	RELATÓRIO		Nº: RL-ANP-FPL-036	
	CLIENTE: ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS			FOLHA: 1 de 13
	PROGRAMA: Nordeste Meridional			-
	TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12”			-

Faculdades Católicas – PUC-Rio – **SIMDUT**

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	EMISSÃO ORIGINAL
A	APÓS COMENTÁRIOS DA SCM/ANP E PADRONIZAÇÃO DOS RELATÓRIOS

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	12/06/2015	01/08/2015							
PROJETO	ANP	ANP							
EXECUÇÃO	P. Krause	P. Krause							
VERIFICAÇÃO	I.Patrocínio	I.Patrocínio							
APROVAÇÃO	L. Pires	L. Pires							

AS INFORMAÇÕES DESTES DOCUMENTOS SÃO PROPRIEDADE DA ANP, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-036**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 2 de 13**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-

-

ÍNDICE

1	OBJETIVO	3
2	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
3	DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO	3
4	PREMISSAS DE CÁLCULO	5
4.1	CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA	5
4.2	MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	5
4.3	TEMPERATURA DO SOLO	5
4.4	CORRELAÇÕES ADOTADAS	5
4.5	SOFTWARE UTILIZADO	5
4.6	CARACTERÍSTICAS DO GÁS	5
4.7	TEMPERATURA AMBIENTE	6
4.8	VISCOSIDADE	6
5	CARACTERÍSTICAS DO GASODUTO	6
5.1	DIÂMETRO, ESPESSURA E PMOA	6
5.2	PERFIL ALTIMÉTRICO	6
5.3	RUGOSIDADE	7
5.4	PONTOS DE ENTREGA (PTE)	7
5.5	PONTOS DE RECEBIMENTO (PTR)	7
5.6	PONTOS DE INTERCONEXÃO	8
6	CONDIÇÕES DE CONTORNO	8
6.1	PERFIL DE CONSUMO	8
6.2	MÁXIMA PRESSÃO ADMISSÍVEL DE OPERAÇÃO	8
6.3	PRESSÃO DE ENTREGA NOMINAL CONTRATUAL	9
7	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	9
8	ANEXOS	10
8.1	"STEADY STATE REPORT" DO MODELO	10

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-036**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 3 de 13**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-

-

1 OBJETIVO

Documentar as informações necessárias para a criação do modelo computacional de parte da malha Nordeste Meridional, composta pelo gasoduto Candeias-Aratu e apresentar as características físicas e valores limite de projeto dos diversos elementos que compõem os modelos de simulação termo-hidráulica. Permitindo, assim, a reprodutibilidade do modelo por qualquer interessado. O modelo foi criado para o programa de simulação *PipelineStudio* versão 3.4.1.0 da *Energy Solutions*.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos técnicos codificados utilizados como referência para elaboração do Relatório são:

- 2.1. RL-ANP-FPL-012_RA – Metodologia para Cálculo de Capacidade
- 2.2. RL-ANP-FPL-007_Rev.A – Análise da Influência de Parâmetros Utilizados no Modelo de Cálculo da Capacidade
- 2.3. MO-5TP-00084-A – Manual de Operação do gasoduto Candeias-Aratu 12"
- 2.4. DE-4717.14-6521-940-WFT-001 – Perfil do Gasoduto Candeias-Aratu 12"
- 2.5. Processo ANP nº 48610.010500/2012-40
- 2.6. RL-ANP-FPL-037_RA_F1-7 - Cálculo de Capacidade do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

3 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO

A rede de gasodutos Nordeste Meridional foi composta por vários modelos, de acordo com a metodologia apresentada na referência 2.1. Ela se liga a malha Nordeste Setentrional no PTR de Pilar e a do Espírito Santo no PTR de Cacimbas.

O modelo atual compreende o gasoduto Candeias-Aratu 12" que foi construído no ano de 1968 (referência 2.3), dando início a sua operação dois anos depois (1970). Este gasoduto possui uma extensão de 22,95 km e um diâmetro nominal de 12 polegadas. O gasoduto é dividido em 4 partes distintas: 6 km da EDG São Francisco até a estação Palmeiras; 4 km até a estação Roça Grande; 5 km até a Estação Caboto e por fim, mais 7 km até a EDG Aratu. Com apenas um ponto de entrega intermediário, o gasoduto opera com uma pressão máxima de operação admissível de 51 kgf/cm², possuindo 5 válvulas de bloqueio em sua extensão. Uma visão do gasoduto está apresentada na Figura 1.



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-036**

REV. **A**

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA 4 de 13

TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-

-

Para o desenvolvimento do modelo foi utilizado o programa comercial Pipeline Simulator da EnergySolutions Inc, versão 3.4.1.0. A representação gráfica do modelo está apresentada na Figura 2.

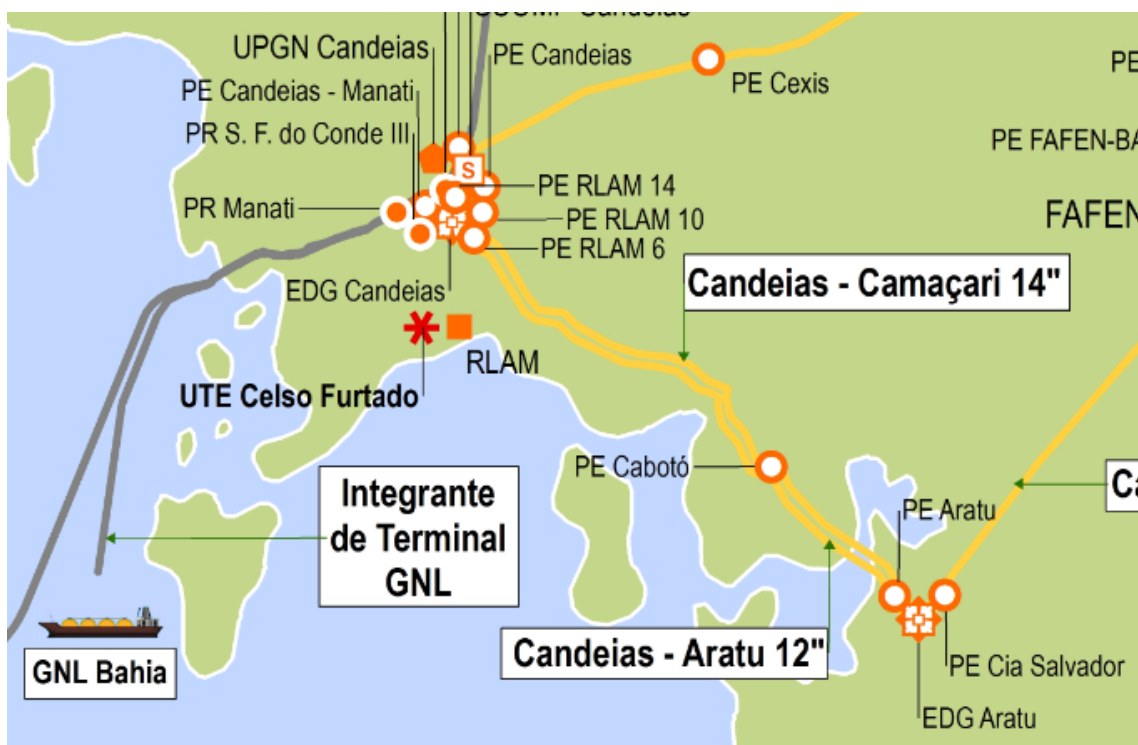


Figura 1 – Visão geral do gasoduto (referência: [tag.petrobras.com.br/Informações à ANP](http://tag.petrobras.com.br/Informações%20à%20ANP))

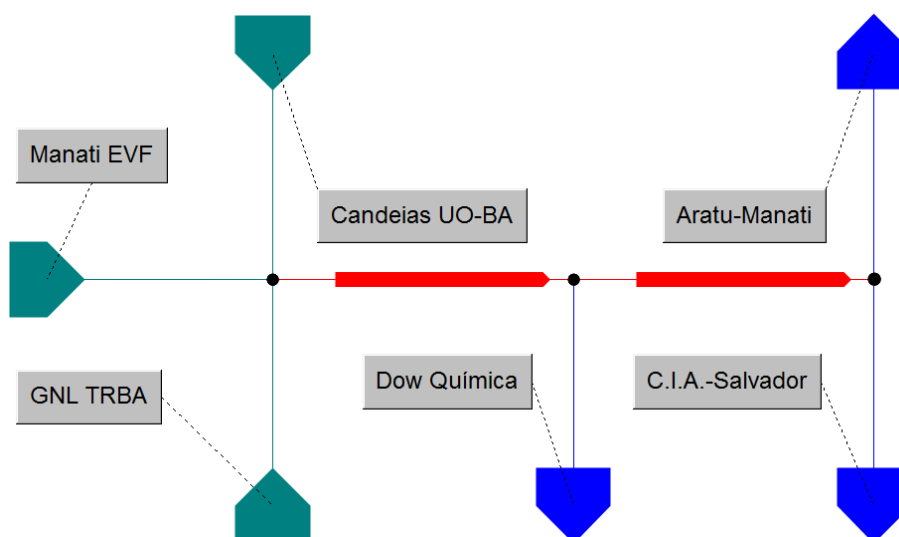



Figura 2 – Fluxograma do modelo

	RELATÓRIO	Nº RL-ANP-FPL-036	REV. A
	PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS		FOLHA 5 de 13
	TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"		-

4 PREMISSAS DE CÁLCULO

4.1 Condições de Referência

As vazões volumétricas apresentadas neste relatório utilizam os seguintes valores de pressão e temperatura como referência.

- Pressão: 1 atm
- Temperatura: 20°C

4.2 Modelo de transferência de calor

- Coeficiente global de transferência de calor solo-tubo: 1,9 Kcal/hm²°C (valor arbitrado, não disponível nos documentos de referência)

4.3 Temperatura do solo

- 30°C (Valor arbitrado, não disponível nos documentos de referência)

4.4 Correlações Adotadas

De forma a seguir as orientações gerais para construção de modelos de simulação computacional de gasodutos apresentadas na referência 2.2, as seguintes correlações foram adotadas:

- Equação de Estado: BWRS
- Fator de Atrito: Colebrook

4.5 Software utilizado


- Pipeline Studio versão 3.4.1.0

4.6 Características do Gás

As composições apresentadas na Tabela 1 são referentes ao mês de janeiro de 2015 e foram obtidas a partir dos sumários estatísticos dos Certificados de Qualidade do Gás (Ref. 2.5) .

Tabela 1 – Composição do Gás Natural

Fonte	Candeias UO-BA	Manati (EVF)	GNL
C1	89,63	88,94	96,82
C2	4,87	3,55	2,74
C3	0,16	0,6	0,31
C4	0,02	0,64	0,1
N2	4,89	5,92	0,03

	RELATÓRIO		Nº RL-ANP-FPL-036	REV. A
	PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS			FOLHA 6 de 13
	TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"			-

Fonte	Candeias UO-BA	Manati (EVF)	GNL
CO2	0,43	0,35	0

4.7 Temperatura ambiente

- O valor de temperatura do solo adotado para todo o modelo foi de 30 °C (Valor arbitrado, não disponível nos documentos de referência)

4.8 Viscosidade

- Dado não disponível nos documentos de referência, utilizou-se a equação para cálculo de viscosidade LGE (referência 2.2)

5 CARACTERÍSTICAS DO GASODUTO

5.1 Diâmetro, Espessura e PMOA

O material do duto utilizado é o aço carbono de especificação API 5L grau B, de 12 polegadas de diâmetro nominal e pressão de projeto de 51 kgf/cm². A Tabela 2 apresenta os trechos do duto utilizados nos modelos de simulação, de acordo com cada trecho de duto. Foram ignoradas as variações de espessura devido a trechos alagados e passagens de rios para simplificar a elaboração do modelo, sem afetar significativamente o resultado das simulações. As referências utilizadas para a modelagem dos trechos de dutos foram 2.3 e 2.4.

Tabela 2 - Trechos do Candeias-Aratu

Duto	Comprimento (km)	Diâmetro Nominal (pol)	Espessura (pol)	PMOA (kgf/cm ²)
Duto 01	12,00	12	0,375	51
Duto 02	10,95	12	0,375	51

Nesse documento, as localizações e extensões, expressas em km, referem-se ao comprimento desenvolvido (real), salvo quando disposto em contrário.

5.2 Perfil Altimétrico

O perfil do gasoduto em estudo se encontra a seguir. Este perfil foi simplificado para atender ao modelo de simulação, priorizando o tempo computacional e respeitando principalmente as mudanças de espessuras pertinentes ao modelo. Não foram modeladas passagens de rios e situações similares. O perfil levantado foi baseado nas referências 2.3 e 2.4.

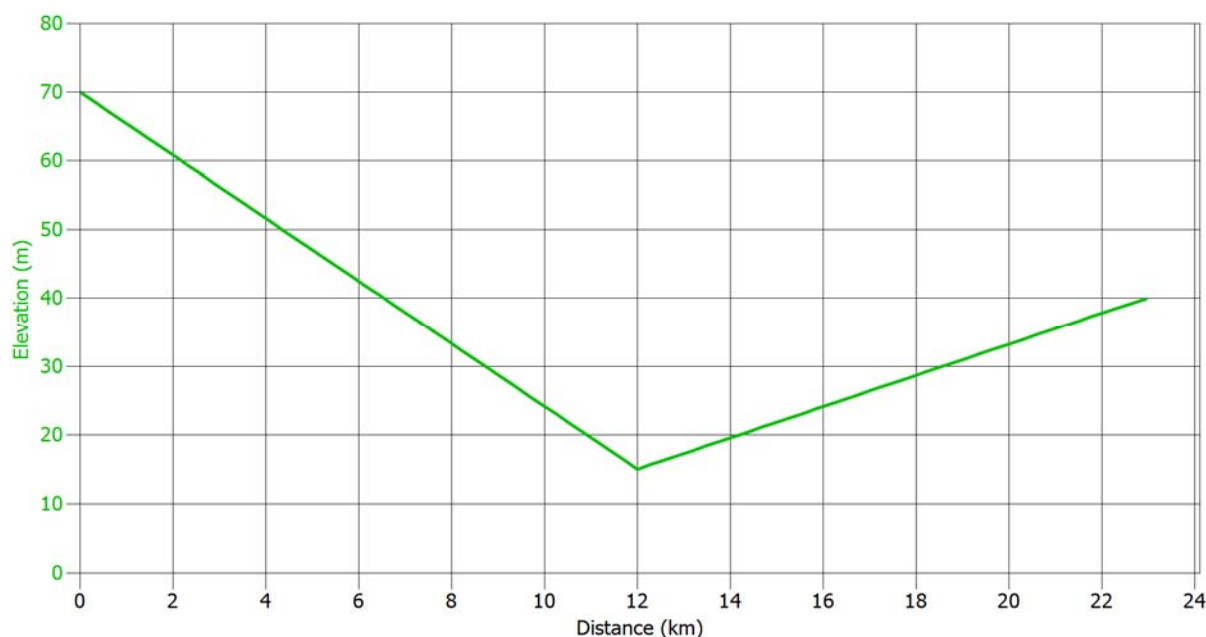


Figura 3 - Perfil de elevação

5.3 Rugosidade

Tendo em vista o tempo de operação dos dutos e falta de um valor disponível nos documentos de referência, adotou-se por hipótese e com base na referência 2.2, o valor de 0,04572 mm para todos os gasodutos.

5.4 Pontos de Entrega (PTE)

A Tabela 3 apresenta a localização, em função da linha tronco, e os limites de projeto dos pontos de entrega do sistema, de acordo com as referências 2.3, 2.4 e 2.5

Tabela 3 – Pontos de Entrega

Ponto de Entrega	Localização na linha tronco (km desenvolvido)	Elevação (m)	Vazão Máxima (m³/d)	Pressão Mínima (kgf/cm²)
Caboto / Dow Química	12,00	15	1.200.000	23
Aratu-Manati	22,95	40	1.000.000	26
CIA-Salvador	22,95	40	1.000.000	26

5.5 Pontos de recebimento (PTR)

O sistema possui 2 pontos de recebimento, todos localizados na EDG de São Francisco do Conde: o PTR de Candeias UO-BA e o de Manati EVF. Para este caso, foi utilizada como

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-036**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 8 de 13**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-

-

condição de contorno apenas a pressão máxima dos gasodutos, que é de 51 kgf/cm², de acordo com as referências 2.1 e 2.3.

Devido às limitações do programa de simulação, apenas o PTR de Candeias UO-BA foi configurado corretamente, devido as limitações do programa de simulação em possuir múltiplos pontos de recebimento com configuração similar no mesmo nó. Entretanto, todos os PTRs foram introduzidos no modelo, de acordo com a Figura 2.

5.6 Pontos de Interconexão

O sistema possui 1 único ponto de interconexão, referente ao GNL do TRBA, respectivamente. Para este caso, foi utilizada como condição de contorno tanto a pressão máxima dos gasodutos, que é de 51 kgf/cm², como a vazão máxima, de 6 milhões de m³ por dia, de acordo com as referências 2.3 e 2.5.

Devido às limitações do programa de simulação em possuir múltiplos pontos de recebimento com configuração similar no mesmo nó, apenas o PTR de Candeias UO-BA foi configurado corretamente. Entretanto, todos os PTRs foram introduzidos no modelo, de acordo com a Figura 2.

6 CONDIÇÕES DE CONTORNO

6.1 Perfil de Consumo

A Tabela 4 apresenta a distribuição de demanda nos pontos de entrega utilizada no modelo. Os valores apresentados representam a média diária do mês de janeiro de 2015, conforme apresentado em <http://tag.petrobras.com.br/> > Informações à ANP.

Tabela 4 - Perfil de Consumo

Pontos de Entrega	Vazão Média Jan/15 (m3/d)
Caboto / Dow Química	173.363
Aratu-Manati	0
CIA-Salvador	233.884

6.2 Máxima Pressão Admissível de Operação

A PMOA do sistema pode ser observada na Tabela 2.



6.3 Pressão de Entrega Nominal Contratual

A Tabela 3, apresentada no item 5.4, exibe as pressões mínimas de cada ponto de entrega, de acordo com a referência 2.3. Por questões relacionadas a operação do programa utilizado para o desenvolvimento do modelo, quando ocorre mais de um ponto de entrega num mesmo local (nó), somente é possível fixar o limite de pressão mínima em um deles. Nesse caso, quando diferentes, o limite escolhido foi o de maior pressão mínima contratual.

7 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

As pressões nos diversos pontos de entrega estão apresentadas na Tabela 5. A distribuição de pressão e vazão da linha tronco para a condição média de janeiro de 2015 é apresentada na Figura 4.

Deve-se ressaltar que os resultados das simulações que detalham as capacidades de transporte e disponível encontram-se na referência 2.6.

Tabela 5 - Pressões nos PEs

PE	Localização na linha tronco (km desenvolvido)	Elevação (m)	Pressão (kgf/cm ²)
Caboto / Dow Química	12,00	15	51,05
Aratu-Manati	22,95	40	50,90
CIA-Salvador	22,95	40	50,90

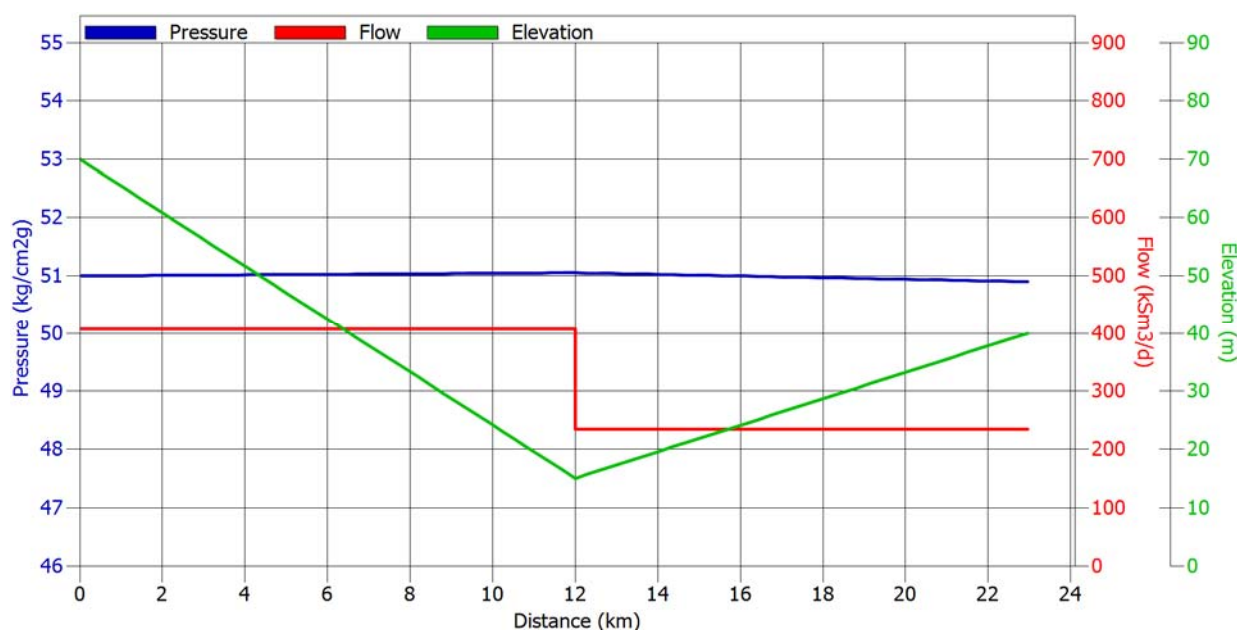


Figura 4 – Perfil de pressão, vazão e elevação



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-036**

REV. **A**

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA 10 de 13

TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-

-

8 ANEXOS

8.1 "STEADY STATE REPORT" DO MODELO

* SIMULACAO *

*
* Default Initial Values Selected: *
*
* Pressure 51.000 *
* Flow 203.624 *
* Temperature 30.000 *
* % Nitrogen 4.890 *
* % Carbon Dioxide 0.430 *
* % Methane 89.630 *
* % Ethane 4.870 *
* % Propane 0.160 *
* % i-Butane 0.020 *
*

*
* Problem Size Report *
*

*
* Number Maximum *
* Used Allowed *
* ----- *
*
* External Regulators 6 5000 *
* Equipment Devices 0 3000 *
* Drivers/Turbines 0 500 *
* Legs 2 10000 *
* Nodes 3 20000 *
* Knots 80 30000 *
* Stations 0 500 *
* Banks 0 1000 *
* Groups 0 1000 *
* Plants 0 10 *
* Compressor Perf Types 0 500 *
* Driver/Turb Perf Types 0 500 *
* Cylinder Types 0 500 *
* Fluids 3 100 *
* Qualities 12 26 *
*

* Steady State Convergence Summary *



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-036**

REV. **A**

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA **11** de **13**

TÍTULO: **Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"**

-
-

Iteration Number	Tolerance Requested	Greatest Hydraulic Adjustment	Greatest Temperature Adjustment	Greatest Composition Adjustment	Associated Device	
		-----	-----	-----	-----	-----
0	0.0001000	0.1193969	0.0000000	0.0000000	Xreg	MANATI_EVF
1	0.0001000	0.0011553	0.0000000	0.0000000	Node	NODE03
2	0.0001000	0.0000001	0.0000895	0.0000000	TNODE	NODE02
3	0.0001000	0.0004831	0.0000052	0.0000000	Xreg	CANDEIAS_UO-BA
4	0.0001000	0.0000009	0.0000005	0.0000000	Node	NODE02

* SIMULACAO *

* Reference Conditions Report *

Reference Pressure = 0.00 KG/CM2G
Reference Temperature = 20.00 (DEG C)

* Leg Hydraulic Summary Report ----- Time = 0.000 (HRS) *

Leg ID	Pressure KG/CM2G		Flow (KSM3/D)		Line Pack (KSM3)	Temperature (DEG C)	
	Head	Tail	Head	Tail		Head	Tail
CANARA_PIPE01	51.00	51.05	407.247	407.247	46.7269	30.00	30.07
CANARA_PIPE02	51.05	50.90	233.884	233.884	42.6063	30.07	29.97

* External Regulator Hydraulic Report ----- Time = 0.000 (HRS) *

External Regulator Flow Balance Report

	Mass Units (TONN/H)	Volumetric Units (KSM3/D)
Total input flow	12.334	407.247
Total output flow	12.334	407.247
Network flow balance	0.000	0.000

External Regulator Hydraulic Summary Report

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-036**REV. **A****PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS****FOLHA** 12 de 13**TÍTULO:****Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"**

-

-

External Regulator ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
ARATU-MANATI	Max Flow	50.90	0.000	29.97	0.6037	36.54
C.I.A.-SALVADOR	Max Flow	50.90	233.884	29.97	0.6037	36.54
CANDEIAS_UO-BA	Max Pres	51.00	-407.247	30.00	0.6037	36.54
DOW_QUÍMICA	Max Flow	51.05	173.363	30.07	0.6037	36.54
GNL_TRBA	Max Flow	51.00	0.000	30.00	0.5718	38.06
MANATI_EVF	Max Flow	51.00	0.000	30.00	0.6141	36.57

External Regulator ID	Current Flow Rate (KSM3/D)	Accumulated Volume (KSM3)	Timer Value (HRS)
ARATU-MANATI	0.000	0.000	0.000
C.I.A.-SALVADOR	233.884	0.000	0.000
CANDEIAS_UO-BA	-407.247	0.000	0.000
DOW_QUÍMICA	173.363	0.000	0.000
GNL_TRBA	0.000	0.000	0.000
MANATI_EVF	0.000	0.000	0.000

::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
:: Supply External Regulator Hydraulic Summary Report ::
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

Supply Xreg ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
CANDEIAS_UO-BA	Max Pres	51.00	-407.247	30.00	0.6037	36.54
GNL_TRBA	Max Flow	51.00	0.000	30.00	0.5718	38.06
MANATI_EVF	Max Flow	51.00	0.000	30.00	0.6141	36.57

Supply Xreg ID	Current Flow Rate (KSM3/D)	Accumulated Volume (KSM3)	Timer Value (HRS)
CANDEIAS_UO-BA	-407.247	0.000	0.000
GNL_TRBA	0.000	0.000	0.000
MANATI_EVF	0.000	0.000	0.000

::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
:: Delivery External Regulator Hydraulic Summary Report ::
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

Delivery Xreg ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
ARATU-MANATI	Max Flow	50.90	0.000	29.97	0.6037	36.54



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-036**

REV. **A**

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA 13 de 13

TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Candeias-Aratu 12"

-
-

C.I.A.-SALVADOR	Max Flow	50.90	233.884	29.97	0.6037	36.54
DOW_QUÍMICA	Max Flow	51.05	173.363	30.07	0.6037	36.54

Delivery	Current	Accumulated	Timer
Xreg	Flow Rate	Volume	Value
ID	(KSM3/D)	(KSM3)	(HRS)
ARATU-MANATI	0.000	0.000	0.000
C.I.A.-SALVADOR	233.884	0.000	0.000
DOW_QUÍMICA	173.363	0.000	0.000

* Node Mass Balance Error Report ----- Time = 0.000 (HRS) *

Threshold Level = 0.0100 (KSM3/D)
No Mass Balance Errors above Threshold

:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
:: Pressure/Flow Violation Reports ::
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

ALL XREGS FALL WITHIN PRESSURE BOUNDS
ALL INTERNAL LEG KNOTS FALL WITHIN PRESSURE BOUNDS

:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
:: Setpoint/Constraint Violation Reports ::
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

ALL XREGS COMPLY WITH MONITORED CONSTRAINTS

TRANSIENT GAS NETWORK MODEL (TGNET)
RELEASE 7.6 LEVEL 00 30-SEP-2008

STEADY-STATE MODULE