

Estudo do Ano de 2007 – Responsabilidade: Universidade Federal de Santa Maria

Estudo do impacto atmosférico, no sul do rio grande do sul, devido as emissões de contaminantes na região de Candiota.

Neste trabalho simulações feitas com o modelo INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX DISPERSION MODELS (ISC3), versão 3, para a dispersão de contaminantes com cenários meteorológicos dos anos de 2003 e 2004. Os cenários de fonte usados nas simulações dividiram-se em dois grupos. O chamado cenário atual continha as fases A e B da UTPM e das fábricas de cimento nas proximidades da Usina. Os chamados cenários futuros, que incluem a fase C da UTPM, a Usina de Seival, e as emissões das fases A e B com a inclusão de novas tecnologias, foram divididos em quatro cenários. Cada um destes cenários foi dividido em dois outros. Para fontes da CGTEE operando com 60% de carga e com 80% de carga. Em resumo: um total de 10 cenários de fonte foi simulado. A tabela abaixo apresenta, para uma melhor compreensão, os cenários de fonte estudados.

Folha Nº 5269
 Proc. 2567/97
 Rubrica MSM

Folha Nº 5265
 Proc. Nº 2567/97
 Rubrica MSM

Os Cenários de Fonte

Fonte	SO2 (g/s)	NOx (g/s)	MP (g/s)	Veloc. (m/s)	Temp. (C)	Altura (m)	Diâm (m)	Pos (x) km	Pos (y) km
Fase A	1075	119	203	12.9	160	150	4.75	0.	0.
	806	89	152	11.1					
Fase B (III)	1365	151	258	17.6	160	150	4.75	0.	0.
	1024	113	194	14.1					
Fase B (IV)	1365	151	258	17.6	160	150	4.75	0.	0.
	1024	113	194	14.1					
Fase A Adequação	234	94	37	10.8	75	150	4.75	0.	0.
	176	70	27	9.3					
Fase B (III) Adequação	297	119	46	14.8	75	150	4.75	0.	0.
	223	89	35	11.8					
Fase B (IV) Adequação	297	119	46	14.8	75	150	4.75	0.	0.
	223	89	35	11.8					
Fase C	532	213	83	19.5	75	220	5.5	0.	0.
	399	160	62	16.4					
Seival [*]	216,11	216,11	27,01	5,4	305,8	138	49	2,5	6,6
Cimbagé	0,06	29,45	2,64	9,49	106,4	130	3,2	0	-4
R Branco	0,27	17,058	0,8987	20,51	87,25	329	1,73	4	14

As Simulações

As concentrações superficiais de Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO_2) e Óxidos Nitrosos (NO_x) foram calculadas para uma grade que compreende uma área de 100 quilômetros por 100 quilômetros no centro da qual localizam-se as usinas da CGTEE. Para cada um destes poluentes simulações para todos os dias do ano de 2003 foram efetuadas. Isto compreendeu, então, um total de 10950 (dez mil, novecentas e cinquenta) simulações, ou seja, 10 cenários de fonte para cada poluente e para cada dia do ano de 2003. Os resultados das simulações foram então trabalhados de forma a serem comparados com os padrões da legislação ambiental.

Os Resultados

De modo a possibilitar a comparação com os padrões ambientais valores médios, aritméticos e geométricos anuais, para cada ponto da grade foram calculados. Isto requereu a elaboração de um programa em linguagem fortran. A necessidade deste programa computacional pode ser exemplificado para o caso do NO_x . Para tal poluente o padrão ambiental refere-se a valores horários. Então, para cada dia do ano, um conjunto de 24 concentrações são calculadas para cada ponto da grade. Como a grade consistia de um conjunto de 536 pontos então, para cada dia há 12864 concentrações calculadas (536×24). Assim, para um ano de simulação, e para cada cenário de fonte, há um arquivo que possui 4.695.360 linhas. Cada uma destas linhas, do arquivo resultante, consiste da concentração em um ponto de grade para uma hora de um dia particular. Para o caso do SO_2 e do MP, a legislação refere-se a média diária. Assim, os arquivos correspondentes a estes poluentes, é menor. Mas ainda assim grande o suficiente de modo que as médias, geométrica para o caso do MP, e aritmética para o SO_2 , só podem ser acessadas via programa numérico.

Os resultados das simulações foram apresentados na forma de tabelas e gráficos. Estas tabelas podem ser diretamente comparadas com os

padrões CONAMA. Exceção, para a comparação direta, refere-se ao NO_x. Devido a emissão considerar a quantidade de NO_x e o padrão ambiental levar em conta o NO₂ dois casos são considerados. Um primeiro caso leva em conta que há conversão total de NO_x em NO₂. Em outra análise considerou-se o fator de Janssen, que descreve a conversão de NO_x em NO₂ e NO com base nas características atmosféricas locais e a concentração de ozônio. Portanto, para o caso dos óxidos de Nitrogênio duas tabelas e dois gráficos foram apresentados.

As Conclusões

Os resultados apresentados no relatório possibilitaram as as seguintes conclusões.

Material Particulado

As concentrações superficiais deste contaminante, para todos os cenários de fonte e para os dois anos de estudo, são sempre inferiores aos padrões da legislação ambiental.

Considerando-se os dados meteorológicos do ano de 2003 a máxima concentração média diária ocorreu no dia 26 de dezembro e foi de, aproximadamente 42 micro gramas por metro cúbico, que é inferior a 18% do padrão primário e inferior a 30% do padrão secundário. Tal concentração foi estimada para o cenário atual de fontes e com as fontes da CGTEE operando com 80% de carga. Ainda para o cenário atual e idêntica taxa de emissão, máximos secundários são da ordem de 34, 30 e 28 microgramas por metro cúbico, para as médias diárias. Quando as fontes da CGTEE operam com 60% de carga os máximos são sempre inferiores. Para os cenários futuros a máxima concentração predita é, aproximadamente, 14 microgramas por metro cúbico. Este valor ocorre quando o cenário de fonte inclui as fontes atuais e futuras (Fase C e Seival) e corresponde ao cenário chamado de futuro 1. Considere-se que, para este cenário, a fase B da UTPM gera energia com tecnologia que diminui as taxas de emissão.

As médias anuais, para o ano de 2003, em todos os cenários, não excedem a 2% do padrão primário. O máximo valor predito é, aproximadamente, 1 micro grama por metro cúbico.

No cenário meteorológico que corresponde ao ano de 2004 a máxima concentração média diária ocorreu no dia 15 de janeiro e foi de, aproximadamente 29 micro gramas por metro cúbico, que é inferior a 13% do padrão primário e inferior a 20% do padrão secundário. Tal concentração foi estimada para o cenário atual de fontes e com as fontes da CGTEE operando com 80% de carga. Ainda para o cenário atual e idêntica taxa de emissão, máximos secundários são da ordem de 28, 26 e 25 micro gramas por metro cúbico, para as médias diárias. Para os cenários futuros a máxima concentração, média de 24 horas, predita é, aproximadamente, 7 micro gramas por metro cúbico. Este valor também corresponde ao chamado cenário futuro 1.

As médias geométricas anuais, para o ano de 2004, em todos os cenários, não excedem a 3% do padrão primário e 5% do padrão secundário. O máximo valor predito é, aproximadamente, 2,5 micro grama por metro cúbico.

Para os anos de 2004 não foram feitas simulações para os cenários de fonte nas quais as fontes da CGTEE operam a 60%. Isto deveu-se ao fato de, em todas as condições estudadas no ano de 2003, para as fontes operando a 80% as concentrações são maiores do aquelas observadas quando as fontes operam a 60%. Assim, o estudo reduziu-se ao casos de maior concentração.

Dióxido de Enxofre

A análise dos resultados, para este contaminante, não é tão simples como para o caso do Material Particulado. Por este motivo vamos fazer uma divisão para favorecer a clareza.

Médias anuais: As concentrações, neste caso, para todos os cenários de fonte, e para os anos de 2003 e 2004 são sempre muito inferiores aos valores do padrão secundário. A legislação prevê, como padrão secundário, uma concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por

Folha Nº 527P
Proc. 2567/97
Rubrica MSM

~~Folha Nº 5217~~
~~Proc. Nº 2567/97~~
~~Rubrica MSM~~

metro cúbico de ar. O máximo valor estimado, no ano de 2003, é de 6,32 microgramas por metro cúbico de ar, no cenário atual e com fontes da CGTEE operando com 80% de carga. Este valor corresponde a 15,8% do padrão secundário. Nos cenários futuros, e também para o ano de 2003, o valor máximo estimado é de 2,92 microgramas por metro cúbico de ar, para o cenário 1 (7,1% do padrão secundário) com a fonte da CGTEE também operando com 80% de sua capacidade.

Em todos os cenários, nos quais as fontes da CGTEE operam com 80% de carga, os máximos principais e secundários, até a quarta ordem, são inferiores a 5% do padrão secundário. Para as fontes da CGTEE operando com 60% de carga os valores são ainda menores.

Para as simulações correspondentes aos dados meteorológicos de 2004 as máximas concentrações são muito semelhantes para todos os cenários de fonte. Elas são, aproximadamente, iguais a 5,0 microgramas por metro cúbico. Isto corresponde a 6% do padrão primário e a 12% do padrão secundário.

Para o ano de 2004, pelos mesmos critérios adotados para as simulações de material particulado, não foram feitas simulações para as fontes da CGTEE operando com 60% de carga.

Em conclusão e, de modo resumido, as concentrações médias anuais de Dióxido de enxofre, no cenário atual e para o ano de 2003, não excedem 16% do padrão secundário. Nos cenários futuros estes máximos são sempre inferiores a 8% do padrão secundário (resolução N° 3 de 28/06/90 do CONAMA). Já para o ano de 2004 não há diferenças significativas entre os máximos principais para todos os cenários de fonte e eles não alcançam 13% do padrão secundário.

Médias diárias: considerando-se os valores das concentrações médias diárias constata-se que, em alguns dias, os resultados indicam que os padrões ficam acima do valor estipulado como padrão secundário, que é de 100 microgramas por metro cúbico. Entretanto, em nenhum caso, e em nenhuma condição meteorológica o padrão primário, equivalente a 365 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ é alcançado.

É importante ressaltar que o padrão secundário é superado, pelos valores calculados pelo ISC, apenas para o cenário atual de fontes. Para os cenários futuros os máximos de concentração ficam abaixo do valor de 100 microgramas por metro cúbico.

No ano de 2003 e para o cenário atual de fontes, e com fontes da CGTEE operando com 60% de capacidade, os máximos estimados são de $179.73804 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 26/12, $141.92926 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 25/12, $141.51817 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 18/12, $132.60933 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 22/08, $123.80643 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 10/07 e $119.40544 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 19/11. Para esta capacidade de fonte da CGTEE, em todos os demais dias do ano, as máximas concentrações diárias ficam aquém do padrão secundário. Ou seja, em seis dias o padrão secundário é superado e, conforme estipulado pela resolução CONAMA ele não é excedido mais de uma vez ao ano.

Para o cenário atual de fontes, e com fontes da CGTEE operando com 80% de capacidade, os máximos estimados são de $224.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (26/12), $182.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25/12), $162.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10/07), $148.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19/11), $146.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22/08), $121.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (01/11), $118.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19/11), $114.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25/02), $112.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18/03), $110.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (31/05), $110.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (07/08), $107.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (06/08), $106.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (27/10) e $100.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (20/05). Para todos os demais dias do ano as máximas concentrações são inferiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em síntese, nesta condição de fonte o máximo secundário é excedido por 14 vezes.

Importante enfatizar que, embora os valores, para estes quatorze dias sejam superiores ao padrão secundário da legislação ambiental eles ocorrem em pontos distintos. Não há um valor que exceda, em mais de uma vez, em um mesmo local, o valor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para os cenários futuros de fonte as máximas concentrações diárias são registradas para o cenário futuro 1 e, conforme dito anteriormente, elas ficam sempre aquém do padrão secundário. Neste caso, os cinco máximos principais são $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10/07), $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (26/12), $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25/07), $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22/08) e $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19/11) para as fontes da CGTEE trabalhando

com 60% de carga. Quando as fontes operam com 80% de potência, no cenário futuro 1, os cinco máximos principais são $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10/07), $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (26/12), $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19/11), $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19/11) e $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (07/08).

Resultados semelhantes foram obtidos para o ano de 2004. Ou seja, concentrações máximas diárias, em alguns casos, superam o padrão secundário no cenário atual de fontes. Nos quatro cenários futuros as máximas diárias nunca excedem o padrão secundário. Também, para os cenários futuros, os máximos são preditos no cenário futuro 1.

Para as fontes da CGTEE operando com 80% de carga os cinco máximos principais, no cenário atual são $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15/01), $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (08/09), $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22/05), $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16/01) e $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (21/07). Para o cenário futuro 1 estes cinco máximos, média de 24 horas são: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (08/09), $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (26/05), $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16/01), $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (13/05) e $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15/01).

Para o ano de 2004, pelos mesmos critérios adotados anteriormente, não foram feitas simulações para as fontes da CGTEE operando com 60% de carga.

Em resumo, os resultados referentes as máximas diárias de dióxido de enxofre, nunca excedem o padrão primário da resolução do CONAMA em nenhum cenário de fonte em todos os dias dos anos de 2003 e 2004. Em alguns dias, destes dois anos, o padrão secundário é excedido apenas no cenário atual de fontes. Nos quatro cenários futuros o padrão secundário também não é superado em nenhum dia dos dois anos estudados.

Óxidos de Nitrogênio

CASO 1: Conversão total de NO_x em NO_2

Médias anuais: As concentrações, neste caso, para todos os cenários de fonte, são muito similares. Não existe diferença considerável, entre os máximos anuais, calculada através de média aritmética, para todos os cenários de fonte, tanto para o ano de 2003 como para o ano de 2004. Estes máximos são sempre, aproximadamente, igual a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que equivale a

5% do padrão primário e secundário da legislação ambiental. O fato dos valores serem, em todos os casos, aproximadamente iguais deve-se ao fato de os mesmos serem calculados como média dos máximos horários, fazendo assim que, do ponto de vista estatístico, eles sejam obtidos de um ensemble consideravelmente maior do que quando calculados sobre médias diárias. Para ser mais específico: no caso das médias de dos óxidos de nitrogênio estas são calculadas sobre 8760 valores, uma vez que o modelo calcula médias horárias para cada ponto de grade, Sobre um numero tão grande de valores numéricos é de se esperar que o valor médio seja convergente assintoticamente.

Médias Horárias. Considerando os máximos horários, para todos os dias dos anos de 2003 e 2004 e todos os 536 pontos de grade sobre os quais as concentrações foram modeladas, nota-se que, em nenhum caso o padrão primário é superado. Isto é observado tanto para as fontes da CGTEE operando com 60% de carga quanto com 80% de carga. Quando se considera o padrão secundário, de $190 \mu\text{g} / \text{m}^3$, constata-se que, em dias particulares, no ano de 2003, este limite é alcançado. Para o ano de 2004 o padrão secundário nunca é atingido.

Particularmente, para o ano de 2003, o padrão secundário nunca é alcançado apenas para o cenário de fontes chamado de futuro 4, quer para 60% de carga ou 80% de carga para as fontes da CGTEE.

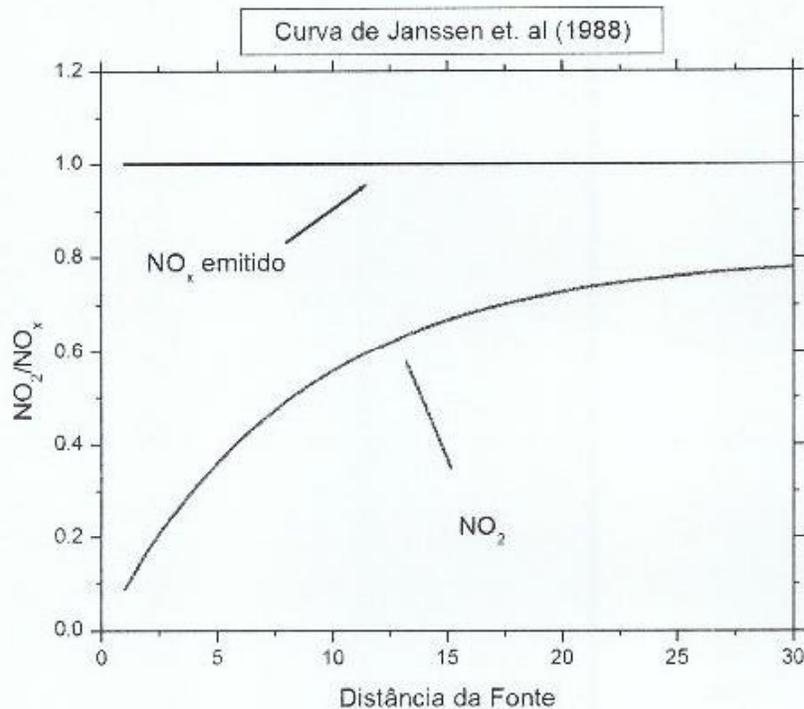
O limite secundário é alcançado, no ano de 2003, para o cenário atual, com as fontes da CGTEE operando com 80% de carga em apenas 4 horas. São elas: 18h do dia 13/11 ($254 \mu\text{g} / \text{m}^3$), 14h do dia 19/11 ($245 \mu\text{g} / \text{m}^3$), 08h do dia 06/06 ($201 \mu\text{g} / \text{m}^3$) e 14h do dia 02/02 ($193 \mu\text{g} / \text{m}^3$). Nas demais 8756 horas do ano de 2003 o padrão secundário não é alcançado.

Para os cenários futuro 1 e futuro 3, também com fontes da CGTEE operando com 80% de carga, o limite secundário é ultrapassado em 5 horários. Nas demais 8755 horas do ano de 2003 as concentrações são inferiores ao padrão secundário. No cenário futuro 2 obtem-se concentrações máximas, que atingem o padrão secundário, em apenas 2 horas do ano.

CASO 2: Conversão de NO_x em NO_2 segundo Janssen et. al (1988)

Médias anuais: Uma vez que as concentrações anuais de NO_x são muito inferiores aos padrões da legislação ambiental tal situação não foi analisada. Com a transformação de NO_x em NO_2 modelada por Jansen et. al (1988) as concentrações médias anuais serão, no mínimo 80% inferiores aquelas dos cenários em que a transformação é total.

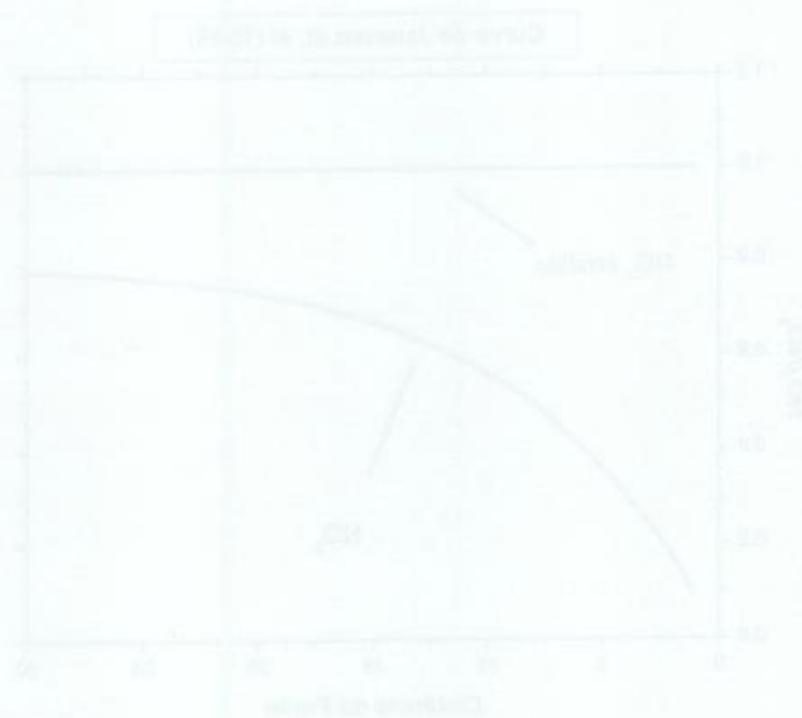
Médias Horárias. As concentrações previstas segundo o modelo de Jansen podem ser simplificadas pela figura abaixo.



As concentrações de NO_2 , advindas da oxidação do NO , são nulas próxima a fonte. Ou seja, logo após a emissão, os óxidos de Nitrogênio são constituídos por um fator 1 daqueles emitidos. A longas distâncias da fonte, 80% dos óxidos de Nitrogênio são NO_2 e os 20% restantes são da mesma parte daqueles que foram lançados na atmosfera.

Considerando-se os cenários de fonte aqui estudados e as condições atmosféricas do ano de 2003 observa-se que o padrão secundário nunca é ultrapassado quando as fontes da CGTEE operam com 60% de sua capacidade. Quando elas operam com 80% de sua capacidade em apenas uma hora do ano de 2003 o padrão secundário é ultrapassado no chamado cenário atual. Nos cenários futuros em nenhuma condição o padrão secundário é alcançado.

Para as simulações realizadas correspondentes ao ano de 2004 o padrão secundário não é alcançado em nenhum cenário de fonte.



As concentrações de NO₂ são de 10 ppb a 0 km de distância e decrescem para 4 ppb a 30 km de distância. O padrão de 11 ppb não é alcançado em nenhum cenário de fonte. A curva de concentração de NO₂ atual é de 10 ppb a 0 km de distância e decresce para 4 ppb a 30 km de distância.