139,19
10:30	456,06	507,75	520,15	505,85	450,06	306,37	211,68	177,38	158,59	149,59
10:35	511,95	563,55	560,95	528,65	498,96	391,46	247,48	193,38	168,58	158,69
10:40	509,45	556,45	559,75	533,85	507,75	473,96	320,87	221,88	183,58	169,08
10:45	484,26	524,25	532,25	516,65	495,46	480,36	410,76	287,77	206,18	183,78
10:50	461,06	494,36	503,95	495,56	480,96	474,26	453,56	344,57	244,38	203,18
10:55	441,06	469,26	479,36	475,76	466,76	464,66	472,66	415,66	282,97	224,28
11:00	425,96	449,06	458,46	457,96	453,16	453,56	466,16	463,26	340,27	252,28
11:05	411,26	431,36	440,76	442,66	440,96	442,56	454,46	471,76	414,06	300,67
11:10	398,86	416,66	425,66	429,16	429,76	432,36	442,46	460,46	470,16	372,17
11:15	387,67	403,86	412,66	417,36	419,56	422,96	431,96	446,56	467,86	457,06
11:20	410,76	414,96	421,86	433,66	449,96	453,26	359,17	258,18	205,48	190,78
11:25	402,66	407,16	413,36	422,96	436,76	452,86	421,76	306,87	228,08	202,78
11:30	395,16	400,16	405,76	414,16	426,66	444,96	459,16	364,37	256,68	216,38
11:35	388,17	393,36	399,16	406,76	417,86	434,36	459,36	432,56	300,77	240,18
11:40	382,07	387,57	392,96	400,26	410,16	424,36	447,86	462,56	371,17	279,77

11:45	376,37	382,07	387,57	394,56	403,36	415,56	435,36	457,36	438,26	339,07
11:50	393,46	404,56	418,36	439,66	459,16	391,56	295,47	249,78	213,68	198,38
11:55	392,96	402,76	415,26	431,96	452,46	442,36	312,57	235,18	204,58	194,38
12:00	387,77	396,46	406,86	420,66	438,16	452,26	386,87	275,88	216,18	199,78
12:05	383,27	390,96	400,46	412,46	428,06	447,86	445,16	328,97	240,78	209,38
12:10	379,27	386,57	395,06	405,96	420,16	439,36	464,56	404,86	277,08	229,08
12:15	375,87	382,77	390,66	400,76	413,46	430,16	454,96	461,76	347,17	262,18
12:20	372,67	379,37	386,87	396,16	407,16	421,16	441,86	461,56	429,16	327,77
12:25	369,87	376,27	383,17	391,66	401,76	413,36	430,56	450,16	466,16	399,46
12:30	398,06	408,46	421,36	438,16	456,26	438,66	302,87	228,48	197,48	188,78
12:35	393,26	402,46	413,16	427,26	444,26	458,16	374,07	265,28	211,08	196,38
12:40	388,77	396,86	406,26	418,46	433,86	453,66	442,76	319,47	235,88	209,38
12:45	385,17	392,66	401,16	412,26	426,36	446,26	470,96	395,06	272,08	230,08
12:50	382,77	389,76	397,86	408,16	420,96	438,46	463,66	463,66	338,97	263,88
12:55	380,87	387,77	395,36	405,06	416,46	430,86	452,06	470,06	426,36	334,17
13:00	379,17	385,87	393,06	402,06	412,16	423,96	441,56	462,46	470,96	410,66
13:05	409,56	420,16	433,86	453,56	477,96	446,06	326,27	250,68	209,38	195,08
13:10	405,86	414,96	426,86	444,36	468,26	482,66	381,07	283,47	226,08	203,58
13:15	401,86	409,96	420,16	434,96	455,06	478,86	459,86	330,47	250,28	218,38
13:20	398,06	405,36	414,36	427,16	444,06	464,86	487,16	412,46	288,17	241,08
13:25	394,96	401,76	409,96	421,36	435,56	452,46	474,56	475,66	355,87	277,38
13:30	392,66	399,16	406,66	416,96	429,16	442,76	460,76	473,46	437,56	338,27
13:35	425,36	436,96	450,36	463,96	462,06	383,57	277,28	224,08	194,98	187,68
13:40	421,36	431,46	442,66	455,46	465,06	436,96	323,07	248,58	206,48	192,68
13:45	416,86	425,76	435,36	447,06	459,76	466,76	381,17	283,27	223,68	201,88
13:50	412,66	420,46	428,96	439,06	450,86	464,46	441,66	328,37	248,78	218,28
13:55	408,56	415,46	423,06	432,06	442,06	455,06	466,76	389,56	282,27	242,18
14:00	434,56	446,36	460,56	439,76	331,47	267,78	224,48	202,58	187,68	180,58
14:05	429,46	439,76	453,26	456,26	375,87	298,47	242,98	211,98	191,28	183,28
14:10	423,96	433,06	445,56	459,16	418,26	341,27	279,87	237,78	203,38	189,78
14:15	419,76	427,96	439,16	455,36	447,66	383,17	317,87	267,78	219,38	197,98
14:20	416,36	423,76	434,36	451,56	465,36	424,16	351,57	291,07	237,98	209,38
14:25	413,76	420,66	430,26	446,36	468,36	450,16	391,66	332,17	265,38	227,08
14:30	411,46	417,86	426,86	442,26	467,06	467,16	429,86	386,77	302,57	253,18
14:35	409,56	415,86	424,26	439,06	465,36	486,26	459,26	433,06	355,97	289,37
14:40	407,86	413,96	422,26	436,26	462,16	498,46	484,86	447,86	396,66	342,27
14:45	406,56	412,56	420,36	433,46	456,36	494,46	508,35	465,56	415,46	367,57
14:50	449,16	477,56	510,55	495,96	445,66	384,37	315,47	248,38	193,98	174,48
14:55	442,56	463,56	494,46	518,85	486,66	418,56	333,27	265,58	204,18	180,18

15:00	435,76	451,36	473,66	502,35	515,55	474,26	369,37	286,97	217,98	189,88
15:05	430,16	441,96	457,76	478,56	501,65	513,85	438,46	319,77	234,38	201,28
15:10	425,16	434,36	446,16	460,96	477,66	497,06	504,45	384,97	259,48	216,58
15:15	420,76	428,16	436,96	447,86	459,56	472,36	488,96	470,26	309,07	240,58
15:20	416,76	422,76	429,46	437,76	445,86	453,76	462,96	462,96	375,37	282,67
15:25	413,06	417,86	422,86	429,16	434,66	439,06	442,46	438,46	393,86	350,87
15:30	409,36	413,16	416,96	421,66	424,86	426,66	426,26	421,16	398,06	373,87
15:35	405,86	409,06	411,56	414,86	416,46	416,26	413,66	408,66	401,66	404,06
15:40	402,36	404,76	406,46	408,56	408,86	407,16	403,16	396,76	387,57	408,16
15:45	399,06	400,76	401,66	402,86	402,06	399,36	393,46	383,87	362,27	356,37
15:50	386,17	389,06	390,96	393,56	395,16	396,36	397,36	397,46	395,56	393,16
15:55	384,17	386,77	388,47	390,76	391,86	392,66	393,16	392,66	390,06	387,17
16:00	381,97	384,37	385,67	387,77	388,67	389,06	389,06	387,97	384,47	380,97

TEMPERATURAS DOS RESISTORES (°C)								
Horas	21	22	23	24	25	26	27	28
09:30	55,20	48,70	58,79	48,70	56,79	47,70	56,09	60,69
09:35	55,79	48,60	55,59	48,60	57,19	47,60	54,50	55,99
09:40	55,00	48,70	53,10	48,80	54,20	47,80	57,49	57,09
09:45	57,39	48,60	56,79	48,70	59,39	47,70	55,30	55,50
09:50	55,99	48,80	54,00	49,00	55,99	47,80	53,20	58,69
09:55	58,19	49,60	55,59	49,00	53,30	47,80	57,29	55,00
10:00	78,09	52,90	54,00	49,20	57,29	48,10	54,80	60,59
10:05	108,09	59,09	53,50	49,70	54,30	48,00	52,90	56,09
10:10	139,89	68,09	54,00	49,90	58,29	48,20	55,89	56,09
10:15	204,88	126,39	89,29	69,39	55,89	60,69	53,80	57,49
10:20	293,57	284,97	118,29	73,99	54,30	62,49	57,39	53,50
10:25	310,07	317,97	150,29	78,89	58,79	59,09	55,59	56,99
10:30	353,87	345,97	179,18	93,99	57,79	57,09	54,20	52,90
10:35	408,46	402,66	204,88	105,29	64,79	59,59	53,10	55,40
10:40	415,46	414,96	223,98	128,29	63,49	58,79	55,20	58,49
10:45	403,56	403,76	245,48	149,89	70,09	61,89	53,60	54,50
10:50	400,86	399,86	266,38	168,38	79,79	63,79	54,00	60,99
10:55	390,26	387,77	275,98	183,98	89,79	64,79	58,99	56,19
11:00	379,07	378,37	298,37	192,38	99,69	70,59	57,19	60,99
11:05	371,17	371,67	318,97	200,28	116,99	76,59	55,99	56,89
11:10	368,47	365,87	343,07	211,58	133,69	83,79	59,09	62,29
11:15	366,47	364,77	362,77	223,88	148,99	90,79	58,19	57,39

11:20	363,87	369,37	370,47	235,88	157,09	96,89	59,59	62,49
11:25	361,97	373,17	374,17	247,38	170,78	112,89	64,19	57,69
11:30	359,87	373,97	374,37	257,48	171,18	128,19	71,09	64,09
11:35	354,27	372,97	368,97	265,48	180,68	141,39	70,69	68,99
11:40	344,97	363,97	364,07	282,67	180,98	152,29	77,89	64,79
11:45	341,87	367,77	365,27	297,47	193,48	160,59	84,99	70,39
11:50	341,77	363,17	365,27	323,87	197,18	166,98	91,79	76,59
11:55	343,27	358,17	357,67	348,97	207,58	172,58	108,09	78,79
12:00	340,87	360,47	370,67	364,57	219,38	177,08	114,69	77,09
12:05	332,37	357,47	379,37	376,27	231,98	181,78	129,39	84,09
12:10	336,37	358,57	376,37	378,07	242,48	186,38	141,99	93,19
12:15	334,87	361,47	380,47	374,57	251,08	192,08	149,89	109,99
12:20	329,17	354,47	376,27	376,37	270,38	194,58	153,19	122,89
12:25	334,37	358,87	376,47	377,27	283,57	201,38	161,59	129,69
12:30	323,07	351,07	368,27	374,07	310,67	214,98	160,79	132,29
12:35	330,07	354,27	372,07	368,47	350,37	226,68	167,48	148,29
12:40	320,67	352,37	365,07	386,97	382,47	246,58	169,98	150,69
12:45	328,37	346,57	374,57	405,76	402,96	260,48	170,08	152,79
12:50	320,47	353,67	372,17	411,66	410,96	273,78	170,98	165,59
12:55	324,27	348,17	379,47	408,66	410,16	287,57	180,78	164,69
13:00	321,67	353,37	375,87	406,66	406,36	304,17	183,68	169,18
13:05	315,47	352,97	373,37	403,36	399,46	324,47	186,48	172,28
13:10	323,17	348,87	374,67	388,17	389,86	356,07	197,08	168,88
13:15	316,07	345,27	368,67	382,07	392,66	387,37	201,28	179,38
13:20	322,37	344,67	364,27	382,37	417,16	412,86	214,48	177,78
13:25	317,87	347,57	369,77	384,37	420,06	421,26	228,08	187,48
13:30	311,97	345,57	370,17	385,87	421,36	421,46	240,18	190,38
13:35	319,77	340,07	365,47	387,37	420,46	419,56	251,88	198,68
13:40	314,57	345,57	364,97	389,06	407,76	411,06	275,48	200,38
13:45	308,17	344,37	368,57	381,67	402,76	404,56	298,37	212,98
13:50	315,07	341,37	366,47	378,57	401,66	398,46	324,67	210,58
13:55	312,17	338,17	361,87	379,57	394,96	397,46	346,27	223,18
14:00	306,37	334,27	357,27	370,67	391,66	391,56	377,87	237,68
14:05	306,77	338,87	354,27	372,77	392,86	402,86	399,06	247,88
14:10	311,77	336,47	356,47	371,07	387,97	407,16	411,66	261,58
14:15	309,27	332,57	358,17	369,37	391,56	410,16	410,66	276,18
14:20	305,27	332,07	356,67	371,37	392,46	417,36	418,66	290,97
14:25	301,67	336,27	353,37	367,27	389,76	417,36	416,56	304,47
14:30	299,07	334,47	350,77	370,57	392,86	416,76	415,76	316,17

14:35	300,87	331,87	348,27	366,97	387,57	420,66	420,56	323,97
14:40	307,57	329,57	349,07	366,37	390,56	413,66	413,66	336,07
14:45	305,87	328,97	352,67	366,67	388,77	418,26	417,66	358,17
14:50	304,17	327,87	353,07	362,07	387,67	413,56	415,06	370,47
14:55	302,67	325,87	351,87	365,57	389,96	412,96	408,26	385,27
15:00	301,87	324,57	350,77	360,17	384,37	409,06	407,06	391,36
15:05	300,97	324,37	348,87	364,87	387,47	404,16	409,16	390,16
15:10	300,37	322,97	347,77	359,67	381,57	407,06	407,36	393,36
15:15	299,97	321,57	346,17	362,17	385,27	400,56	404,36	385,37
15:20	299,77	321,17	345,07	362,47	380,47	395,66	399,86	388,47
15:25	299,87	321,97	342,77	357,57	382,47	396,86	395,96	376,37
15:30	300,07	321,97	341,97	359,37	378,37	396,26	395,16	379,47
15:35	299,87	322,67	339,97	357,67	376,77	391,06	391,26	372,67
15:40	298,37	321,67	339,07	354,87	375,87	385,37	391,26	364,07
15:45	297,17	320,07	338,77	351,97	370,47	382,37	389,26	366,17
15:50	295,97	318,47	338,47	349,37	372,97	381,57	384,07	361,17
15:55	296,27	317,07	337,87	350,47	367,67	382,47	381,07	351,97
16:00	301,57	319,87	332,37	347,47	367,17	378,17	372,57	353,97

TEMPERATURAS DA CAMISA (°C)								
Horas	29	30	31	32	33	34	35	36
09:30	44,70	50,30	50,90	49,90	50,00	50,20	49,10	50,30
09:35	44,70	50,20	50,90	50,00	50,20	50,40	49,20	50,50
09:40	44,70	50,20	50,90	50,00	50,20	50,40	49,10	50,30
09:45	44,60	50,20	50,90	50,00	50,10	50,30	49,10	50,20
09:50	44,70	50,30	51,00	50,20	50,20	50,40	49,10	50,20
09:55	47,50	71,09	55,50	51,70	50,60	50,70	49,30	50,50
10:00	62,29	121,29	62,89	54,20	51,20	51,10	49,40	50,90
10:05	95,99	184,98	69,69	56,29	51,80	51,60	49,60	51,30
10:10	144,29	231,58	76,99	57,89	52,10	51,80	49,70	51,20
10:15	195,88	267,68	87,29	58,79	52,50	52,10	49,80	51,30
10:20	223,78	286,37	111,09	64,09	53,30	52,80	50,20	51,00
10:25	237,18	313,07	142,99	74,09	54,70	53,60	50,90	51,10
10:30	245,48	350,47	173,08	87,79	56,79	54,80	51,20	51,90
10:35	266,28	403,66	202,18	105,49	59,89	55,99	51,60	52,10
10:40	281,27	409,86	225,08	123,99	63,29	57,09	51,90	52,20
10:45	287,57	403,26	243,08	143,99	67,89	58,39	52,20	52,60
10:50	288,47	394,66	260,08	163,19	74,39	60,19	52,60	52,60

10:55	286,97	386,57	276,08	178,68	83,69	62,59	53,20	53,50
11:00	284,27	379,47	293,67	190,98	96,89	65,79	54,00	53,90
11:05	280,77	372,87	314,17	200,48	112,89	70,49	54,90	54,50
11:10	277,18	366,97	338,67	209,98	129,39	77,19	55,99	55,20
11:15	273,38	361,97	358,37	219,88	143,89	85,49	57,49	55,99
11:20	269,58	357,57	367,07	230,68	155,69	95,79	59,59	56,89
11:25	266,38	354,17	369,17	242,08	164,59	108,29	62,09	57,99
11:30	263,18	351,17	368,47	252,98	170,78	122,29	65,39	59,49
11:35	260,38	348,07	366,77	264,28	174,58	135,49	69,89	61,39
11:40	257,88	345,07	364,57	279,67	178,98	146,59	75,79	63,59
11:45	255,28	342,07	361,97	299,27	187,98	154,89	82,99	65,99
11:50	253,08	339,27	359,77	324,87	196,98	161,99	91,89	68,99
11:55	250,78	336,57	357,57	351,57	205,78	167,78	102,59	72,89
12:00	249,08	334,17	356,07	367,37	216,38	172,98	115,49	77,39
12:05	247,38	332,27	356,07	373,97	228,58	177,58	127,29	84,49
12:10	245,78	330,47	355,97	376,47	240,18	183,18	137,09	94,19
12:15	244,38	328,97	355,27	376,67	251,68	189,08	144,99	104,49
12:20	243,18	327,27	354,07	374,77	266,28	194,68	151,49	114,99
12:25	241,78	325,47	352,37	372,07	285,67	201,28	155,79	124,89
12:30	240,58	323,77	350,47	369,37	313,07	210,08	159,09	133,49
12:35	239,48	322,07	348,57	366,87	354,07	223,78	161,99	140,89
12:40	238,48	320,57	347,17	365,87	385,47	241,68	164,99	147,29
12:45	237,38	319,37	346,77	368,67	403,86	259,68	168,18	152,99
12:50	236,58	318,67	347,27	372,27	410,46	274,98	171,18	157,59
12:55	235,78	317,97	347,67	374,07	408,76	288,87	175,08	161,69
13:00	235,18	317,27	347,47	373,87	403,46	303,27	180,28	164,69
13:05	234,48	316,47	346,77	372,37	398,36	321,27	185,98	166,98
13:10	234,08	315,47	345,57	369,57	387,57	355,97	192,48	169,28
13:15	233,58	314,37	344,07	366,77	383,07	390,96	201,58	172,38
13:20	232,98	313,07	342,77	365,07	383,47	413,96	212,68	176,68
13:25	232,48	312,17	341,87	364,77	385,67	421,56	224,18	181,88
13:30	232,18	311,27	341,27	364,77	386,37	421,46	236,68	187,28
13:35	231,58	310,37	340,67	364,27	385,47	417,46	251,58	192,98
13:40	231,28	309,47	339,77	363,27	383,57	408,76	270,08	199,38
13:45	231,08	308,47	338,77	361,87	380,37	403,06	293,27	205,58
13:50	230,88	307,27	337,57	360,17	377,17	398,06	320,07	212,08
13:55	230,48	306,37	336,37	358,27	374,17	394,06	348,47	219,98
14:00	230,08	305,27	335,07	356,47	371,47	390,86	376,57	230,48
14:05	229,58	304,17	333,67	354,87	369,37	388,67	398,76	243,18

14:10	229,38	303,17	332,57	353,47	368,17	388,96	408,06	258,38
14:15	229,08	302,27	331,47	352,47	367,37	389,46	411,36	273,18
14:20	228,78	301,57	330,67	351,47	366,57	389,46	414,16	286,27
14:25	228,38	300,67	329,77	350,67	365,97	389,46	415,86	298,67
14:30	228,28	299,87	328,87	349,77	365,27	389,16	416,46	311,67
14:35	227,98	299,17	328,07	349,07	364,57	388,77	416,06	325,17
14:40	227,78	298,47	327,37	348,17	363,77	388,17	414,96	339,57
14:45	227,58	297,77	326,47	347,47	363,17	387,57	413,56	354,47
14:50	227,28	297,27	325,87	346,57	362,37	386,77	411,76	372,87
14:55	227,18	296,47	324,97	345,87	361,67	385,77	409,46	386,07
15:00	227,18	295,77	324,17	345,07	360,97	384,87	407,06	390,96
15:05	226,98	295,17	323,57	344,37	360,17	383,67	404,76	392,26
15:10	226,88	294,57	322,87	343,47	359,37	382,47	402,16	390,86
15:15	226,78	293,87	322,07	342,87	358,67	381,27	399,66	388,27
15:20	226,58	293,17	321,37	342,07	357,87	380,07	397,26	384,47
15:25	226,28	292,47	320,47	341,17	356,77	378,47	394,36	379,87
15:30	226,08	291,77	319,77	340,27	355,57	376,97	391,66	375,37
15:35	225,88	291,17	318,87	339,17	354,27	375,07	388,77	370,97
15:40	225,68	290,37	317,97	338,27	352,87	373,07	385,87	366,77
15:45	225,38	289,67	317,17	337,17	351,47	371,07	382,97	362,47
15:50	224,98	288,87	316,37	336,17	350,27	369,77	380,27	358,57
15:55	224,88	288,57	315,67	335,07	349,37	368,67	377,87	355,07
16:00	225,78	295,47	315,67	331,07	346,57	364,07	373,07	351,27

ENSAIO EXPERIMENTAL 3

TEMPERATURAS DA SONDA FIXA (°C)										
Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
09:30	49,60	50,30	51,20	51,50	51,60	51,80	50,90	49,70	46,90	40,20
09:35	49,60	50,30	51,20	51,50	51,60	51,80	50,90	49,70	46,90	40,20
09:40	49,60	50,40	51,20	51,40	51,50	51,80	51,00	49,80	46,90	40,30
09:45	76,49	51,40	51,30	51,50	51,60	51,80	50,90	49,70	46,60	40,10
09:50	182,38	64,39	51,90	51,40	51,30	51,50	50,40	49,40	46,30	39,80
09:55	259,68	133,79	53,60	51,90	51,60	51,60	50,40	49,30	46,20	39,70
10:00	362,37	171,38	59,69	52,70	51,80	51,50	50,10	49,00	45,90	39,50
10:05	467,66	180,58	90,19	53,50	51,80	51,30	49,70	48,50	45,30	38,90
10:10	561,95	199,48	141,59	55,40	51,90	51,20	49,40	48,10	45,00	38,80
10:15	562,75	231,68	143,89	62,39	52,50	51,40	49,70	48,30	45,30	39,00

10:20	529,55	263,88	145,99	77,89	53,50	51,90	50,10	48,50	45,70	39,30
10:25	492,36	300,77	147,79	91,19	54,80	52,30	50,60	48,90	46,30	39,90
10:30	495,16	357,77	151,99	103,69	57,29	53,10	51,00	49,30	46,90	40,50
10:35	508,65	431,26	156,99	115,39	61,39	53,90	51,60	49,70	47,40	40,80
10:40	485,76	467,46	164,69	126,69	67,89	55,00	52,20	50,10	47,80	41,00
10:45	458,96	472,06	172,78	138,69	78,89	56,89	53,10	50,70	48,20	41,30
10:50	434,46	462,36	182,18	148,29	96,99	59,59	54,10	51,30	48,50	41,60
10:55	413,36	449,06	194,48	153,99	118,99	65,39	55,30	51,90	49,00	42,00
11:00	395,86	435,56	212,88	159,69	134,39	77,89	56,99	52,60	49,60	42,40
11:05	380,87	423,06	239,58	165,59	143,99	96,59	59,49	53,40	49,90	42,50
11:10	368,27	411,96	281,47	170,38	149,89	115,89	64,79	54,40	50,50	42,80
11:15	357,27	401,86	346,27	174,58	155,09	129,09	76,59	55,89	51,20	43,20
11:20	347,87	392,96	413,56	178,38	160,49	139,29	94,79	57,99	52,10	43,60
11:25	339,77	385,07	439,96	182,28	165,39	147,59	114,79	61,69	53,10	44,00
11:30	332,57	378,07	442,76	187,48	168,08	153,69	132,89	67,19	54,30	44,50
11:35	326,47	371,97	443,26	197,08	169,28	157,99	142,89	77,79	55,79	44,90
11:40	321,07	366,17	439,56	218,18	170,38	160,19	149,49	109,09	58,09	45,60
11:45	316,17	360,97	431,46	251,08	172,48	161,19	152,89	129,19	61,59	46,30
11:50	311,77	356,07	422,36	289,17	174,48	162,29	154,99	138,19	68,79	47,20
11:55	307,77	351,37	413,36	330,77	177,58	163,89	156,99	143,99	82,79	48,40
12:00	304,17	347,07	404,96	376,07	182,28	164,09	158,49	148,69	107,79	50,30
12:05	300,47	342,97	396,96	419,26	189,68	164,49	158,89	151,99	125,49	54,80
12:10	297,37	339,27	390,16	445,26	198,28	166,49	159,29	154,09	135,29	63,99
12:15	294,37	336,07	384,37	463,56	209,18	170,98	161,09	156,39	142,19	80,79
12:20	291,97	333,37	380,17	465,96	225,28	175,08	161,99	158,29	147,79	93,89
12:25	289,27	330,47	375,47	452,86	255,08	179,78	161,79	158,99	152,69	109,89
12:30	287,17	328,17	371,67	439,76	295,37	184,38	163,09	159,89	155,29	118,39
12:35	285,37	326,17	368,37	430,56	344,77	187,58	165,59	160,59	157,19	133,69
12:40	283,47	323,87	364,37	420,26	385,57	192,28	169,48	160,29	158,19	142,29
12:45	282,17	322,07	361,27	413,06	400,26	199,98	173,38	160,19	158,29	145,49
12:50	280,87	320,47	358,37	405,86	417,46	214,98	177,08	161,39	159,29	149,09
12:55	279,57	318,57	355,07	398,56	437,46	234,68	180,18	162,29	159,39	152,89
13:00	278,37	316,97	352,47	392,86	452,86	255,38	182,48	164,19	159,09	153,99
13:05	277,28	315,37	349,77	387,97	458,86	277,18	186,08	166,29	158,99	154,59
13:10	276,48	314,07	347,57	384,27	457,36	303,57	189,78	168,78	158,89	154,89
13:15	275,68	312,87	345,87	381,17	452,46	347,57	193,28	171,08	158,59	154,99
13:20	274,98	311,97	344,47	378,67	446,26	424,96	199,18	173,58	158,89	154,59
13:25	274,28	311,07	343,37	376,37	439,26	450,16	209,58	174,78	161,19	155,29
13:30	273,78	310,27	342,17	374,07	431,36	444,76	235,28	176,68	162,99	155,79

13:35	273,28	309,67	341,17	371,67	423,46	445,06	270,88	180,88	163,99	155,39
13:40	272,98	309,07	340,27	369,47	416,16	450,66	310,17	186,08	166,39	156,89
13:45	272,98	308,77	339,27	367,37	409,96	456,96	361,87	189,98	168,98	157,19
13:50	272,68	308,27	338,57	365,77	405,06	460,16	407,76	193,98	171,38	156,59
13:55	272,68	307,97	337,87	364,37	401,06	459,26	439,56	200,58	173,68	156,69
14:00	272,68	307,77	337,27	363,07	397,76	455,66	468,76	209,48	175,48	156,79
14:05	272,68	307,47	336,77	361,97	394,96	450,76	484,06	223,28	180,18	159,09
14:10	272,38	307,07	336,17	360,87	392,36	445,36	482,36	240,98	179,88	158,09
14:15	272,38	306,87	335,57	359,87	389,96	439,56	473,66	272,98	181,38	157,99
14:20	272,58	306,67	335,17	359,17	387,87	433,96	464,96	322,67	184,58	158,09
14:25	272,68	306,57	334,87	358,27	385,67	428,46	459,36	387,27	191,08	158,89
14:30	272,78	306,47	334,37	357,37	383,57	423,26	456,06	384,87	199,58	160,99
14:35	272,88	306,37	333,97	356,47	381,67	418,56	453,56	399,46	211,58	161,89
14:40	272,98	306,17	333,67	355,77	380,17	414,56	451,46	422,26	223,68	161,69
14:45	273,18	306,17	333,27	355,07	378,57	410,96	449,26	436,36	240,08	161,09
14:50	273,28	306,17	332,97	354,37	377,07	407,56	446,76	445,16	259,98	163,29
14:55	273,58	306,17	332,67	353,77	375,77	404,56	444,06	450,36	290,17	166,88
15:00	273,58	306,07	332,37	353,07	374,37	401,76	441,26	451,46	330,27	168,98
15:05	273,88	305,97	332,17	352,47	373,17	399,16	438,16	450,16	371,97	172,48
15:10	274,08	306,07	331,87	351,87	371,97	396,76	435,06	448,16	403,36	177,48
15:15	274,28	306,07	331,77	351,37	370,97	394,56	431,66	445,36	425,96	185,98
15:20	274,58	306,17	331,47	350,67	369,77	392,26	428,06	442,56	434,16	195,18
15:25	274,78	306,07	331,17	350,07	368,47	390,26	424,26	439,56	434,96	207,78
15:30	274,98	306,17	330,97	349,37	367,37	388,27	420,26	436,56	435,26	230,48
15:35	275,28	306,17	330,57	348,57	366,07	386,07	416,16	433,56	434,76	241,98
15:40	275,48	306,17	330,07	347,67	364,77	384,07	412,26	430,66	433,46	251,58
15:45	275,68	306,07	329,67	346,97	363,57	382,07	408,16	427,66	431,86	261,88
15:50	275,68	305,77	329,17	346,07	362,27	380,17	404,46	424,66	429,76	272,08
15:55	275,68	305,57	328,67	345,27	361,07	378,27	400,76	421,66	427,46	283,47
16:00	275,68	305,27	328,07	344,47	359,87	376,37	397,36	418,66	425,26	298,07
16:05	275,78	305,17	327,57	343,67	358,67	374,57	394,06	415,46	422,86	374,37
16:10	275,58	304,67	326,97	342,67	357,47	372,77	390,86	412,16	421,16	395,96
16:15	275,68	304,47	326,47	342,07	356,37	371,07	387,87	408,26	419,56	395,36
16:20	275,48	304,07	325,87	341,17	355,07	369,17	384,97	404,46	417,96	398,86
16:25	275,28	303,57	325,17	340,37	353,97	367,57	382,37	400,56	416,36	423,56
16:30	275,08	303,17	324,57	339,37	352,67	365,77	379,67	396,66	413,76	442,56
16:35	274,78	302,57	323,87	338,47	351,47	364,07	377,27	392,86	410,66	445,06
16:40	274,58	302,17	323,27	337,67	350,17	362,37	374,77	389,16	407,06	428,36
16:45	274,28	301,77	322,57	336,77	349,07	360,77	372,57	385,77	403,86	403,16

16:50	273,98	301,27	321,97	335,87	347,77	359,27	370,27	382,37	400,06	399,46
16:55	273,58	300,77	321,17	334,87	346,57	357,67	368,07	379,07	395,96	386,47
17:00	273,28	300,17	320,47	333,87	345,37	356,07	365,87	375,77	391,56	367,07

TEMPERATURAS DA SONDA MÓVEL (°C)										
Horas	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
09:30	23,70	23,70	23,20	23,50	23,40	23,60	24,40	25,80	27,00	29,70
09:35	23,90	24,00	23,50	23,80	23,80	24,00	24,40	25,20	25,90	29,20
09:40	24,10	24,10	23,60	23,80	23,60	23,90	24,40	25,70	27,00	29,60
09:45	24,20	24,20	23,70	23,90	23,80	24,10	24,50	25,40	26,20	29,40
09:50	24,40	24,40	23,80	24,10	24,00	24,30	24,90	26,00	27,00	29,70
09:55	24,40	24,40	23,90	24,20	24,00	24,20	24,70	25,60	26,90	29,80
10:00	24,70	24,70	24,20	24,40	24,30	24,50	25,00	25,90	28,20	30,60
10:05	24,80	24,80	24,20	24,50	24,40	24,70	25,30	26,60	28,20	31,20
10:10	538,25	602,25	555,35	424,16	270,78	191,28	166,78	150,59	123,59	99,09
10:15	525,15	583,75	566,65	499,36	360,47	230,68	177,08	156,09	135,19	118,89
10:20	487,76	538,45	534,45	495,46	403,36	270,08	186,78	161,99	145,89	134,59
10:25	454,06	495,86	500,95	479,96	434,26	310,07	204,58	168,28	151,69	142,09
10:30	469,36	512,35	512,75	485,16	458,96	360,17	230,78	177,38	158,59	148,99
10:35	482,66	524,45	527,15	501,15	476,46	413,96	269,18	189,98	166,29	155,79
10:40	460,96	495,86	502,45	489,36	476,16	449,26	315,17	210,78	175,58	165,39
10:45	437,46	466,26	474,66	470,26	465,26	458,06	360,57	239,28	183,68	173,78
10:50	416,46	440,76	450,06	451,06	451,46	455,46	400,06	276,58	196,68	181,58
10:55	398,36	419,16	428,96	433,46	437,36	447,86	429,16	319,17	217,58	187,68
11:00	382,57	401,16	411,26	417,66	424,26	437,96	449,96	363,37	248,08	198,28
11:05	369,27	385,97	396,16	404,16	412,46	426,96	452,36	408,26	287,47	221,18
11:10	357,67	373,17	383,27	392,36	401,76	416,06	443,96	444,66	333,87	254,38
11:15	347,87	362,37	372,47	382,27	392,36	406,36	432,36	456,06	383,47	295,67
11:20	383,57	397,26	419,16	446,66	424,66	325,77	236,28	198,78	189,98	184,98
11:25	378,47	391,96	412,06	438,26	444,86	372,07	263,08	204,88	186,98	187,08
11:30	372,47	385,27	403,16	427,26	448,46	414,16	304,77	227,28	190,98	185,48
11:35	366,77	378,97	395,06	416,26	440,86	437,86	351,57	258,68	204,18	188,78
11:40	361,37	373,17	387,47	405,76	428,76	442,86	395,76	299,37	225,58	197,28
11:45	356,47	367,67	380,67	396,56	416,76	437,86	424,26	345,67	257,38	214,98
11:50	351,87	362,47	374,47	388,47	406,66	429,06	435,66	390,46	297,37	242,08
11:55	347,17	357,67	368,97	381,77	398,16	419,46	439,26	420,86	346,67	278,07
12:00	343,07	353,27	363,97	375,97	390,86	410,76	437,06	437,46	394,36	322,17
12:05	385,47	404,16	430,16	444,46	422,36	352,57	263,18	210,68	188,78	189,28

12:10	381,07	398,26	422,46	444,36	434,96	395,06	301,17	232,68	195,08	189,48
12:15	376,87	392,46	414,26	437,16	440,46	418,96	349,77	263,48	209,08	190,78
12:20	373,57	387,97	407,46	429,66	441,66	433,56	388,67	299,67	228,18	199,48
12:25	369,67	382,97	400,16	420,76	439,46	442,46	417,66	350,97	260,98	219,48
12:30	366,47	378,77	394,06	412,86	433,66	444,46	432,16	388,57	298,47	245,68
12:35	363,67	375,17	388,96	405,86	425,96	441,16	438,86	410,66	335,37	275,38
12:40	360,27	370,97	383,27	398,26	416,16	433,66	442,26	428,56	379,47	317,07
12:45	357,57	367,57	379,07	392,46	408,76	426,66	441,96	438,46	406,66	354,57
12:50	402,26	419,66	437,36	443,16	422,76	376,97	295,27	237,28	200,98	188,98
12:55	395,96	412,26	431,86	445,76	435,36	406,46	336,17	265,38	217,28	197,68
13:00	390,26	405,16	424,36	443,66	445,56	424,06	373,67	298,37	238,88	212,08
13:05	385,97	399,56	417,86	439,76	453,16	438,66	403,66	336,77	266,28	231,58
13:10	382,87	395,56	412,26	434,26	455,36	451,96	424,56	375,47	297,77	256,68
13:15	380,27	391,86	407,16	427,66	451,76	462,56	441,56	408,96	334,87	285,97
13:20	378,07	388,86	402,76	420,86	443,36	462,56	456,26	431,76	374,57	317,87
13:25	436,26	458,26	465,16	444,46	408,76	336,97	271,48	226,48	197,98	186,38
13:30	427,76	449,16	465,06	457,06	431,36	374,07	298,87	246,88	210,48	194,88
13:35	419,56	438,56	457,46	463,56	445,16	408,86	332,17	273,88	228,28	205,98
13:40	412,56	429,16	448,76	463,06	455,06	432,36	370,67	305,27	252,18	222,18
13:45	406,86	421,36	439,96	458,56	460,26	444,76	407,46	339,97	280,37	245,18
13:50	402,36	415,36	432,66	452,86	462,36	453,36	432,06	380,77	312,07	272,38
13:55	399,16	410,96	426,46	446,46	461,06	458,76	446,26	416,56	352,37	304,07
14:00	457,06	459,16	452,96	436,56	390,26	328,57	270,08	224,88	195,08	186,08
14:05	454,36	460,16	458,46	447,16	418,26	370,27	299,57	245,48	203,88	188,18
14:10	448,56	457,96	459,26	450,86	431,46	404,46	342,37	274,38	221,38	198,08
14:15	441,56	453,76	458,46	453,56	439,66	422,76	385,37	310,77	246,38	213,68
14:20	434,76	448,36	456,46	455,56	445,76	434,26	413,96	351,37	277,08	236,08
14:25	428,26	442,26	453,46	456,66	450,26	441,36	428,36	389,46	311,97	264,68
14:30	422,86	436,56	449,96	456,66	453,46	446,96	437,36	413,46	350,17	297,37
14:35	418,16	431,46	445,96	455,46	455,46	451,16	443,46	427,16	381,87	330,57
14:40	414,06	426,66	441,76	453,66	456,56	454,46	448,06	436,06	405,36	365,07
14:45	410,66	422,26	437,06	450,76	456,06	455,96	450,46	441,76	421,96	392,16
14:50	407,26	418,06	432,06	446,76	454,36	455,86	451,46	446,76	435,46	414,16
14:55	452,06	453,76	450,26	450,06	443,86	420,16	368,77	312,87	258,98	222,98
15:00	449,56	452,16	450,06	452,66	451,76	435,86	392,06	338,57	284,37	245,48
15:05	446,26	450,06	448,86	452,76	454,96	445,16	412,56	364,07	310,47	271,68
15:10	442,66	447,76	447,16	451,36	454,96	448,26	427,96	388,86	336,87	298,07
15:15	438,56	444,86	445,16	449,26	454,66	451,26	438,26	410,66	362,87	324,57
15:20	434,26	441,46	442,76	446,96	453,26	452,26	444,06	426,56	387,87	350,07

15:25	429,56	437,76	440,06	444,36	451,46	452,06	447,36	436,56	411,06	375,07
15:30	424,86	433,86	437,16	441,76	449,26	450,96	448,66	441,66	426,96	399,66
15:35	446,66	448,66	447,46	443,66	435,56	414,46	361,67	299,97	238,08	207,88
15:40	444,16	446,56	446,46	444,46	438,96	430,06	389,26	323,57	255,18	218,88
15:45	441,26	444,06	444,86	444,46	440,16	436,26	422,26	356,97	276,58	233,88
15:50	438,16	441,26	442,76	443,76	439,86	436,56	429,36	396,16	321,67	263,38
15:55	434,86	438,56	440,26	441,76	438,86	435,26	428,96	408,96	348,17	285,97
16:00	431,16	435,76	437,56	439,36	437,56	434,36	429,16	416,06	358,97	297,27
16:05	426,46	432,36	434,86	436,66	435,86	433,46	429,16	419,56	362,27	298,97
16:10	420,96	428,26	431,86	434,06	434,06	433,36	430,66	425,36	373,57	309,77
16:15	415,16	423,26	428,76	431,46	432,06	433,16	432,76	430,46	384,47	323,27
16:20	409,66	417,86	425,06	428,96	430,26	432,76	434,96	434,86	396,16	337,07
16:25	404,56	412,46	420,56	426,16	428,26	431,56	435,96	437,46	403,96	347,67
16:30	399,96	407,06	415,46	422,86	426,06	430,16	435,96	438,26	408,36	357,17
16:35	395,56	402,06	409,96	418,66	423,66	428,16	434,46	436,96	411,26	366,77
16:40	391,46	397,26	404,46	413,56	420,56	425,66	432,06	434,96	412,96	376,67
16:45	387,77	392,76	398,96	407,66	416,36	422,66	428,96	432,36	414,46	388,67
16:50	384,17	388,47	393,86	401,86	411,06	418,96	425,36	428,56	409,26	385,37
16:55	380,67	384,47	389,06	396,26	404,96	414,16	421,16	423,26	401,56	379,17
17:00	377,37	380,77	384,67	390,86	399,06	408,46	416,36	417,56	394,46	373,77

TEMPERATURAS DOS RESISTORES (°C)								
Horas	21	22	23	24	25	26	27	28
09:30	53,60	49,10	57,99	49,60	58,09	49,10	57,69	60,29
09:35	57,89	49,00	54,50	49,70	56,09	49,20	56,69	57,79
09:40	55,00	49,10	58,79	49,90	54,10	49,40	54,70	53,50
09:45	55,79	49,70	56,19	49,90	57,69	49,40	52,90	60,29
09:50	71,09	52,10	54,40	50,30	56,69	49,40	57,39	55,30
09:55	96,39	56,99	54,00	50,90	54,70	49,80	55,20	61,19
10:00	122,39	64,69	54,50	51,30	53,20	49,90	53,50	57,69
10:05	149,89	74,39	55,89	51,70	57,39	49,90	58,69	53,50
10:10	172,48	84,79	57,79	52,30	55,50	50,00	56,49	60,89
10:15	175,58	92,39	59,79	52,70	53,90	50,20	54,70	55,79
10:20	171,08	97,19	61,69	52,90	56,59	50,10	53,20	58,59
10:25	164,79	100,19	63,49	53,10	56,49	50,00	56,79	57,59
10:30	168,58	104,29	65,89	54,00	55,00	50,30	54,90	53,50
10:35	324,77	286,97	152,99	121,99	73,39	66,19	53,50	59,39
10:40	334,27	338,47	179,98	132,49	72,39	66,89	54,20	54,50

10:45	335,27	336,07	204,98	147,39	77,89	65,79	54,00	63,49
10:50	337,57	334,87	229,08	161,09	90,69	64,19	55,20	57,69
10:55	342,07	335,27	252,68	174,28	109,19	69,69	55,00	59,39
11:00	341,97	336,17	263,78	181,28	122,69	72,49	56,79	58,09
11:05	332,67	339,57	284,77	189,98	143,49	80,29	65,29	62,29
11:10	334,97	339,37	296,27	199,58	149,79	91,09	63,79	58,09
11:15	340,77	332,07	312,17	205,38	153,49	109,59	63,19	63,39
11:20	337,67	338,17	330,07	216,78	160,09	122,09	72,09	66,19
11:25	331,77	344,77	340,37	226,78	168,68	134,19	72,59	66,89
11:30	334,47	343,87	348,07	234,78	173,98	149,19	80,09	74,59
11:35	338,17	343,87	346,77	243,88	181,68	156,19	91,79	69,39
11:40	326,17	346,67	340,97	256,68	185,48	159,89	115,99	78,59
11:45	328,67	345,17	344,77	274,98	187,98	167,28	126,29	87,89
11:50	320,17	343,37	342,17	285,97	196,28	170,58	133,19	93,99
11:55	311,77	345,77	343,37	302,27	204,38	172,88	147,19	100,39
12:00	307,27	338,97	339,77	320,07	208,28	174,08	148,39	111,09
12:05	300,17	338,37	341,47	338,77	219,38	175,38	160,39	127,69
12:10	301,97	343,47	355,07	351,17	226,18	180,08	159,99	136,09
12:15	301,07	338,77	358,37	357,37	242,88	184,98	159,69	142,79
12:20	309,97	337,77	361,57	358,27	258,98	188,78	161,99	148,39
12:25	306,97	333,87	354,97	354,17	266,58	196,58	169,98	150,29
12:30	306,17	333,67	355,57	353,97	279,67	196,48	169,78	150,99
12:35	305,97	332,27	353,97	355,57	286,87	201,88	171,68	153,19
12:40	307,97	332,57	356,47	352,47	309,37	206,38	171,58	168,28
12:45	308,97	331,47	354,87	351,87	330,67	218,38	172,78	171,18
12:50	305,67	327,97	352,07	351,17	346,07	222,58	180,08	170,48
12:55	303,07	326,67	351,97	361,77	364,47	242,08	182,68	167,28
13:00	308,07	336,67	353,97	380,87	380,67	254,38	183,58	165,59
13:05	302,87	328,57	359,27	394,56	394,76	259,38	184,58	175,78
13:10	307,37	331,87	367,07	396,76	392,36	266,28	192,08	180,48
13:15	295,47	331,47	368,37	387,17	389,46	278,47	195,78	178,88
13:20	307,07	332,07	358,97	383,27	384,47	290,67	196,78	176,78
13:25	305,17	335,57	359,67	379,07	379,47	311,17	196,28	177,58
13:30	308,57	334,57	363,67	377,87	378,77	336,97	202,18	189,18
13:35	316,37	332,07	358,27	377,07	377,77	370,17	219,18	189,88
13:40	311,97	330,07	351,87	372,77	387,97	384,97	224,18	186,78
13:45	313,97	339,67	363,57	383,27	402,56	402,56	235,08	200,58
13:50	318,97	338,67	363,87	384,97	408,66	408,66	247,58	204,18
13:55	312,07	336,97	363,67	387,07	410,06	407,46	260,98	200,48

14:00	309,77	333,47	354,37	380,77	412,46	410,26	272,68	214,98
14:05	317,57	332,77	358,57	383,57	408,96	410,66	293,17	214,78
14:10	317,57	338,17	359,77	382,57	398,96	397,56	318,67	219,38
14:15	313,27	332,87	356,17	379,07	394,26	399,16	352,77	225,38
14:20	311,27	337,57	353,37	380,17	395,56	394,66	387,27	243,18
14:25	314,47	339,37	353,97	375,87	390,36	398,96	400,76	246,68
14:30	316,77	344,07	358,07	378,97	395,66	404,86	399,26	259,58
14:35	314,87	339,87	359,87	379,57	399,16	400,96	403,66	273,28
14:40	314,47	336,57	360,57	374,37	393,96	399,16	404,76	286,77
14:45	313,07	336,07	359,17	372,37	392,96	404,36	403,16	296,17
14:50	318,37	334,47	354,17	374,27	393,36	403,36	400,06	305,67
14:55	311,07	333,27	358,87	373,27	391,66	399,16	398,06	316,17
15:00	311,07	335,07	354,77	369,97	391,36	398,46	398,06	333,77
15:05	315,37	338,97	351,77	368,97	392,86	402,86	400,56	355,67
15:10	316,77	336,67	356,57	369,97	389,26	401,66	402,66	360,07
15:15	311,47	339,27	352,67	367,37	385,37	397,06	394,46	375,17
15:20	312,77	336,27	349,27	366,97	383,57	394,76	390,26	369,97
15:25	314,57	340,17	353,77	365,97	381,37	393,36	390,26	379,17
15:30	317,17	336,37	353,77	363,67	381,17	391,66	385,67	371,77
15:35	321,57	335,67	347,17	362,17	377,07	388,07	384,67	373,27
15:40	318,47	337,37	352,07	362,67	383,07	386,27	386,57	373,07
15:45	309,67	331,77	350,77	360,47	375,37	384,97	385,07	368,27
15:50	312,57	328,97	345,57	360,87	374,87	383,17	385,07	371,97
15:55	318,67	336,87	349,07	361,97	374,87	382,87	386,27	364,07
16:00	313,17	334,17	342,87	357,17	370,97	379,87	378,37	370,97
16:05	315,37	331,17	348,87	354,07	370,07	379,47	379,37	365,27
16:10	317,77	335,17	341,17	357,37	371,47	376,87	379,27	367,27
16:15	313,27	330,87	340,07	354,47	367,47	373,87	373,17	365,27
16:20	306,77	328,57	341,07	353,07	363,67	373,47	374,77	363,27
16:25	308,47	325,17	337,27	349,67	362,57	372,77	373,87	367,97
16:30	308,97	323,47	345,87	347,87	363,37	372,67	366,57	358,97
16:35	305,77	327,37	341,87	348,07	362,87	365,67	366,77	365,47
16:40	307,97	324,37	339,07	348,77	359,67	362,77	362,87	359,07
16:45	302,57	325,27	340,77	346,17	361,67	361,87	365,77	355,37
16:50	304,47	325,67	335,17	344,67	358,67	364,27	358,67	361,17
16:55	304,87	320,57	338,17	342,37	358,37	361,27	362,97	352,87
17:00	305,57	321,07	335,47	343,87	357,47	354,27	357,47	349,37

TEMPERATURAS DA CAMISA (°C)								
Horas	29	30	31	32	33	34	35	36
09:30	46,40	50,50	51,50	50,60	50,70	50,70	49,90	50,80
09:35	46,10	50,40	51,60	50,70	51,00	50,80	49,90	51,10
09:40	46,00	50,50	51,50	50,50	50,90	50,90	49,90	51,30
09:45	51,60	66,89	56,09	52,10	51,20	51,00	50,00	51,20
09:50	68,19	104,89	64,99	54,70	52,70	51,80	50,20	51,60
09:55	101,09	167,28	73,29	57,19	53,80	52,20	50,50	51,90
10:00	145,39	213,28	83,09	59,59	54,60	52,50	50,60	52,20
10:05	219,38	251,08	98,39	62,29	55,59	52,90	50,70	52,50
10:10	274,48	265,78	115,59	62,59	55,69	53,00	50,90	52,30
10:15	298,67	262,18	120,79	62,09	54,30	52,80	50,90	52,40
10:20	307,57	270,58	124,59	68,69	54,40	52,70	51,00	52,00
10:25	308,57	279,27	127,59	80,49	54,90	53,00	51,00	52,10
10:30	319,57	308,87	139,29	86,49	57,59	53,80	51,50	52,60
10:35	295,27	318,07	146,39	109,29	59,29	55,20	51,90	52,80
10:40	242,48	331,47	174,78	128,49	66,29	58,09	52,90	53,10
10:45	218,68	332,87	205,58	145,29	74,09	60,39	53,80	53,80
10:50	278,47	333,57	227,88	160,29	85,99	62,29	54,30	54,40
10:55	275,78	334,17	246,58	170,88	103,99	65,79	54,80	54,40
11:00	270,58	333,87	262,88	179,48	123,59	71,69	55,89	55,00
11:05	264,98	333,57	279,47	187,58	138,29	79,89	57,49	55,69
11:10	259,68	333,27	296,87	196,08	147,39	91,39	59,79	56,99
11:15	254,18	332,97	314,57	205,18	153,39	105,79	62,59	58,19
11:20	250,08	333,17	329,17	214,38	158,39	120,49	66,69	59,59
11:25	247,88	332,57	338,87	223,78	163,79	134,29	72,29	62,09
11:30	244,68	331,57	342,77	233,38	169,38	145,89	80,19	64,39
11:35	241,98	328,97	343,17	243,88	176,78	154,39	92,59	67,89
11:40	239,18	326,47	342,17	256,28	183,28	160,19	108,69	71,99
11:45	219,28	319,27	340,77	272,78	187,98	163,89	122,49	77,39
11:50	211,58	309,97	340,27	286,17	193,88	166,59	132,89	84,69
11:55	210,28	307,37	339,87	299,77	200,58	168,88	141,29	93,99
12:00	209,88	303,97	339,47	317,77	207,78	171,18	147,89	104,89
12:05	209,48	299,77	339,17	336,67	216,08	174,18	153,19	116,39
12:10	210,28	300,77	339,57	350,57	226,38	177,08	156,39	125,39
12:15	217,58	302,37	336,57	357,07	244,68	181,28	159,29	133,19
12:20	219,78	305,17	336,07	357,47	251,78	187,38	161,99	139,49
12:25	219,68	305,57	333,37	355,07	263,58	191,78	164,39	146,59
12:30	218,88	302,87	333,47	354,27	273,88	194,98	166,39	151,29

12:35	219,18	302,07	332,87	353,77	285,57	199,28	167,98	154,39
12:40	218,58	301,77	331,87	351,57	309,97	204,58	169,98	157,59
12:45	218,28	302,07	328,57	349,07	329,17	211,18	171,78	159,69
12:50	218,58	298,67	327,77	349,47	344,57	222,98	174,78	162,19
12:55	219,18	299,87	324,07	345,97	361,97	236,88	178,08	164,79
13:00	221,08	298,07	328,07	355,57	380,67	248,38	181,28	166,98
13:05	219,78	296,87	325,87	358,17	393,06	256,08	184,58	168,98
13:10	219,48	298,97	326,87	360,27	394,86	264,18	187,68	171,08
13:15	219,38	295,57	324,27	363,37	387,87	273,58	190,78	173,08
13:20	221,88	302,87	327,57	357,07	382,47	288,47	193,78	175,48
13:25	219,88	304,57	329,77	355,97	378,87	308,17	194,08	177,68
13:30	221,48	308,07	332,97	356,57	375,77	339,57	201,38	179,98
13:35	221,68	306,67	331,57	356,07	375,67	370,27	213,18	183,28
13:40	222,58	302,17	326,67	353,97	374,27	386,67	223,68	187,48
13:45	223,58	302,57	329,27	358,77	380,17	399,56	232,38	192,48
13:50	222,88	306,37	333,47	360,47	382,27	407,16	243,38	197,68
13:55	226,28	307,77	333,07	357,27	382,57	409,16	256,28	201,88
14:00	228,18	307,07	330,77	352,57	380,47	409,46	269,78	206,08
14:05	225,18	307,77	332,07	354,07	381,87	406,36	289,17	210,78
14:10	224,28	311,37	334,17	354,57	377,17	397,76	319,97	214,58
14:15	226,18	306,07	330,57	357,07	379,47	395,36	353,17	223,88
14:20	226,58	307,87	331,77	353,37	373,87	392,06	383,17	234,98
14:25	226,38	310,77	332,47	353,17	373,47	391,16	399,86	248,18
14:30	226,28	308,87	331,27	353,17	375,47	394,66	401,86	261,08
14:35	225,58	308,37	332,17	354,57	374,37	394,56	401,06	271,28
14:40	225,98	311,07	334,77	353,67	372,97	394,06	399,86	281,47
14:45	227,98	309,77	334,97	354,97	373,07	393,56	399,66	291,97
14:50	228,78	308,77	333,57	354,57	373,07	392,76	399,66	304,97
14:55	229,68	310,67	333,37	353,37	371,47	390,86	399,16	321,37
15:00	229,38	308,47	334,47	353,97	370,57	390,16	399,66	336,37
15:05	229,98	307,97	332,97	350,77	368,37	388,27	399,36	351,27
15:10	231,98	310,07	334,77	353,57	369,77	388,67	397,96	364,07
15:15	233,58	308,17	331,07	347,97	366,47	386,27	392,76	369,87
15:20	234,48	311,07	333,57	349,97	366,17	384,77	390,86	373,47
15:25	235,98	310,07	332,27	349,97	364,97	382,37	389,16	373,97
15:30	237,08	311,37	331,87	348,07	362,97	380,47	386,57	373,37
15:35	236,88	309,57	330,07	345,57	360,77	378,37	385,87	372,67
15:40	237,48	310,37	332,77	347,57	360,27	377,27	385,27	371,47
15:45	237,78	309,97	331,87	345,37	358,97	374,37	382,17	369,77

15:50	237,68	309,17	329,47	342,97	357,77	374,07	381,57	367,97
15:55	238,08	307,47	329,27	345,17	358,27	373,47	380,67	367,67
16:00	238,18	307,97	328,07	341,57	355,77	372,07	378,77	365,67
16:05	238,28	307,77	327,97	341,57	354,37	369,17	376,97	365,37
16:10	238,18	309,47	329,37	341,37	353,17	367,27	374,97	364,37
16:15	237,48	305,17	324,77	338,17	351,47	365,87	373,27	363,77
16:20	236,38	301,07	325,17	340,37	351,57	364,67	371,37	363,87
16:25	236,28	300,17	321,17	335,87	347,67	361,97	368,67	363,27
16:30	235,48	304,77	325,47	337,47	348,07	363,37	367,47	361,97
16:35	235,08	302,37	323,87	336,17	347,57	361,97	364,97	360,07
16:40	235,18	300,87	320,47	332,87	344,47	359,77	363,37	358,67
16:45	234,38	301,27	322,67	335,57	345,07	359,47	361,07	356,47
16:50	234,78	297,37	316,97	331,47	344,07	357,87	359,27	354,67
16:55	233,88	295,47	316,57	330,77	342,47	356,37	356,97	352,47
17:00	233,88	299,37	317,47	329,47	340,17	353,87	354,77	350,17

ENSAIO EXPERIMENTAL 4

TEMPERATURAS DA SONDA FIXA (°C)										
Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
09:30	47,40	48,10	49,10	49,60	49,90	50,40	49,70	48,80	46,40	41,10
09:35	48,40	48,00	49,10	49,60	49,90	50,50	49,70	48,80	46,40	41,10
09:40	120,19	51,20	49,20	49,40	49,70	50,30	49,50	48,60	46,00	40,70
09:45	216,48	76,59	50,00	49,30	49,40	49,90	48,90	48,20	45,40	40,20
09:50	328,17	127,39	52,80	50,00	49,60	49,70	48,60	47,80	45,00	39,80
09:55	431,26	170,38	58,79	50,80	49,70	49,60	48,40	47,60	44,70	39,50
10:00	530,45	204,58	70,19	52,00	49,80	49,40	48,10	47,20	44,30	39,00
10:05	534,95	225,68	87,29	53,80	50,20	49,40	48,00	46,90	44,30	38,90
10:10	498,76	244,18	104,79	57,09	51,10	49,90	48,60	47,30	44,50	39,00
10:15	539,65	258,58	124,59	61,99	52,30	50,40	49,00	47,50	44,70	39,20
10:20	577,35	281,47	142,29	71,29	54,00	51,10	49,30	47,60	44,80	39,20
10:25	558,75	301,37	151,59	81,59	55,89	51,80	49,80	47,90	45,00	39,50
10:30	521,95	325,97	160,09	93,69	58,79	52,80	50,30	48,20	45,50	39,70
10:35	490,86	357,17	169,78	105,79	63,09	54,20	51,20	48,80	45,90	40,20
10:40	522,05	391,56	180,58	116,49	67,99	55,69	52,00	49,30	46,30	40,50
10:45	528,85	454,46	192,38	126,99	73,99	57,79	52,90	49,70	46,80	40,80
10:50	506,15	495,56	205,88	138,29	81,29	60,39	54,20	50,40	47,10	41,10
10:55	483,06	510,25	217,48	150,89	90,39	63,79	55,59	51,20	47,80	41,60
11:00	462,96	535,95	225,78	163,79	101,09	67,89	57,39	52,20	48,40	42,00

11:05	446,26	533,65	235,48	176,08	113,39	72,89	59,39	53,20	48,90	42,30
11:10	432,26	512,95	252,58	184,68	127,39	79,09	61,99	54,50	49,60	42,80
11:15	419,06	492,96	281,77	193,38	141,39	87,49	65,09	55,69	50,40	43,30
11:20	409,86	477,56	312,67	200,18	150,69	95,99	68,29	57,09	51,20	43,70
11:25	400,66	462,26	353,57	206,58	158,69	106,79	72,59	58,99	52,10	44,20
11:30	392,26	449,46	409,46	211,58	165,59	118,59	77,89	61,19	53,20	44,70
11:35	384,77	438,16	470,86	215,88	171,78	129,79	84,39	63,69	54,40	45,30
11:40	377,87	428,56	489,76	221,98	177,68	139,39	92,39	66,49	55,50	45,80
11:45	371,47	420,26	486,36	233,88	184,08	147,79	101,59	69,99	56,79	46,30
11:50	365,87	413,16	473,86	254,98	189,98	154,89	111,99	74,49	58,39	46,90
11:55	360,57	406,76	461,16	290,17	195,08	161,49	122,89	80,09	60,49	47,80
12:00	355,97	400,96	449,16	346,77	199,08	168,48	133,69	86,89	62,89	48,70
12:05	351,57	395,56	438,56	406,06	204,08	173,88	144,19	94,99	65,89	49,80
12:10	347,37	390,26	429,46	443,46	208,48	178,18	153,59	104,89	69,49	51,00
12:15	343,57	385,37	421,66	465,96	212,68	182,98	160,99	116,69	74,09	52,50
12:20	339,97	380,57	415,26	470,96	222,38	187,08	166,09	129,59	79,79	54,30
12:25	336,67	376,27	409,96	465,36	239,18	191,68	169,98	141,19	87,09	56,29
12:30	333,57	372,47	405,26	456,16	263,28	194,88	173,48	150,89	96,89	58,99
12:35	330,67	368,87	400,96	448,16	292,87	198,08	176,08	157,19	108,69	62,39
12:40	328,07	365,47	397,06	440,46	338,67	200,78	178,68	160,89	121,29	66,69
12:45	325,37	362,27	393,16	433,36	407,86	201,88	180,58	163,99	133,49	72,39
12:50	322,97	359,27	389,66	426,66	455,46	204,78	183,78	166,29	143,49	79,49
12:55	320,67	356,47	386,17	420,16	473,76	215,08	186,78	168,18	150,49	88,49
13:00	318,37	353,87	383,17	414,46	473,26	228,98	189,78	170,88	154,69	97,99
13:05	316,07	351,37	379,97	408,96	464,26	248,08	192,28	172,98	158,29	108,59
13:10	314,07	348,97	377,17	404,16	453,86	272,58	193,68	174,98	160,09	117,49
13:15	312,17	346,77	374,47	399,86	444,86	304,57	195,88	176,68	162,29	124,79
13:20	310,27	344,77	371,97	396,06	436,86	352,37	197,78	178,38	163,79	131,49
13:25	308,57	342,77	369,57	392,36	429,36	417,16	205,18	180,48	164,19	137,69
13:30	306,87	340,77	367,07	388,77	421,76	471,76	216,98	183,78	164,59	142,09
13:35	305,27	338,97	364,97	385,77	416,06	478,26	229,58	186,08	165,29	144,99
13:40	303,87	337,47	362,77	382,77	410,36	470,26	246,98	188,58	165,89	147,39
13:45	302,37	335,77	360,87	379,77	405,06	459,96	268,28	190,38	166,49	149,49
13:50	300,97	333,97	358,67	376,67	400,26	449,16	295,27	192,48	167,58	149,89
13:55	299,47	332,27	356,37	373,87	395,86	439,26	329,17	195,68	169,08	150,39
14:00	298,17	330,57	354,27	371,17	391,76	430,66	379,17	202,18	170,88	149,99
14:05	296,87	328,87	352,07	368,67	388,17	423,16	453,06	210,98	173,88	149,79
14:10	295,47	327,07	350,27	366,47	385,17	416,96	484,46	222,98	176,58	150,59
14:15	294,17	325,47	348,37	364,37	382,47	411,76	482,76	239,58	179,28	150,89
14:20	292,97	324,07	346,77	362,47	379,97	406,86	471,56	263,38	182,28	151,09
14:25	291,67	322,57	345,07	360,57	377,57	402,56	459,46	289,37	185,78	151,29

14:30	290,47	321,17	343,47	358,77	375,37	398,56	448,46	321,07	189,58	151,79
14:35	289,47	319,87	341,87	357,07	373,07	394,86	439,06	366,07	193,78	152,49
14:40	288,27	318,47	340,57	355,47	371,07	391,66	431,46	427,96	199,68	153,49
14:45	287,17	317,17	339,07	353,97	369,37	389,16	426,06	481,06	209,48	154,49
14:50	286,17	315,97	337,77	352,47	367,87	387,57	422,06	490,76	222,98	156,49
14:55	285,07	314,77	336,47	351,27	366,87	386,47	418,96	484,96	241,18	159,39
15:00	284,07	313,47	335,17	350,37	366,27	385,47	416,36	475,46	264,78	162,79
15:05	283,27	312,47	334,27	349,67	365,57	384,87	413,96	465,36	296,57	166,98
15:10	282,17	311,27	333,17	348,67	364,67	383,77	411,06	455,36	339,27	171,88
15:15	281,37	310,37	332,17	347,67	363,67	382,47	408,16	446,56	395,56	177,88
15:20	280,67	309,67	331,47	346,97	362,77	381,27	405,46	438,86	451,46	186,18
15:25	279,87	308,77	330,57	345,97	361,67	379,67	402,46	432,06	481,66	196,18
15:30	279,27	307,97	329,87	345,17	360,77	378,27	399,86	426,16	484,06	208,38
15:35	278,77	307,37	328,97	344,17	359,67	376,77	397,26	421,06	474,86	223,78
15:40	278,27	306,77	328,27	343,27	358,57	375,17	394,66	416,16	462,16	245,08
15:45	277,68	306,07	327,37	342,27	357,27	373,57	391,96	411,66	449,76	280,87
15:50	277,28	305,47	326,57	341,27	356,07	371,97	389,46	407,26	438,16	328,67
15:55	276,78	304,57	325,67	340,37	354,87	370,27	386,97	403,16	427,56	362,27
16:00	276,08	303,87	324,77	339,37	353,67	368,67	384,47	399,06	417,86	391,26
16:05	275,38	302,97	323,87	338,27	352,27	366,87	381,87	394,76	408,56	397,76
16:10	274,68	302,07	322,87	337,07	350,97	365,07	379,27	390,56	400,36	388,96
16:15	274,08	301,37	321,97	335,87	349,37	363,17	376,77	386,67	392,76	366,17

TEMPERATURAS DA SONDA MÓVEL (°C)

Horas	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
09:30	22,80	22,70	22,20	22,40	22,30	22,40	23,00	23,80	24,60	27,60
09:35	23,50	23,50	22,90	23,10	23,00	23,30	23,90	24,40	24,80	27,20
09:40	23,50	23,60	23,20	23,50	23,60	23,80	24,40	24,40	24,20	27,10
09:45	23,80	23,90	23,90	24,50	24,80	26,30	27,40	27,30	26,10	27,50
09:50	22,70	22,60	22,30	22,40	22,30	22,60	23,00	23,60	24,20	27,30
09:55	23,20	23,20	22,90	23,20	23,10	23,20	23,60	23,70	24,30	27,80
10:00	24,70	25,10	25,20	26,20	27,20	28,60	30,00	30,30	28,60	29,00
10:05	24,60	25,00	25,20	26,70	27,20	29,20	28,80	27,50	26,80	30,50
10:10	25,90	26,60	27,20	28,40	30,00	30,70	31,60	30,70	29,70	34,00
10:15	456,86	516,65	467,96	398,66	325,17	258,38	207,68	182,68	168,58	154,39
10:20	521,05	587,75	545,25	433,16	344,87	270,58	212,18	179,48	163,89	155,79
10:25	507,75	577,35	565,25	455,06	358,27	284,27	223,98	187,98	167,48	157,29
10:30	483,16	545,15	562,65	484,86	375,87	298,57	236,38	199,28	177,48	164,79
10:35	459,56	512,35	538,95	509,05	404,06	316,47	250,48	210,78	187,88	174,18
10:40	491,26	545,05	560,55	528,05	439,06	340,07	268,28	223,88	198,98	184,68

10:45	502,95	551,65	567,75	553,35	503,95	381,37	292,87	238,88	211,08	195,78
10:50	483,56	525,35	546,55	549,05	536,35	438,36	322,87	257,48	223,38	209,18
10:55	463,86	499,76	521,85	535,35	543,85	504,85	364,37	281,37	235,68	220,98
11:00	446,96	477,76	498,86	517,45	536,95	530,25	420,66	311,27	252,58	229,68
11:05	432,46	459,26	478,86	497,86	517,55	528,45	511,55	382,77	279,57	243,98
11:10	420,06	443,86	461,96	479,86	497,96	514,25	527,75	448,26	317,67	267,68
11:15	408,86	430,06	446,36	462,96	479,26	495,66	510,15	485,66	362,27	296,97
11:20	400,66	420,16	435,46	451,06	466,16	481,56	496,96	497,06	420,06	339,37
11:25	392,06	410,36	424,46	439,06	453,16	466,96	482,06	494,66	474,06	398,16
11:30	384,57	401,56	414,86	428,56	441,46	454,06	468,76	485,56	502,15	475,96
11:35	431,66	442,76	456,26	474,06	494,66	489,46	378,67	281,97	232,48	217,78
11:40	423,86	434,46	446,96	462,76	480,86	493,36	417,46	311,77	248,28	223,08
11:45	416,36	426,56	438,26	452,16	467,56	483,06	456,26	343,97	269,98	237,68
11:50	409,76	419,76	430,76	442,96	456,26	472,06	478,06	386,97	295,77	255,08
11:55	403,96	413,66	423,86	434,96	446,66	461,46	478,56	434,56	327,17	276,48
12:00	398,36	407,66	417,56	427,66	437,96	451,26	469,46	467,36	369,97	305,67
12:05	393,06	402,46	411,76	421,16	430,16	441,76	459,46	475,06	416,96	343,37
12:10	422,76	433,46	448,76	469,26	452,46	367,07	293,97	247,58	217,48	210,58
12:15	417,96	427,66	441,46	460,86	473,56	408,06	320,07	265,48	227,48	213,48
12:20	412,46	421,56	434,06	451,86	474,96	460,46	360,07	292,87	244,88	221,78
12:25	407,46	416,06	427,56	443,46	465,56	482,16	413,36	327,47	268,58	237,98
12:30	403,16	411,26	421,66	435,66	454,26	476,16	463,36	370,87	297,67	260,08
12:35	398,96	406,66	416,16	428,36	444,06	465,56	486,06	424,56	331,67	286,57
12:40	395,06	402,46	411,26	422,06	435,46	454,56	481,56	479,46	372,67	314,97
12:45	391,56	398,66	406,56	416,46	428,56	444,96	469,56	491,06	433,86	348,57
12:50	423,46	437,96	457,66	480,16	480,96	383,07	298,87	251,08	217,08	204,18
12:55	418,16	430,86	447,36	467,26	484,76	449,36	336,37	274,08	231,28	212,28
13:00	412,76	423,66	437,46	454,46	473,56	483,86	391,36	304,57	251,38	226,18
13:05	407,66	417,26	428,96	443,46	460,56	480,16	462,86	347,17	276,28	244,58
13:10	403,06	411,46	421,66	434,26	449,26	468,06	484,56	419,16	310,07	268,18
13:15	399,06	406,66	415,56	426,86	439,76	455,86	475,96	471,96	360,47	299,97
13:20	395,36	402,46	410,46	420,46	431,56	444,96	464,06	480,16	426,26	340,07
13:25	391,76	398,36	405,76	414,86	424,36	436,06	453,26	473,46	476,16	395,76
13:30	418,96	429,36	443,46	462,96	481,06	436,96	325,37	269,38	231,08	213,58
13:35	413,96	423,26	435,86	453,66	474,46	477,06	368,27	293,97	247,78	224,88
13:40	408,46	416,86	427,96	443,56	462,96	480,96	433,36	328,87	270,08	241,68
13:45	403,56	411,06	420,66	434,36	451,26	471,06	473,96	378,47	296,47	261,88
13:50	399,06	405,76	414,26	426,26	440,86	459,26	479,26	439,76	331,07	286,17
13:55	395,06	401,16	408,76	419,26	431,86	448,46	471,86	477,06	379,87	316,47
14:00	391,26	396,96	403,96	413,36	424,36	438,86	460,76	480,36	441,06	357,37
14:05	418,96	431,86	449,26	470,26	471,26	387,37	309,77	263,48	226,88	209,28

14:10	414,46	425,86	441,26	461,46	479,76	432,76	336,87	282,47	240,78	218,98
14:15	409,56	419,76	433,36	451,76	473,96	474,16	373,07	305,47	258,18	232,48
14:20	405,26	414,36	426,36	442,56	463,66	483,86	421,66	333,17	277,77	248,88
14:25	401,46	409,66	420,16	434,56	453,56	478,36	472,86	370,27	300,37	267,48
14:30	397,76	405,26	414,66	427,36	443,66	466,56	491,56	424,56	328,97	289,17
14:35	394,36	401,16	409,66	420,86	435,16	454,66	482,86	481,46	369,77	315,87
14:40	391,36	397,76	405,46	415,66	428,16	444,86	469,66	491,66	429,16	353,17
14:45	425,26	439,96	459,86	483,56	481,26	385,07	305,97	258,68	220,28	201,98
14:50	421,66	434,66	451,56	473,26	493,16	450,06	344,07	283,57	237,98	213,38
14:55	418,96	430,26	444,46	462,96	485,16	489,26	398,16	315,67	260,48	229,68
15:00	416,46	426,56	438,46	454,06	473,16	491,76	455,86	357,17	287,37	250,78
15:05	413,86	422,66	433,06	446,06	462,06	481,66	488,56	409,16	318,97	275,38
15:10	411,06	418,96	427,86	438,96	452,26	469,56	490,76	464,36	358,17	303,57
15:15	408,06	415,16	422,96	432,66	443,66	458,36	479,86	493,06	414,56	338,27
15:20	433,36	445,36	462,06	483,66	478,96	383,07	302,37	248,88	200,98	183,98
15:25	431,16	441,56	455,86	475,56	492,46	448,56	331,97	260,68	206,58	184,88
15:30	425,66	434,56	446,46	463,06	482,46	489,56	404,06	295,77	223,38	195,38
15:35	420,66	428,36	438,26	452,06	469,36	487,46	465,56	360,77	248,78	208,78
15:40	415,86	422,66	430,96	442,26	456,46	473,56	482,16	427,86	298,67	231,28
15:45	411,66	417,46	424,36	433,66	444,76	458,36	474,86	459,86	351,57	270,08
15:50	407,46	412,46	418,06	425,76	434,26	444,56	458,56	464,96	380,17	307,57
15:55	403,46	407,56	412,36	418,56	424,86	432,16	441,66	449,06	397,36	338,97
16:00	399,46	402,96	406,66	411,66	416,16	420,96	426,56	429,66	403,56	360,67
16:05	395,36	398,46	401,36	405,16	408,16	411,06	413,66	415,56	406,86	379,97
16:10	391,46	393,96	396,16	399,06	400,96	402,16	402,86	402,96	398,86	398,66
16:15	387,87	389,76	391,06	393,06	393,76	393,86	392,66	389,86	382,07	392,36

TEMPERATURAS DAS RESISTENCIAS (°C)								
Horas	21	22	23	24	25	26	27	28
09:30	62,19	46,80	53,50	47,80	58,99	48,60	54,70	63,89
09:35	54,50	46,10	58,09	47,40	55,00	48,00	59,99	61,89
09:40	61,49	46,90	57,99	47,20	58,29	47,90	60,59	55,69
09:45	67,29	50,70	53,30	47,70	55,99	48,20	56,89	57,99
09:50	83,79	57,39	59,19	48,40	53,40	48,40	54,40	61,79
09:55	105,69	66,79	55,69	49,20	58,09	48,30	60,29	55,99
10:00	204,68	105,49	128,29	62,89	65,09	57,49	59,39	54,50
10:05	324,27	313,27	128,59	84,09	65,49	73,69	56,69	59,09
10:10	315,97	320,77	154,09	80,49	64,29	70,89	55,59	54,60
10:15	340,47	334,47	176,48	78,59	73,59	67,29	55,00	65,69
10:20	355,77	345,87	200,78	87,59	71,49	64,19	54,30	59,89

10:25	355,87	344,87	205,18	99,09	69,99	63,79	53,70	55,69
10:30	349,07	349,17	218,58	108,99	74,29	63,39	53,00	56,89
10:35	371,77	361,97	225,38	118,99	81,19	68,99	53,80	61,19
10:40	404,46	410,16	249,18	130,49	90,19	74,89	65,19	55,89
10:45	447,46	436,76	255,78	142,89	98,69	74,89	62,49	63,09
10:50	451,96	457,66	282,27	161,49	105,79	80,79	60,39	62,59
10:55	462,06	455,86	290,67	170,88	112,59	85,09	59,49	57,19
11:00	460,76	455,86	305,37	185,88	117,89	86,49	59,09	68,49
11:05	454,76	442,56	316,67	195,38	132,69	90,59	69,09	63,09
11:10	435,36	433,56	319,87	198,38	137,99	97,29	66,99	57,89
11:15	431,56	430,16	339,47	214,48	153,49	105,09	65,89	70,29
11:20	427,46	419,76	348,37	221,48	159,79	113,99	75,39	63,19
11:25	410,16	407,96	379,97	234,88	171,28	123,49	73,69	75,09
11:30	409,06	404,46	396,26	247,58	184,48	131,99	86,89	70,09
11:35	393,76	411,06	413,86	247,58	187,78	138,99	83,59	67,89
11:40	399,26	414,46	422,16	261,28	192,48	148,99	97,19	76,09
11:45	389,86	415,66	415,66	274,28	204,88	159,69	93,09	70,39
11:50	379,27	413,26	421,26	273,18	204,68	164,29	106,59	81,39
11:55	382,97	412,26	416,76	289,67	217,98	173,98	106,19	79,49
12:00	379,37	409,06	405,66	328,57	218,08	179,98	114,69	84,99
12:05	375,67	404,06	399,96	366,57	233,98	186,58	129,19	100,69
12:10	367,17	390,56	403,16	393,96	243,18	194,88	144,59	89,69
12:15	363,67	383,17	411,76	405,76	252,28	202,48	159,19	105,29
12:20	368,37	387,87	414,66	415,06	265,68	209,48	169,38	116,69
12:25	367,27	379,17	414,56	408,16	277,97	216,38	174,18	123,99
12:30	362,37	383,97	413,86	409,86	286,37	220,78	174,88	127,69
12:35	357,87	376,77	415,36	402,36	294,27	227,68	172,88	135,29
12:40	348,87	375,37	405,66	405,46	306,27	228,88	177,78	146,79
12:45	351,87	377,87	397,66	399,46	317,77	237,78	184,98	156,19
12:50	353,97	372,77	398,16	398,56	324,87	243,28	191,38	162,59
12:55	348,17	366,47	401,56	392,66	348,57	247,48	197,38	167,58
13:00	346,47	371,17	393,66	393,46	354,87	256,08	199,48	171,68
13:05	337,77	368,37	390,46	386,97	378,77	265,98	189,88	174,28
13:10	336,17	362,27	396,16	396,96	399,96	282,17	195,08	178,38
13:15	337,77	363,37	382,57	394,26	391,66	294,27	201,98	181,98
13:20	338,17	364,67	389,26	392,16	395,26	311,97	209,08	184,28
13:25	342,57	361,37	375,47	389,66	384,17	328,57	215,58	187,18
13:30	337,37	357,67	381,37	383,07	386,57	335,77	221,58	187,88
13:35	339,17	351,87	373,67	381,87	381,27	343,57	225,38	189,78
13:40	325,27	353,17	377,37	376,97	373,87	355,97	232,08	190,78
13:45	326,67	351,07	373,47	372,87	374,27	367,27	241,08	192,08

13:50	333,67	350,87	375,07	375,17	375,47	372,07	246,98	193,28
13:55	319,57	345,87	372,87	377,67	385,37	382,87	250,58	194,08
14:00	320,57	343,57	364,77	377,97	382,07	381,97	270,08	195,48
14:05	323,77	346,07	370,07	375,77	387,77	385,17	276,88	204,88
14:10	320,07	343,17	367,97	376,27	391,86	391,26	291,37	216,08
14:15	316,87	346,67	364,97	370,67	390,56	386,77	313,57	220,28
14:20	324,67	345,57	356,47	374,77	388,07	385,47	333,57	221,08
14:25	321,87	335,37	366,07	367,37	385,17	382,17	350,17	231,28
14:30	312,27	337,07	355,77	364,27	381,77	382,27	367,37	242,68
14:35	320,77	335,77	354,47	363,77	383,57	404,56	406,76	246,88
14:40	313,77	337,17	357,97	367,77	384,67	430,86	427,16	266,38
14:45	319,67	337,37	358,37	366,27	397,86	437,96	444,76	284,77
14:50	312,57	339,27	358,37	373,97	394,06	439,26	431,86	296,27
14:55	304,87	327,67	353,87	376,07	390,76	431,36	436,66	304,67
15:00	310,47	328,67	345,97	372,17	401,06	425,06	423,26	317,17
15:05	316,77	328,87	345,57	365,37	388,37	424,96	423,56	333,17
15:10	315,47	335,27	356,37	367,67	384,37	417,56	422,36	355,17
15:15	307,77	331,97	350,97	369,17	386,47	413,26	417,96	372,57
15:20	314,27	334,37	358,67	361,47	384,17	408,76	413,66	396,96
15:25	315,97	331,07	350,37	360,77	383,47	405,46	415,16	415,06
15:30	314,57	330,67	346,47	361,57	378,77	399,16	411,86	413,36
15:35	305,77	327,77	341,67	355,47	380,97	402,16	404,76	400,66
15:40	312,97	332,77	353,67	355,57	370,67	399,16	403,16	405,96
15:45	304,37	323,47	341,57	353,87	372,57	398,76	401,36	397,46
15:50	308,67	329,27	350,17	356,77	371,07	387,57	397,46	388,37
15:55	305,37	327,07	348,27	352,07	372,17	386,57	393,66	388,27
16:00	309,27	327,47	347,67	347,67	366,37	385,87	386,97	385,57
16:05	302,67	327,57	345,07	351,07	367,17	383,57	376,47	375,47
16:10	298,17	317,87	340,47	346,67	365,87	374,57	377,77	365,67
16:15	302,87	320,77	333,97	347,07	365,07	376,97	378,27	359,77

TEMPERATURAS DA CAMISA (°C)								
Horas	29	30	31	32	33	34	35	36
09:30	44,20	48,00	49,00	48,80	49,20	50,00	49,10	50,00
09:35	44,30	48,50	49,10	48,80	49,30	50,20	49,00	49,90
09:40	49,80	74,39	59,69	50,60	50,60	50,90	49,40	50,50
09:45	73,39	148,89	73,99	53,40	52,40	52,20	49,90	51,00
09:50	114,89	218,08	87,59	57,39	54,10	53,20	50,20	51,50
09:55	163,99	272,58	100,59	60,49	55,40	54,00	50,30	51,60
10:00	213,88	312,97	111,59	62,59	56,59	54,90	50,70	51,70

10:05	241,38	317,97	118,49	65,69	58,09	56,99	51,40	51,70
10:10	252,58	316,47	144,19	68,19	61,69	59,89	52,40	51,80
10:15	252,88	333,47	176,88	76,99	65,19	61,69	52,90	51,90
10:20	256,38	344,87	191,48	83,99	67,19	62,59	52,80	52,20
10:25	265,08	347,17	200,28	93,69	69,49	62,59	52,70	52,20
10:30	261,88	351,57	208,38	104,59	73,29	63,49	52,90	52,00
10:35	252,68	362,57	218,68	116,29	78,19	65,89	53,50	52,50
10:40	271,88	407,26	241,48	129,69	85,49	69,49	54,60	53,20
10:45	263,88	440,66	257,78	141,79	92,39	73,39	55,89	53,80
10:50	281,17	456,56	274,58	155,69	99,99	77,09	56,99	54,90
10:55	287,37	456,86	287,87	168,98	108,39	81,09	57,99	55,30
11:00	286,77	451,46	298,87	180,78	117,39	85,59	59,09	55,59
11:05	285,07	444,56	309,87	189,68	127,09	90,79	60,89	56,59
11:10	283,47	434,96	321,97	198,48	137,59	96,89	62,89	57,69
11:15	279,77	425,06	336,17	209,28	149,29	104,19	65,49	58,89
11:20	278,07	417,56	349,77	221,48	158,49	110,99	68,09	59,99
11:25	276,18	409,86	374,37	231,58	168,08	119,49	72,59	61,39
11:30	275,28	402,16	399,86	240,28	176,48	128,49	76,69	63,59
11:35	274,78	395,56	410,36	248,48	183,98	137,79	80,89	65,49
11:40	275,98	390,46	415,96	258,08	191,08	146,79	85,69	67,79
11:45	274,28	384,57	416,86	267,08	197,78	155,19	91,09	70,19
11:50	271,68	380,27	414,16	273,48	204,28	163,09	96,59	72,99
11:55	266,08	376,17	410,06	289,87	210,18	170,38	103,29	75,89
12:00	264,48	370,87	404,56	324,97	217,48	177,78	111,69	79,79
12:05	267,58	366,37	398,16	364,87	227,68	185,08	121,59	83,69
12:10	266,28	361,37	385,47	398,46	239,98	192,78	132,89	88,89
12:15	266,08	357,87	382,57	406,66	251,88	200,18	144,69	94,69
12:20	266,98	357,47	382,17	410,36	262,18	206,98	154,39	101,69
12:25	266,98	355,57	380,27	410,36	271,28	213,38	161,99	109,99
12:30	264,98	353,07	377,67	405,06	280,17	218,88	167,98	119,29
12:35	252,98	350,47	375,37	404,16	290,07	223,88	173,08	129,89
12:40	252,98	348,07	372,97	401,76	300,57	228,88	176,58	139,69
12:45	253,48	345,97	370,67	399,46	312,57	234,38	179,88	148,49
12:50	252,28	344,07	368,47	396,46	325,97	240,18	183,28	154,89
12:55	249,58	342,37	366,77	392,66	341,57	247,88	185,68	159,99
13:00	248,88	340,77	364,87	389,36	357,97	256,58	188,78	163,89
13:05	248,38	339,07	363,67	386,97	376,47	266,88	190,28	167,18
13:10	248,08	337,37	362,67	385,47	392,86	279,57	193,28	169,78
13:15	247,48	335,77	360,97	383,07	393,66	294,07	196,38	172,48
13:20	245,68	333,67	358,27	379,47	389,96	308,47	200,68	174,78
13:25	243,98	332,67	356,57	377,07	385,67	323,47	205,58	176,98

13:30	238,68	331,57	355,57	375,27	383,67	331,77	211,28	179,08
13:35	236,28	329,77	352,47	371,07	378,67	340,77	215,78	180,08
13:40	235,58	326,47	348,17	367,77	374,47	352,27	222,08	181,28
13:45	236,98	323,37	345,87	366,07	372,87	364,67	229,88	183,98
13:50	237,18	321,77	343,27	365,67	375,17	374,17	239,38	187,88
13:55	236,98	319,77	342,37	363,97	372,87	378,77	250,68	191,98
14:00	236,18	318,87	341,17	362,47	372,77	382,07	262,18	196,48
14:05	235,38	317,37	339,27	360,97	372,97	384,47	274,98	201,68
14:10	235,28	314,97	336,37	359,37	373,07	386,47	288,17	207,18
14:15	235,18	317,77	339,97	358,37	369,87	385,67	306,47	213,18
14:20	235,28	315,97	337,97	356,77	369,57	385,27	326,97	219,78
14:25	234,68	314,37	335,17	354,87	368,27	383,17	348,47	227,78
14:30	233,88	312,87	333,57	352,27	365,57	381,87	372,97	236,98
14:35	233,88	313,87	334,07	349,97	362,97	379,87	403,26	248,68
14:40	235,68	312,67	333,87	350,47	363,47	381,97	432,86	263,58
14:45	236,48	309,47	331,17	347,47	365,27	392,56	437,26	277,77
14:50	234,98	306,17	329,27	350,27	371,37	393,96	434,76	291,97
14:55	233,28	303,97	327,97	353,97	372,57	391,26	429,86	306,07
15:00	228,28	305,77	327,97	346,17	366,87	394,36	425,86	320,17
15:05	228,78	306,77	329,87	347,47	364,07	388,96	420,46	335,87
15:10	229,38	307,07	329,97	347,87	363,97	384,17	415,36	353,47
15:15	229,88	307,57	329,87	345,67	360,07	378,77	409,86	371,87
15:20	229,68	309,17	330,27	346,47	361,07	378,67	406,66	400,56
15:25	229,08	306,47	328,67	345,07	358,37	375,77	403,96	413,76
15:30	228,58	309,07	330,87	345,47	357,57	373,87	400,76	410,46
15:35	228,88	304,57	326,37	342,57	356,47	374,57	398,06	404,66
15:40	229,58	305,77	327,57	343,27	355,07	369,87	393,76	401,06
15:45	230,18	302,97	322,77	338,57	352,67	371,67	392,06	397,16
15:50	228,18	301,47	323,67	340,37	353,37	367,57	388,27	391,26
15:55	228,18	301,47	323,67	339,27	350,97	365,97	384,97	385,37
16:00	228,58	299,87	321,67	337,97	348,87	363,37	381,37	379,37
16:05	228,58	297,97	318,67	335,47	347,67	361,87	378,07	373,47
16:10	229,38	296,47	316,87	332,47	345,17	360,27	375,07	368,07
16:15	229,18	294,47	313,57	330,07	345,17	359,77	372,07	362,37