

Mestrado em Engenharia e Gestão Ambiental

**Avaliação do efeito da Grande Área Metropolitana
do Porto nas concentrações de Dióxido de Carbono
sobre a zona costeira adjacente**

Rogério Paulo Silva Carvalho

Porto

2009

Mestrado em Engenharia e Gestão Ambiental

**Avaliação do efeito da Grande Área Metropolitana
do Porto nas concentrações de Dióxido de Carbono
sobre a zona costeira adjacente**

Rogério Paulo Silva Carvalho

Porto

2009

Avaliação do efeito da Grande Área Metropolitana do Porto nas concentrações de Dióxido de Carbono sobre a zona costeira adjacente.

Mestrado em Engenharia e Gestão Ambiental

Rogério Paulo Silva Carvalho

Orientadores:

- Professor Doutor Pedro Manuel da Silva Duarte
- Professor Doutor Nelson Augusto Cruz de Azevedo Barros

Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Ambiental

Resumo

Nos últimos anos, as preocupações com o aquecimento global estimularam um grande número de estudos sobre as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico e oceânico e as suas consequências. Apesar dos dados disponíveis sobre o CO₂ atmosférico global, há apenas conhecimento limitado sobre a variabilidade do mesmo a escalas regionais. Além disso, existe uma lacuna importante sobre a influência da contribuição de regiões com grandes emissões de CO₂, tais como áreas metropolitanas, para as concentrações de CO₂ sobre zonas costeiras. Uma possível hipótese de trabalho é que, as grandes áreas metropolitanas litorais podem ter uma influência significativa sobre as concentrações de CO₂ atmosférico e exercer uma influência importante sobre as trocas de CO₂ mar-ar. Assim, o principal objectivo deste estudo é testar a hipótese referida para a Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP). Para cumprir este objectivo, foi implementada uma base de dados de emissões e utilizada para forçar, juntamente com dados meteorológicos, um modelo de circulação atmosférica. O modelo foi usado para simular diversos cenários meteorológicos e estimar as concentrações de CO₂ ao longo de aproximadamente 90 km da costa norte portuguesa. Os resultados obtidos sugerem que em algumas estações do ano, nomeadamente no Outono e no Inverno, as emissões da GAMP têm uma influência importante nas concentrações de CO₂ atmosférico sobre a zona costeira próxima, até 6 a 12 km da costa. Assim, as fontes da GAMP não têm uma influência relevante nos fluxos difusivos na zona costeira, ao contrário da hipótese inicial, embora o efeito nas concentrações atmosféricas sobre o mar seja mensurável, até algumas milhas da costa.

Résumé

Durant ces dernières années, les préoccupations sur le réchauffement global ont stimulé un grand nombre d'études sur les concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique et océanique ainsi que ses conséquences. Malgré les données disponibles sur le CO₂ atmosphérique global, il existe seulement une connaissance limitée sur la variabilité du même à des échelles régionales. De plus, il existe une lacune importante sur l'influence de la contribution de régions avec de grandes émissions de CO₂, telles que les aires métropolitaines, sur les concentrations de CO₂ sur les zones maritimes proches. Il existe une possible hypothèse de travail c'est-à-dire que les grandes aires métropolitaines littorales peuvent avoir une influence significative sur les concentrations de CO₂ atmosphérique et exercer une influence importante sur les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère et d'exercer une influence importante sur les échanges de CO₂ air-mer. Ainsi, le principal objectif de cette étude est tester l'hypothèse de la Grand Aire Métropolitaine de Porto (GAMP). Pour atteindre cet objectif, une base de données d'émissions a été créée et utilisée pour forcer un modèle de circulation atmosphérique avec l'aide de données météorologiques. Le modèle a été utilisé pour simuler divers scénarios météorologiques et évaluer les concentrations de CO₂ sur environ 90 km de la côte nord portugaise. Les résultats obtenus suggèrent que pendant certaines saisons de l'année, notamment en automne et en hiver, les émissions de le GAMP ont une influence importante sur les concentrations de CO₂ atmosphérique sur la zone côtière près de 6 à 12 km. Ainsi, les sources de GAMP ne pas avoir une influence dans la diffusion des flux dans la zone côtière, contrairement à l'hypothèse de départ, même si l'effet sur les concentrations atmosphériques de la mer est mesuré, jusqu'à quelques milles de la côte.

Abstract

Over the last years, concerns about global warming stimulated a large number of studies regarding atmospheric and oceanic carbon dioxide (CO₂) concentration and its consequences. In spite of the available data on global atmospheric CO₂, there is only limited knowledge on its variability at regional scales. Moreover, there is an important gap about the understanding of the contribution of high CO₂ emission regions, such as metropolitan areas, to CO₂ concentrations over nearby coastal areas. A possible working hypothesis is that, large littoral metropolitan areas may have a significant influence on CO₂ atmospheric concentrations over those areas and exert an important influence on sea-air CO₂ exchanges. Therefore, the main objective of this study is to test the above hypothesis for the Greater Oporto Metropolitan Area (GOMA). To fulfill this objective, an emission database was built and used to force, together with meteorological synoptic data, an atmospheric circulation model. The model was used to simulate several weather scenarios and estimate CO₂ concentrations along a c.a. 90 km stretch of the Portuguese northern shore. Obtained results suggest that in some seasons of the year, particularly in autumn and winter, emissions from GOMA have an important influence on CO₂ atmospheric concentrations until 6 to 12 km offshore. Therefore, the GOMA sources don't have a relevant influence in diffusive flows in the coastal zone, contrary to the initial hypothesis, although the effect on atmospheric concentrations above the sea is measured, until a few miles offshore.

Agradecimentos

Ao Prof. Doutor Salvato Trigo, na qualidade de Reitor da Universidade Fernando Pessoa, pela oportunidade de realização do presente mestrado e consequente dissertação.

Aos orientadores Prof. Doutor Pedro Duarte e Prof. Doutor Nelson Barros, pela excelente ajuda e orientação, pela constante disponibilidade e apoio incansável e pela capacidade de ensinar.

À minha família, pelo apoio, paciência e compreensão.

Aos amigos Ricardo Ferraz, Joana Magalhães e Hilário Lemos pelo incentivo e amizade.

Aos amigos de gabinete Tânia Fontes, pela enorme ajuda e constante disponibilidade, Andreia Rodrigues e Salvador Gonçalves pelo companheirismo demonstrado.

Aos docentes do primeiro ano do mestrado, pela amizade, ajuda na compreensão de inúmeros temas e evolução no conhecimento.

A todos os docentes e funcionários da Universidade Fernando Pessoa.

“Todos podemos fazer alguma coisa, e o que fizermos agora conta mais do que em qualquer outro momento da história”

-John Elkington e Julia Hailes-

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objectivos	2
1.3	Organização e estrutura do texto.....	3
2	Energia, Alterações Climáticas e Dióxido de Carbono.....	4
2.1	A escolha energética: uma questão essencial.....	4
2.2	Alterações Climáticas e o papel do Dióxido de Carbono	7
2.2.1	Evolução da problemática.....	7
2.2.2	O problema do aumento da concentração atmosférica de CO ₂	12
2.3	Efeito de Estufa.....	16
2.4	Condições de dispersão dos poluentes na atmosfera	18
2.5	O papel do oceano como sumidouro de CO ₂	20
2.6	Perspectivas do papel das zonas costeiras nas concentrações de CO ₂	24
3	Metodologia	26
3.1	Caracterização da área de estudo	26
3.2	Base de dados de emissões.....	30
3.2.1	Construção da base de dados	30
3.2.2	Fontes Pontuais	36
3.3	Modelação atmosférica	37
3.3.1	Conceito de modelação	37
3.3.2	Modelação atmosférica	38
3.3.3	Modelação em mesoescala.....	39
3.3.4	Modelo de dispersão (TAPM)	41
3.3.5	Cenários de modelação escolhidos	48
3.3.6	Validação	51
3.3.6.1	Conceito de validação.....	51
3.3.6.2	Modelo de validação BOOT.....	53
3.3.7	Abordagens de análise às concentrações do TAPM	57
4	Resultados e Discussão	60
4.1	Caracterização das emissões dos concelhos da GAMP	60
4.2	Validação dos resultados do modelo TAPM	67

4.3	Concentrações de CO ₂ do TAPM	69
4.4	Análise das concentrações de CO ₂	71
4.5	Análise dos fluxos de CO ₂ na zona costeira adjacente	78
5	Conclusões	82
	Referências.....	85
	Anexos	i
	Anexo I - Categorias, sectores e subsectores do inventário da APA	ii
	Anexo II - Fontes pontuais	iv
	Anexo III - Fontes pontuais da GAMP	xi
	Anexo IV - Estações de monitorização das concentrações de CO ₂	xiii
	Anexo V - Concentrações médias e máximas do TAPM.....	xix

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Os três diferentes modos de vibração de uma molécula de água.....	17
Figura 2.2 - Os três diferentes modos de vibração de uma molécula de dióxido de carbono.....	17
Figura 2.3 - Diagrama do ciclo global de carbono (adaptado de The Royal Society, 2005).	21
Figura 3.1 - Mapa de Portugal e Grande Área Metropolitana do Porto	26
Figura 3.2 - Percentagem da área de cada concelho da GAMP, 2001 (Fonte: adaptado de http://www.ine.pt)	28
Figura 3.3 - Percentagem da população residente de cada concelho na GAMP em 2001 (Fonte: adaptado de http://www.ine.pt)	28
Figura 3.4 - Grandes fontes pontuais de CO ₂ dos concelhos da GAMP	36
Figura 3.5 - Interface da Componente Meteorológica do TAPM.....	42
Figura 3.6 - Interface da Componente de Poluição Atmosférica do TAPM	43
Figura 3.7 - Representação esquemática do Modelo TAPM. (Adaptado de Coutinho et al., 2007)	44
Figura 3.8 - Interface principal do Modelo TAPM.....	45
Figura 3.9 - Ponto central escolhido. Situa-se no concelho do Porto.	46
Figura 3.10 - Malha 500×500 m ² (186×186 células).....	46
Figura 3.11 - Processo de agregação dos pontos da malha 500x500 m ² aos pontos da malha 3000x3000 m ²	47
Figura 3.12 - Predominância dos ventos na Primavera (valores em percentagem).	50
Figura 3.13 - Predominância dos ventos no Verão (valores em percentagem).	50
Figura 3.14 - Predominância dos ventos no Outono (valores em percentagem).	51
Figura 3.15 - Localização das estações de qualidade do ar e da estação meteorológica.	57
Figura 3.16 - Estações de CO ₂ (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov)	58
Figura 4.1 - Emissões de CO ₂ por sector de actividade no período 1990-2004, a nível nacional.....	60
Figura 4.2 - Emissões de CO ₂ por sector de actividade nos anos 2001 e 2004, a nível nacional.....	61

Figura 4.3 - Caracterização das emissões de CO ₂ dos concelhos da GAMP por sector de actividade em 2001	62
Figura 4.4 - Caracterização das emissões de CO ₂ dos concelhos da GAMP por sector de actividade em 2004	62
Figura 4.5 - Comparação das emissões totais de CO ₂ dos concelhos da GAMP de 2001 e 2004.....	63
Figura 4.6 - Emissões de CO ₂ do sector “Agricultura, Floresta e Pescas” dos concelhos da GAMP	63
Figura 4.7 - Emissões de CO ₂ do sector “Comércio e Instituições” dos concelhos da GAMP	63
Figura 4.8 - Emissões de CO ₂ do sector “Indústrias de produção de energia” dos concelhos da GAMP	64
Figura 4.9 - Emissões de CO ₂ do sector “Indústrias transformadoras e de construção” dos concelhos da GAMP.....	64
Figura 4.10 - Emissões de CO ₂ do sector “Residências” dos concelhos da GAMP.....	64
Figura 4.11 - Emissões de CO ₂ do sector “Transportes” dos concelhos da GAMP.....	64
Figura 4.12 - Emissões totais de CO ₂ dos concelhos da GAMP	65
Figura 4.13 - Emissões totais de CO ₂ por área dos concelhos da GAMP	65
Figura 4.14 - Emissões totais de CO ₂ sem fontes pontuais dos concelhos da GAMP ..	65
Figura 4.15 - Emissões totais de CO ₂ por área sem fontes pontuais dos concelhos da GAMP.....	65
Figura 4.16 - Concentrações de CO ₂ atmosférico na Primavera.	70
Figura 4.17 - Concentrações de CO ₂ atmosférico no Verão.....	70
Figura 4.18 - Concentrações de CO ₂ atmosférico no Outono.	70
Figura 4.19 - Concentrações de CO ₂ atmosférico no Inverno.....	70
Figura 4.20 - Águas costeiras (1 milha náutica).....	71
Figura 4.21 - Águas territoriais (12 milhas náuticas)	71
Figura 4.22 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO ₂ atmosférico na Primavera, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO ₂	77
Figura 4.23 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO ₂ atmosférico no Verão, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO ₂	77

Figura 4.24 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO ₂ atmosférico no Outono, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO ₂	77
Figura 4.25 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO ₂ atmosférico no Inverno, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO ₂	77
Figura AIV 1 - Concentração de CO ₂ (ppm) em função do ano – Ilha Terceira – Açores (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov).....	xiv
Figura AIV 2 - Concentração de CO ₂ (ppm) em função do ano – Ilhas Canárias – Tenerife (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov)	xv
Figura AIV 3 - Concentração de CO ₂ (ppm) em função do ano – Mace Head – County Galway - Irlanda (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov).....	xvi
Figura AIV 4 - Concentração de CO ₂ (ppm) em função do ano – Mar Negro - Constanta - Roménia (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov)	xvii
Figura AIV 5 - Concentração de CO ₂ (ppm) em função do ano – Hegyhatsal - Hungria (adaptado de http://www.esrl.noaa.gov).....	xviii

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Caracterização da GAMP em área e população (Census 2001)	27
Tabela 3.2 - Poluentes submetidos por Portugal no âmbito de compromissos comunitários e internacionais	31
Tabela 3.3 - Agregação das diferentes denominações do inventário em sectores de actividade.	32
Tabela 3.4 - Nomenclatura de Unidades Territoriais.....	34
Tabela 3.5 - Cenário considerado para a desagregação das emissões atmosféricas em área (2001 e 2004).	35
Tabela 3.6 - Escalas espaciais dos fenómenos atmosféricos (adaptado de Seinfeld e Pandis, 1998).	40
Tabela 3.7 - Descrição dos períodos característicos da variabilidade sazonal.	49
Tabela 3.8 - Descrição dos intervalos e classificação dos parâmetros de validação (adaptado de Park e Seok, 2007).	55
Tabela 3.9 - Características das estações de CO cujos dados foram utilizados na validação do modelo (http://www.qualar.org).	56
Tabela 3.10 - Descrição das estações de CO ₂ (http://www.esrl.noaa.gov).	59
Tabela 4.1 - Avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT com base nas previsões e observações de CO, para as estações identificadas na Fig. 3.15 (validação da componente de poluição).	68
Tabela 4.2 - Avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT (validação da componente meteorológica).	69
Tabela 4.3 - Gradiente de concentrações entre algumas estações.	72
Tabela 4.4 - Gradiente de concentrações do TAPM entre zonas.	73
Tabela 4.5 - Concentrações médias de CO ₂ e incremento percentual.	74
Tabela 4.6 - Incremento nas concentrações de CO ₂ na Zona “Águas territoriais” e para além dessa zona.	74
Tabela 4.7 - Variabilidade temporal das concentrações de CO ₂ nas estações em 2004.	75
Tabela 4.8 - Coeficiente de variação sazonal (Inverno vs Verão) das concentrações de CO ₂ nas estações desde o início da sua actividade.	76
Tabela 4.9 - Dados de pCO ₂ (água), Fluxos médios e diários do estuário do Douro	79
Tabela 4.10 - Análise aos fluxos de CO ₂ a diferentes distâncias da linha de costa.	80

Tabela 4.11 - Análise aos fluxos de CO ₂ a diferentes distâncias da linha de costa.....	81
Tabela AI 1 - Categorias, sectores e subsectores do inventário da APA.....	iii
Tabela AII 1 - Descrição de todas as fontes pontuais, localização geográfica e quantidades de poluentes emitidos (2004).....	v
Tabela AIII 1 - Descrição das maiores fontes pontuais, condições de emissão e quantidades emitidas (2004) da GAMP.....	xii
Tabela AIV 1 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais na Ilha Terceira – Açores.....	xiv
Tabela AIV 2 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais nas Ilhas Canárias – Tenerife.....	xv
Tabela AIV 3 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais em Mace Head – County Galway - Irlanda.....	xvi
Tabela AIV 4 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais no Mar Negro - Constanta – Roménia.....	xvii
Tabela AIV 5 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais em Hegyhatsal – Hungria.....	xviii
Tabela AV 1 - Concentrações médias (ppm) na Primavera.....	xx
Tabela AV 2 - Concentrações máximas (ppm) na Primavera.....	xxi
Tabela AV 3 - Concentrações médias (ppm) no Verão.....	xxii
Tabela AV 4 - Concentrações máximas (ppm) no Verão.....	xxiii
Tabela AV 5 - Concentrações médias (ppm) no Outono.....	xxiv
Tabela AV 6 - Concentrações máximas (ppm) no Outono.....	xxv
Tabela AV 7 - Concentrações médias (ppm) no Inverno.....	xxvi
Tabela AV 8 - Concentrações máximas (ppm) no Inverno.....	xxvii

Abreviaturas e Símbolos

Abreviaturas

AMP – Área Metropolitana do Porto

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CCTG – Ciclo Combinado com Turbinas a Gás

CID – Carbono Inorgânico Dissolvido

COPs – Conferência das Partes

EGM – Eurlian Gride Module

EMEP – European Monitoring and Evaluation Programme

ENSO – El Niño Southern Oscillation

EPER – European Pollutant Emission Register

EU – European Union (União Europeia)

EUA – Estados Unidos da América

FB – Fractional bias

FCA2 – The fraction of predictions within a factor of two of observations

GAMP – Grande Área Metropolitana do Porto

GCMs – Global Circulation Models

GEE – Gases com Efeito de Estufa

IA – Instituto de Ambiente

ICSU – International Council of Scientific Unions

INE – Instituto Nacional de Estatística

INERPA – Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission

IPCC – Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

LIPOR II – Central de Tratamentos de Resíduos Urbanos do Grande Porto

LPM – Lagrangian Particle Module

MG – Geometric mean bias

NAO – North Atlantic Oscillation

NMSE – Normalized mean square error

NUT – Nomenclatura de Unidade Territorial

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

pCO₂ – pressão parcial de CO₂

PIB – Produto Interno Bruto
R – Correlation coefficient
SAU – Superfície Agrícola Utilizada
TAPM – The Air Pollution Model
UNECE – United Nations Economic Commission for Europe
UNEP – United Nations Environment Programme
UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
VCI – Via de Cintura Interna
VG – Geometric variance
WCRP – World Climate Research Programme
WMO – World Meteorological Organization

Símbolos Químicos

CH₄ – Metano
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
CO₃²⁻ - Ião Carbonato
H₂CO₃ – Ácido Carbónico
HCFCs – Hidrogenoclorofluorcarbonetos
HCO₃⁻ - Ião Hidrogenocarbonato
N₂ – Azoto (molecular)
N₂O – Óxido de Diazoto (Óxido nitroso)
NO_x – Óxidos de Azoto
O₂ – Oxigénio (molecular)
O₃ – Ozono

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O presente trabalho de dissertação insere-se no Mestrado em Engenharia e Gestão Ambiental. A problemática dos gases com efeito de estufa (GEE¹), especialmente o dióxido de carbono, bem como questões ligadas ao Aquecimento Global e às Alterações Climáticas fazem parte deste trabalho, e também foram temas amplamente abordados no decorrer do primeiro ano de mestrado, tanto a nível económico, social como ambiental. Este trabalho pretende, especificamente, desenvolver alguns assuntos da temática, nomeadamente a influência de uma área metropolitana sobre as zonas costeiras, e proporcionar respostas a algumas questões sobre o dióxido de carbono intrinsecamente ligadas à área geográfica onde este mestrado foi desenvolvido.

Os GEE, em especial o dióxido de carbono, e as variações ocorridas na quantidade de emissões e nas concentrações atmosféricas, foram, nas últimas décadas, e continuam a ser, alvo de intensas análises e estudos, bem como os seus efeitos provocados no planeta.

O clima, aparentemente, está em mudança. Mas, desde o aparecimento do planeta que o clima sofreu inúmeras transformações. Geralmente, essas alterações ocorreram num espaço de tempo na ordem dos milhares de anos e, conseqüentemente, os ecossistemas tiveram tempo para se poder adaptar a essas mudanças. Hoje, as alterações, ao nível das concentrações de GEE, estão a acontecer de forma demasiado impetuosa, não deixando praticamente margem ao planeta, nem aos que nele habitam, para se adaptarem. Ainda não se consegue prever com toda a segurança as conseqüências destas profundas e aceleradas mudanças (Santos, 2006). Porém, os Modelos de Circulação Global (Global Circulation Models – GCMs) vieram dar um contributo extremamente importante no que respeita às alterações climáticas. A qualidade das previsões de possíveis climas futuros fornecidos pelos GCMs depende, em grande medida, dos cenários relativos às

¹ Fazem parte dos Gases com Efeito de Estufa o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nítrico (N₂O), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆) (IPCC, 1990).

emissões dos GEE. Estes cenários têm vindo a ser revistos, ao longo dos últimos anos, no sentido de se obterem cenários tão realistas quanto possível. Claro que ainda há um longo caminho a percorrer e estes GCMs fazem aproximações que acarretam inúmeras incertezas, nomeadamente, por exemplo, a interacção entre os subsistemas atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera (Santos, 2007).

De forma a gerir adequadamente as emissões de GEE de uma região e ser possível prever as suas consequências ambientais, importa quantificá-las e determinar a influência das mesmas nas diferentes fontes e sumidouros próximos. Um aumento local da concentração de CO₂ pode estimular a fotossíntese terrestre e aquática incrementando a produção primária e o papel de sumidouro dos organismos fotossintéticos. No entanto, os dados disponíveis tornam difícil avaliar a magnitude da variabilidade das concentrações de CO₂ a escalas geográficas regionais. Hipoteticamente, as emissões oriundas de uma área metropolitana podem aumentar de modo significativo as concentrações atmosféricas de CO₂ das zonas adjacentes, em função do regime de ventos e da estabilidade atmosférica. Se a referida área se encontrar próxima do mar, será de esperar que o referido aumento estimule a difusão de CO₂ para as águas superficiais, ou reduza a emissão de CO₂ pelas mesmas. A quantificação destes fenómenos é um passo indispensável na compreensão da influência local/regional das emissões de GEE nos ecossistemas naturais e na procura de soluções que permitam manter essa influência dentro da capacidade de carga do meio natural, por forma a prevenir o aumento de GEE na atmosfera e os seus efeitos nos ecossistemas marinhos.

1.2 Objectivos

A finalidade deste trabalho é a de contribuir para a compreensão da influência das grandes áreas metropolitanas nas trocas de CO₂ entre a atmosfera e as zonas costeiras. Em função do exposto, o principal objectivo deste trabalho prende-se com a resposta à seguinte questão:

Considerando as condições climáticas características da Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP), as emissões de GEE a partir da mesma têm um efeito significativo na

concentração de CO₂ sobre a zona costeira próxima e nas trocas de CO₂ entre o mar e a atmosfera?

Para atingir este objectivo, importa ainda atingir os seguintes objectivos parcelares:

- Quantificar as emissões de CO₂ na Grande Área Metropolitana do Porto.
- Estudar a dispersão do CO₂ produzido sobre a GAMP para a zona costeira adjacente sob diversos cenários meteorológicos.
- Estimar os fluxos de CO₂ através da interface ar-água.

1.3 Organização e estrutura do texto

O desenvolvimento do texto apresenta a seguinte estrutura: um capítulo sobre “Energia, Alterações Climáticas e Dióxido de Carbono” que aborda alguns temas relacionados com as questões energéticas, mais especificamente dos combustíveis fósseis, e retoma o tema das Alterações Climáticas; no capítulo seguinte desenvolve-se a metodologia do presente trabalho. Caracteriza-se a área de estudo, desenvolve-se a construção da base de dados de emissões, o conceito de modelação atmosférica e a sua função, bem como a noção de validação. O quarto capítulo refere todos os resultados obtidos em todo o processo metodológico e tenta-se alcançar um entendimento sobre a importância dos mesmos, no âmbito do trabalho. O último capítulo realça as conclusões e resultados mais importantes deste trabalho. Segue-se um capítulo com as referências e, posteriormente, os anexos.

2 Energia, Alterações Climáticas e Dióxido de Carbono

2.1 A escolha energética: uma questão essencial

O futuro do abastecimento energético constitui talvez o maior e mais importante desafio da humanidade para as próximas décadas. A escolha do tipo de energia que irá “alimentar” toda a população será uma questão fundamental para o planeta enquanto sistema biológico.

Em todos os países a questão energética é um tema que preocupa qualquer governo. Hoje é inegável a relação entre o progresso e o consumo de energia.

Desde os primórdios da história que a procura por novas formas de energia conduziu a uma evolução tecnológica. Era notória a preferência dos homens primitivos por caçar animais de grande porte. Assim, as calorias necessárias para caçar eram facilmente compensadas por um grande pedaço de carne. A partir de certa altura, passou-se de uma economia de caça para uma economia agrícola. Os homens perceberam que a agricultura oferecia mais vantagens nessa relação entre consumo e aquisição de energia. A partir dessa época as comunidades prosperaram. Mas este desenvolvimento conduziu a um crescimento populacional. Os homens compreenderam também que o fogo poderia ser um sinónimo de evolução (Price, 1995). Então, começou a utilizar-se a madeira como combustível. Porém, a população continuava a crescer e isso implicou a destruição de cada vez mais floresta. Uma vez que as florestas iam recuando, ano após ano, tornou-se imperativo ir cada vez mais longe buscar mais lenha para um número cada vez maior de pessoas. As novas invenções fizeram disparar ainda mais as necessidades energéticas. Com o surgimento da era dos metais, a madeira começa a escassear, pois era necessário enormes quantidades de madeira para fabricar as peças de ferro, bronze, etc. (Price, 1995). Eis que surge uma nova fonte energética, com melhores respostas para as necessidades da população – o carvão. É nesta altura que se chega à Revolução Industrial (meados do século XVIII). Aliás, sem o carvão a Revolução Industrial não teria sido possível. Com esta fonte energética prosperaram as fábricas, as máquinas, as linhas de caminho-de-ferro, os engenhos a vapor, os grandes navios. Esta nova fonte de energia não trouxe apenas mais aquecimento e mais transportes. Trouxe mais comida, mais roupas, mais máquinas, etc. Todavia, entrou-se num ciclo devorador.

Quanto mais se produz, maior é a quantidade de energia necessária. E quanto mais energia se tem, mais coisas se podem produzir. O carvão, sem dúvida, viabilizou a Revolução Industrial, mas apresentava, e ainda apresenta, graves inconvenientes. Era, e ainda é, extremamente poluente. O ar nas cidades tornou-se negro e quase irrespirável. Para além disso, os novos processos industriais pediam maiores quantidades de energia (Rhodes, 2007)

Na viragem do século XIX para o século XX, em resposta a uma procura crescente de energia, o petróleo começou a ser utilizado em larga escala. É bom salientar que o petróleo já muito antes desta época era utilizado. E já se conhecia a sua facilidade de combustão. Porém, achava-se que este existia em muito pequenas quantidades (Alveal, 2003). A partir de 1901, com a descoberta de uma jazida enorme de petróleo, após uma perfuração num pequeno monte chamado Spindletop, no Texas, surgiu uma nova era no mercado energético (Carstens, 2008).

O grande salto a nível industrial até aos dias de hoje foi efectivamente dado com o uso dos combustíveis fósseis.

Apesar do ênfase da evolução tecnológica ser dado às energias de cariz fóssil, convém salientar que alguns tipos de energias renováveis como por exemplo, a energia eólica (antes com os moinhos de vento) e a energia hidráulica (antes com as rodas de água), que nos dias de hoje são amplamente abordadas, no sentido que contrariar a tendência sistemática do uso dos combustíveis fósseis, eram já utilizadas pelos nossos antepassados, de modo a libertar o homem do trabalho físico (Rossoni, 2003).

A economia de todo o século XX até aos dias de hoje encontra-se assente fundamentalmente no consumo de combustíveis fósseis, como é o caso do petróleo, carvão e gás natural, sendo predominante o uso do primeiro. Este aspecto condiciona bastante o crescimento económico de muitos países. Ao longo do século XX, a economia mundial enfrentou três graves crises energéticas, entrando mesmo em recessão. Existem alguns especialistas que afirmam que neste momento a economia voltou a um estado de relativo abrandamento. Estas recessões aconteceram em 1973, durante o embargo árabe, em 1979, durante a revolução iraniana, e em 1990, durante a guerra do Golfo. Nestas três situações, a produção de petróleo sofreu quebras abruptas e os preços aumentaram exponencialmente. Economias tão dependentes do petróleo ressentem-se quando acontece uma escalada demasiado grande nos preços deste

combustível fóssil. Porém, o preço do petróleo tem estado quase sempre estabilizado. Alguns especialistas afirmam que quando a produção de petróleo ultrapassar o pico as economias sofrerão um enorme e grave revés (Hejny & Nielsen, 2003).

Nos últimos anos, a procura de petróleo tem vindo a aumentar. Dados relativos às reservas dos campos petrolíferos, sobretudo os não-OPEP², obrigaram os países mais industrializados a procurar novos locais de produção. Para além disso, a entrada em cena de economias como a China e a Índia, intensificou ainda mais essa procura (Ribeiro, Coelho & Nunes, 2001). São estes e outros dados que regulam esta fonte energética e influenciam amplamente todas as economias mundiais.

Sabendo que os combustíveis fósseis são uma fonte energética finita e que as reservas podem estar a ultrapassar a capacidade de manter a produção nos níveis actuais, de modo a satisfazer a economia mundial, convém que os países olhem para novas formas de abastecimento energético.

Não se pode esquecer que no século XIX grande parte da energia era obtida a partir do carvão. Todavia, perceberam-se os graves problemas que a queima deste combustível originava no ambiente. Actualmente, fala-se na “coal clean technology”, ou seja, na tecnologia limpa de carvão, de modo a garantir níveis de poluição aceitáveis. A descoberta de novos e grandes campos de petróleo, com destaque para os campos da Arábia Saudita, proporcionou a mudança, pois a queima de todos os combustíveis que se podem obter a partir do petróleo bruto é menos poluente. Todavia, as quantidades queimadas de petróleo e outros combustíveis fósseis foram tantas que aumentaram significativamente as concentrações de GEE, como referem as informações e os estudos elaborados pelo Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Inúmeras sugestões têm sido feitas no sentido de se procurar novas fontes energéticas capazes de poderem “alimentar” a economia mundial, sem que esta sofra retrocessos. As energias renováveis têm sido apontadas como um caminho alternativo. Porém, estas estão sempre dependentes de incontornáveis factores climáticos, como por exemplo, vento, sol, caudais de água nos rios, etc. Estes tipos de energias, pelos aspectos referidos

² Não-OPEP significa os países fora da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Fazem parte da OPEP os países: Angola, Argélia, Líbia, Nigéria, Venezuela, Equador, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Irão, Iraque, Kuwait, Qatar e Indonésia.

podem ajudar a reduzir a utilização de combustíveis fósseis, mas não podem substituir integralmente os mesmos, com base na tecnologia actual.

Um dos grandes desafios que todos os países enfrentam ou vão enfrentar será o de diminuir o consumo de combustíveis fósseis, através de uma utilização mais eficiente da energia primária, do desenvolvimento das energias renováveis, da utilização da energia nuclear e através do desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias de produção de energia, como a fusão nuclear e os biocombustíveis.

2.2 Alterações Climáticas e o papel do Dióxido de Carbono

2.2.1 Evolução da problemática

Como se sabe, os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) constituem a fonte energética na qual assenta a economia mundial. A queima de combustíveis fósseis, bem como a mudança do uso do solo, constituem as fontes principais das emissões de dióxido de carbono (IPPC, 2007).

Questões ambientais como as Alterações Climáticas começaram a ser estudadas, com maior ênfase no final da década de 1970, pois a comunidade científica e alguns governos entenderam que haveria necessidade de intensificar e aprofundar o desenvolvimento da investigação nesta área.

Em 1979, o Conselho Internacional para a Ciência (ICSU – International Council of Scientific Unions) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO - World Meteorological Organization) criaram o Programa de Investigação Mundial do Clima (WCRP - World Climate Research Programme), que desde 1993 também é patrocinado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC - Intergovernmental Oceanographic Commission) da UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (Jarraud, 2006).

As preocupações sobre as consequências do aumento da concentração atmosférica de GEE tornaram-se cada vez mais generalizadas. Em 1985, realizou-se a Conferência Internacional sobre a Avaliação do Papel do dióxido de carbono e de outros gases com

efeito de estufa nas variações climáticas e impactos associados, por iniciativa da ICSU, WMO e do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP – United Nations Environment Programme), que alertou os decisores políticos, de uma forma incisiva, para a problemática do aquecimento global. Os resultados desta conferência evidenciaram a necessidade de aprofundar a investigação numa questão de interesse global (IPCC, 2004).

Em 1988, o UNEP criou o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), para analisar o impacto das mudanças climáticas. Governantes e cientistas reúnem-se em Toronto, no Canadá, para discutir o tema. Em consequência, em 1990, os cientistas informam, por meio do IPCC (IPCC, 1990), que seria necessário reduzir as emissões de dióxido de carbono na atmosfera. A ONU passou, então, a discutir a criação de uma Convenção sobre Mudança Climática.

Em 1992, 154 países assinam a Convenção-Quadro sobre Mudança Climática na Eco-92, no Rio, que estabelece a UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Nesta conferência, chega-se à conclusão de que as mudanças climáticas são fruto da interferência humana. Em 1995 é realizada a primeira Conferência das Partes (COPs), em Berlim, na Alemanha, onde é proposto um protocolo de decisões sobre as obrigações listadas na Convenção. O principal documento desta conferência foi o Mandato de Berlim. Na segunda Conferência das Partes, realizada em 1996, em Genebra, aceita-se o estabelecimento de prazos e limites obrigatórios para a redução de emissões de GEE (UNFCCC, 2002).

Em Dezembro de 1997, realizou-se, então, em Quioto, no Japão, uma das conferências mais importantes sobre ambiente (3ª Conferência das Partes), da qual surgiu o Protocolo de Quioto. Nessa conferência, a maior parte dos países desenvolvidos assumiu um compromisso solene de, entre 2008 e 2012, reduzir as emissões globais de CO₂ para valores inferiores aos de 1990. Nessa altura, havia sinais de que o planeta estava a aquecer, isto é, as temperaturas estavam gradualmente a aumentar devido à queima de combustíveis fósseis e o Protocolo de Quioto assinalou a vontade internacional de controlar a situação (Baliunas, 2002).

Porém, alguns cientistas e peritos que participaram nessa conferência perceberam que para muitos países, o Protocolo de Quioto não teria o efeito que os especialistas pretendiam. Alguns países evitaram comprometer-se com medidas específicas que

envolvessem custos. Porém, as intenções, como pode ser observado no próprio Protocolo de Quioto, eram significativas. Por exemplo, ficou assumido que a União Europeia se comprometia a reduzir as emissões em oito por cento, o Japão em seis por cento e os Estados Unidos, que são o maior emissor de CO₂ do planeta, em sete por cento (United Nations, 1998).

Mas o Protocolo de Quioto pressupunha alguns problemas, dos quais se destacam três. O primeiro estava (e ainda está) nos Estados Unidos da América (EUA). Para este país, cortar significativamente nas emissões de dióxido de carbono significa alterar profundamente três sectores de actividade na qual assenta a economia americana: a indústria petrolífera, a indústria automóvel e a indústria do carvão (DPP, 2008). Os EUA praticamente desistiram do protocolo e enveredaram por outro caminho. Investiram, então, na procura de tecnologia suficientemente avançada de modo a tornar os processos mais eficientes e capaz de reduzirem as emissões de GEE. Para os EUA, o Protocolo de Quioto não conduz a uma solução a longo prazo (Austrian United States Embassy, 2001). O segundo problema era a Rússia (Bernard et al., 2003). O Aquecimento Global e as suas consequências poderão ser uma catástrofe para inúmeros países, mas, em certa medida, poderão ser vistos como vantagens para países com climas muito frios. Os russos poderão ter vantagens económicas, agrícolas e energéticas nas vastas regiões da Sibéria. O aumento da temperatura global poderá conduzir a grandes modificações na tundra, com a migração para norte de algumas centenas de quilómetros do limite sul do *permafrost*³ (Ferreira, 2002, van der Molen et al., 2007). Será, à partida, mais fácil e mais económico explorar o petróleo russo do Ártico. A camada de gelo ficará mais fina e as perfurações para extrair o petróleo tornar-se-ão mais simples. O petróleo e o gás natural corresponderam, em 2006, a cerca de dois terços das exportações da Rússia (ICEP, 2007) e este país é o segundo maior emissor mundial de dióxido de carbono, se se excluírem países emergentes como a China e Índia, e considerando os países da União Europeia (EU) isoladamente (MNP, 2007). O Protocolo de Quioto saiu do impasse em que estava mergulhado, em 2004, com a adesão da Rússia. Até então, apesar da adesão de 127 países, a soma de emissões era de apenas de 44% do total mundial. Com a Rússia, esse índice ultrapassou o mínimo exigido de 55% (Egelston, 2003). A entrada da Rússia, apesar de comemorada, põe em

³ Permafrost: solo permanentemente gelado, que começa a uma profundidade de alguns centímetros e se prolonga até 1 metro ou mais

evidência a questão do impacto do protocolo nas economias, motivo pelo qual a Austrália também se mantém de fora do acordo. O protocolo entrou em vigor a 16 de Fevereiro de 2005 (UNFCCC, 2005). A terceira dificuldade é também, sem dúvida, de extrema importância. O Protocolo de Quioto conferiu obrigações aos países mais industrializados, que são quem emite a maior parte do CO₂ que está a causar o Aquecimento Global, mas “ignorou” os países em vias de desenvolvimento, tais como a China e a Índia. Os próprios EUA, que não pretendiam “pagar” parte da factura que o Protocolo de Quioto imputava aos países industrializados por terem de reduzir as emissões de GEE, chamaram à atenção para este facto (Austria United States Embassy, 2001).

Nos países mais industrializados a relação economia e energia é perfeitamente evidente. Esta relação é algo a que o cidadão comum europeu ou americano não dá muita relevância pois, por exemplo, um simples ligar de televisão é um acto completamente natural, mas nos países mais pobres esta consciência está presente todos os dias. Contudo, estes poderão adoptar práticas de crescimento económico em tudo idênticas às dos países mais industrializados pois, para eles, o caminho para sair das situações de pobreza em que estão mergulhados é o mesmo que conduziu ao desenvolvimento dos países mais industrializados, não pensando sequer na factura ambiental. Para além disso, as empresas e organizações que cooperam com os países menos industrializados ou que trabalham nestes países (caso de Angola) seguem, muitas vezes, práticas comuns às que utilizavam nos países mais industrializados.

Nos últimos anos, alguns países da América Latina, a China e a Índia deram sinais de franco crescimento económico. A China é, neste momento, um dos países com maior crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), que ronda os 10-11% (IndexMundi, 2008). Durante décadas, a China olhou com desprezo para a indústria automóvel. A maior parte da população andava a pé ou de bicicleta e a pobreza era generalizada. Porém, após a morte do líder da Revolução Chinesa, Mao Tsé Tung, ocorrida em 1976, uma nova liderança, com Deng Xiaoping, surgiu neste país. Esta liderança percebeu que precisava de gerar crescimento económico e o país começou a valorizar o que antes desprezava. Os chineses começaram a produzir e a comercializar automóveis pela primeira vez em 2002. Todos os anos existem mais automóveis na China, bem como novas multinacionais a entrarem no mercado e na economia chinesa. E o sector

automóvel é apenas um exemplo, pois a China entrou em força em praticamente todos os mercados, incluindo telecomunicações, construção civil, etc. (Desai, 2003).

A Índia, com uma história bastante diferente da chinesa, apresenta hoje em dia um crescimento económico, que apesar de ligeiramente inferior, acompanha a subida que a economia chinesa tem vindo a apresentar (Virmani, 2005).

Um dos grandes problemas da actualidade é que a economia dos países em vias de desenvolvimento, como a China, a Índia e os países da América Latina, se baseia igualmente no consumo de combustíveis fósseis. A China, por exemplo, é actualmente um dos maiores consumidores de energia do mundo. Os chineses entraram em força no mercado de consumo de petróleo, desequilibrando a oferta e a procura, e estão a investir fortemente no carvão, o combustível fóssil que maior quantidade de gases com efeito de estufa emite (Bradsher e Barboza, 2006).

Os três problemas anteriormente referidos fizeram e ainda fazem com que o Protocolo de Quioto não tenha a “força” que provavelmente se desejaria, de modo a se poder enfrentar os problemas do Aquecimento Global e das Alterações Climáticas.

Em 2001, o IPCC publicou o terceiro relatório sobre Alterações Climáticas. Este relatório alertava para as graves consequências resultantes das alterações do clima. Porém, estas alterações eram apenas “prováveis”. Estas afirmações levaram alguns políticos a não interpretarem o relatório com a devida seriedade (IPCC, 2001). Mas, em 2007, com a publicação do quarto relatório sobre Alterações Climáticas, o painel intergovernamental e os decisores políticos concordaram, então, que as variações observadas no clima, ao longo do século XX e início do século XXI, têm uma contribuição significativa dos GEE emitidos pela humanidade, e “colocaram” um ponto final num impasse que já durava há bastante tempo (IPCC, 2007). Com esta decisão poder-se-á progredir no sentido de se minimizarem, ou não se agravarem, fenómenos que podem contribuir para as alterações climáticas, como se pode analisar no capítulo seguinte.

2.2.2 O problema do aumento da concentração atmosférica de CO₂

A procura energética, o consumo de energia a partir de combustíveis fósseis e as emissões de dióxido de carbono estão profundamente interligados, e não se têm verificado sinais de significativo abrandamento. O sector energético, não só ligado ao petróleo, mas também a outras formas energéticas, com a “entrada” de países com economias emergentes (casos da China e Índia), tem observado, ao longo dos anos, uma escalada na procura. As emissões de CO₂ de origem antropogénica resultam essencialmente da combustão de petróleo, gás natural e carvão – combustíveis fósseis – e das alterações no uso dos solos, em especial a desflorestação. O aumento da procura e consequente uso de combustíveis fósseis interferem e conduzem a um aumento das emissões e da concentração atmosférica de CO₂, que se tem verificado ao longo das últimas décadas. Actualmente, é aceitável por muitos a relação entre o Aquecimento Global, intrinsecamente ligado ao aumento das concentrações de GEE, em especial o dióxido de carbono e metano (CH₄), e as Alterações Climáticas, relação essa que pode ser analisada no quarto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2007).

A temática das alterações climáticas está na ordem do dia, cada vez mais pelas consequências observadas no clima, às quais os meios de comunicação social conferem uma maior importância, apesar de já no final do século XX esta temática ter sido bastante abordada.

O clima tem sofrido alterações desde o início da história deste planeta. Porém essas variações assumem-se como naturais, ou seja, não tiveram contribuição humana, pois o registo dos primeiros homínidos data de há cerca de cinco milhões de anos atrás. Ao longo da formação da Terra, existiram eras glaciares com formação de extensas camadas de gelo nas regiões polares seguidas de eras em que essas camadas se fundiram completamente (Markgraf, 2001).

A presença de gelos permanentes no Ártico e Antárctida caracteriza o “período” interglaciar. Tem havido uma alternância entre “períodos” glaciares frios e “períodos” interglaciares relativamente quentes, com uma periodicidade da ordem de 100 000 anos. Actualmente estamos num “período” interglaciar que teve início há cerca de 12 000 anos e no qual a temperatura média global é cerca de 5 a 7 °C mais elevada do que no último período glacial (EPICA, 2004). Situações climáticas ocorridas desde os períodos

de formação da Terra encontram-se identificadas, podendo ocorrer alguma divergência nos intervalos de tempo estimados entre as mesmas, devido a diferentes metodologias de datação. Algumas causas naturais para estes factos, identificadas pelos chamados ciclos de Milankovitch, são, por exemplo, pequenas variações na excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol, o movimento de precessão⁴ do eixo da terra e da variação na inclinação desse eixo relativamente à elíptica. Períodos de intensa actividade vulcânica também interferem em factores que podem conduzir a transformações no clima (Jahn, 2005). Outras causas são os ciclos Dansgaard-Oeschger (mudanças bruscas nos valores da razão dos isótopos de oxigénio, ^{18}O e ^{16}O) com duração relativamente curta, da ordem de 500-2000 anos, e os eventos Heinrich (mudanças bruscas do ritmo climático que surgem na parte final de prolongadas fases frias) com uma frequência menor que os ciclos de Dansgaard-Oeschger. O brusco e acentuado arrefecimento “Younger Dryas”, ocorrido há cerca de 12 700 anos, será um exemplo de um evento Heinrich. As variações orbitais expressas na teoria de Milankovitch apenas conseguem explicar os ciclos climáticos de longa duração, na ordem das dezenas de milhares de anos. Os fenómenos conjugados oceano-atmosfera como o ENSO (El Niño Southern Oscillation) e o NAO (North Atlantic Oscillation) são algumas oscilações climáticas de curta duração, de alguns anos ou decénios (Ferreira, 2002).

As causas não naturais, ou de origem antropogénica, sobrepostas às causas naturais, conduziram aos intensos estudos que se têm efectuado para se perceber as variações dos fenómenos no clima. Estes estudos só poderão ter sucesso quando se perceber a variabilidade natural do clima a todas as escalas de variabilidade climática mostradas pelos eventos do passado. Só compreendendo esses eventos poderemos antecipar as condições futuras com alguma confiança. A observação cuidada dos registos climáticos por ordem cronológica, dos mais antigos para os mais recentes, e ainda às várias escalas temporais a que o clima tem variado ao longo dos tempos, permite examinar a forma como o sistema climático respondeu no passado a variações importantes dos agentes

⁴ Em termos gerais é um movimento comparado ao movimento de um pião quando este é lançado sobre uma mesa. Neste, além do movimento de rotação em torno do eixo, o próprio eixo de rotação não tem uma direcção fixa e descreve um cone com vértice no bico do pião. De modo análogo, o eixo de rotação da Terra não tem uma direcção fixa e descreve uma superfície cónica com vértice no centro da Terra. O eixo dessa superfície cónica é a recta unindo os pólos da eclíptica. Assim, o pólo norte celeste descreve uma trajectória circular. Trata-se de um movimento muito lento, com um período de 25.800 anos.

forçadores do clima e avaliar como é que esse mesmo sistema pode vir a responder às grandes alterações previsíveis dos agentes.

Em média, cerca de 75% das emissões antropogénicas de CO₂ nos últimos 20 anos resultaram da combustão de combustíveis fósseis. O restante teve origem principalmente nas alterações no uso dos solos, em especial a desflorestação (IPCC, 2001). Os GEE absorvem a radiação infravermelha emitida sobretudo pela superfície da Terra, como se explicará no subcapítulo seguinte. Aqueles cujas emissões antropogénicas são significativas são: CO₂, CH₄, N₂O, e HFCs. Destes o mais importante é o CO₂ dado que as emissões antropogénicas deste gás produzem cerca de 60% do forçamento radiativo⁵ médio global do conjunto das emissões antropogénicas de GEE (Santos, 2006). Todavia, os GEE desempenham um papel crucial no equilíbrio radiativo da atmosfera. A sua presença provoca um efeito de estufa natural que aumenta a temperatura média global desde -18 °C para os actuais 15 °C, compatível com a existência de água no estado líquido e de vida. Quando se aumenta a concentração dos GEE na troposfera, a temperatura média global tende a subir, pois a radiação infravermelha não se consegue libertar ao mesmo ritmo. Esta relação entre a concentração atmosférica de GEE e a temperatura média global da troposfera está muito bem fundamentada em leis da Física (ex.: Lei de Stefan-Boltzmann) e em características bem conhecidas da troposfera. Considere-se, então, a origem dessa relação e, para isso, relembre-se a concentração atmosférica de CO₂ de 280 ppmv (partes por milhão em volume), valor da concentração em 1750 (IPCC, 2001). Imagine-se, então, que este valor duplicava. O perfil da temperatura na troposfera implica que quando se sobe em altitude a temperatura baixa. De acordo com as leis físicas da emissão e absorção de radiação electromagnética, a quantidade de radiação emitida por um corpo, que se comporta aproximadamente como um corpo negro (Lei de Stefan-Boltzmann), conforme é o caso da atmosfera, diminui com a sua temperatura. Logo, ao duplicar a concentração de CO₂, a quantidade de radiação infravermelha emitida para o espaço

⁵ Perturbação do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera (em Wm⁻²) em seguida, por exemplo, a uma mudança da concentração de dióxido de carbono ou uma mudança da radiação do Sol; o sistema climático responde a um forçamento radiativo de modo a restabelecer o balanço de energia. Um forçamento radiativo positivo tende a aquecer a superfície e um forçamento radiativo negativo tende a esfriar a superfície. O forçamento radiativo é normalmente citado como um valor médio global e anual. Uma definição mais precisa do forçamento radiativo, utilizada nos relatórios do IPCC, é a perturbação do balanço de energia do sistema superfície-troposfera, após permitir que a estratosfera se reajuste a um estado de equilíbrio radiativo médio global (ver Capítulo 4 do IPCC (1994)).

diminui, o que altera o balanço radiativo da Terra. Ou seja, a quantidade total da radiação emitida pela Terra passaria a ser menor do que a quantidade total de radiação recebida do Sol. Para compensar este défice, a temperatura da troposfera aumenta e, conseqüentemente, ao encontrar-se a uma temperatura mais elevada, o CO₂ emite mais radiação infravermelha para o espaço. Este é o mecanismo essencial do aquecimento global provocado por um aumento da concentração dos GEE na atmosfera (Santos, 2007).

Salienta-se que existem cientistas (Laherrere, 2007) que defendem que o aquecimento global não está directamente ligado ao aumento das concentrações de CO₂ devido, essencialmente, às actividades humanas, pois apresentam muitas reservas sobre quais serão as principais causas desse aumento, se as causas naturais ou as causas antropogénicas.

Todavia, os vários relatórios do IPCC (IPCC, 1990, IPCC, 1995; IPCC, 2001; IPCC, 2007) confrontam o aumento da temperatura, resultante do aumento da concentração de GEE, com as possíveis conseqüências para o planeta. Os efeitos resultantes serão o aumento da frequência de fenómenos climáticos extremos, especialmente secas, períodos de precipitação muito intensa e ciclones tropicais, variações regionais dos regimes de precipitação, aumento da temperatura superficial dos oceanos, subida do nível médio do mar, degelo dos glaciares e campos de gelo das montanhas e dos gelos das calotes polares. Mas, não menos importante será perceber o que estes fenómenos causarão nos paradigmas sociais e económicos.

Reduzir as emissões globais de GEE é um caminho que se torna cada vez mais imperioso. Todavia, conseguir este objectivo é extremamente árduo e depende, obviamente, de uma concertação internacional. O papel do CO₂, no seio dos GEE, é, sem dúvida, de particular importância. Diminuir a interferência antropogénica sobre o ciclo do carbono ao nível das fontes é um caminho difícil de alcançar.

Os sumidouros de CO₂ adquirem, então, uma importância, que é incontornável. Por sumidouros pode entender-se a sequestração biológica através da florestação, da reflorestação e de práticas agrícolas que favorecem a fixação do carbono, a sequestração geológica do CO₂ produzido na combustão de combustíveis fósseis em centrais térmicas (Houghton, 2007), e a sequestração oceânica através da “oceanic biological pump” (Golomb et al., 2007), tema que se desenvolverá no subcapítulo 2.5.

2.3 Efeito de Estufa

Este fenómeno é muitas vezes descrito de forma ambígua e importa, assim, ser explicado com algum detalhe, pois é um fenómeno ligado ao aquecimento global.

Chama-se normalmente efeito de estufa à influência do CO₂ na temperatura da Terra. Um dos exemplos clássicos para abordar este tema é o “telhado de vidro” de uma estufa. O telhado de vidro de uma estufa transmite radiação visível. No entanto, absorve uma parte da radiação infravermelha reflectida a partir do interior da estufa não a deixando escapar para o exterior, consequentemente aprisionando o calor. O dióxido de carbono actua como um telhado de vidro embora o mecanismo de aumento de temperatura seja diferente no caso do CO₂ atmosférico e no da estufa. Na estufa, o aumento de temperatura é sobretudo devido à circulação restrita do ar no seu interior (Chang, 1994).

A energia solar recebida pela Terra distribui-se ao longo de uma gama de comprimentos de onda entre 100 e 5000 nm. No entanto, grande parte desta energia está concentrada na gama de 400 a 700 nm, que constitui a região visível do espectro. Contrastando com isto, a energia emitida pela superfície terrestre é caracterizada por possuir comprimentos de onda superiores a 4000 nm (região do infravermelho) devido à muito menor temperatura média da superfície da Terra (Chang, 1994).

Note-se que todos os corpos emitem radiação, desde que apresentem temperatura superior ao zero (0) absoluto. Há uma proporcionalidade inversa entre o comprimento de onda máximo e a temperatura do corpo, conforme comprovou Wilhelm Wien através da equação: $\lambda_{\text{máx}} \times T = 2,898 \times 10^{-3}$ (S.I.).

A radiação infravermelha reflectida pela superfície pode ser absorvida pelo vapor de água e dióxido de carbono, mas não pelo azoto (N₂) ou pelo oxigénio (O₂). Este facto deve-se a diferenças na vibração molecular (Chang, 1994).

A radiação é absorvida praticamente de forma total quando a sua frequência quase se iguala à frequência do movimento interno de uma molécula que venha a encontrar. Todas as moléculas vibram, mesmo quando se encontram a baixa temperatura. Tal como acontece com as energias electrónicas dos átomos e moléculas, as energias associadas à vibração molecular estão quantizadas. Para que a energia de vibração de

uma molécula possa aumentar, esta tem de absorver um fóton⁶ de comprimento de onda específico na região do infravermelho. Para além disso, para que a transição possa ocorrer, é necessário que o valor do seu momento dipolar varie no decurso da vibração. Se a molécula for homonuclear como o N_2 e o O_2 , não é possível haver variação do momento dipolar; a molécula tem um momento dipolar nulo qualquer que seja a distância a que se encontram os dois átomos. Estas moléculas dizem-se inactivas no infravermelho porque não podem absorver este tipo de radiação. Por outro lado, todas as moléculas diatómicas heteronucleares são activas no infravermelho; todas elas podem absorver esta radiação porque os seus momentos dipolares mudam constantemente à medida que os comprimentos de ligação variam no decorrer de uma vibração. Uma molécula poliatômica pode vibrar de mais do que uma maneira. A água, por exemplo, pode vibrar de três formas diferentes (Figura 2.1).

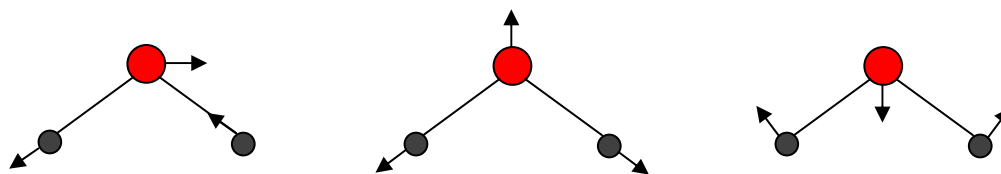


Figura 2.1 - Os três diferentes modos de vibração de uma molécula de água

Por ser uma molécula polar, é fácil de ver que qualquer destas vibrações causa uma variação do momento dipolar porque há uma variação no comprimento das ligações. Assim sendo, a molécula de H_2O é activa no infravermelho. O dióxido de carbono tem uma geometria linear e é apolar. Pode vibrar de três formas diferentes (Figura 2.2).

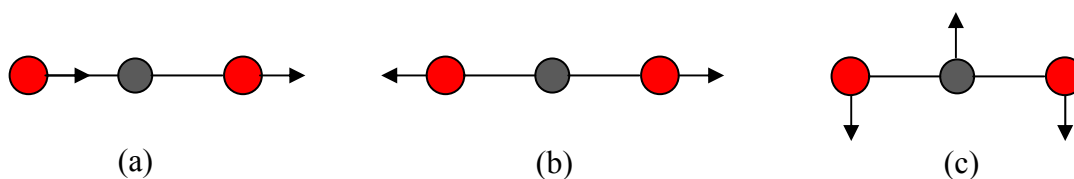


Figura 2.2 - Os três diferentes modos de vibração de uma molécula de dióxido de carbono

Numa dessas formas (Figura 2.2 (b)), os átomos terminais deslocam-se sempre simetricamente em relação ao centro de gravidade, não havendo assim criação de um momento dipolar. Pelo contrário, nas outras formas de vibração (Figura 2.2 (a) e (c)), o

⁶ Partícula de luz

momento dipolar varia de zero até um valor máximo numa direcção e depois passa novamente por zero até alcançar o mesmo valor máximo quando mudar para a outra posição extrema. Assim, esta vibração é activa no infravermelho. Ao receber um fóton na região do infravermelho, as moléculas de H₂O ou CO₂ são promovidas a um nível de energia vibracional mais elevado (excitado). Estas moléculas energeticamente excitadas perdem depressa o excesso de energia, quer por colisão com outras moléculas quer por emissão espontânea de radiação. Parte desta radiação é emitida para o espaço exterior e parte dela retorna à superfície da Terra (Baird, 2002).

Embora a quantidade total de vapor de água na atmosfera não se tenha alterado significativamente ao longo dos anos (Baird, 2002), a concentração de dióxido de carbono tem vindo a aumentar constantemente, pelas inúmeras situações já abordadas nos subcapítulos anteriores. Similarmente, foi referido que o CO₂ não é apenas o único gás com efeito de estufa. Conjuntamente com o CO₂, os gases promotores do efeito de estufa incluem os HCFCs, o CH₄, o óxido nitroso (N₂O), etc.

2.4 Condições de dispersão dos poluentes na atmosfera

A dispersão dos poluentes na atmosfera é um factor importante no âmbito deste estudo. Lembra-se que um dos objectivos é estudar a dispersão do CO₂ produzido sobre a GAMP para a zona costeira adjacente sob diversos cenários meteorológicos.

A atmosfera apresenta variações ao nível da temperatura, pressão, densidade e composição química em função da altitude, que condicionam a sua estrutura e a sua dinâmica. Na zona mais baixa da atmosfera (troposfera) é onde está concentrada cerca de 80% da massa do ar. Devido ao seu grande volume de ar, a atmosfera e, principalmente, a troposfera consegue absorver e dispersar compostos químicos com relativa facilidade. A dispersão deve-se fundamentalmente aos movimentos de ar, estes condicionados por alguns factores como, por exemplo, a estabilidade atmosférica, os gradientes térmicos e a turbulência.

Como refere Silva (2003), *estabilidade atmosférica é a tendência que o ar atmosférico apresenta para diminuir ou aumentar o movimento vertical ou, alternativamente,*

suprimir ou ampliar a turbulência existente. Este factor permite aferir sobre a capacidade que a atmosfera pode apresentar na dispersão dos compostos químicos. O gradiente vertical de temperatura permite avaliar a estabilidade da atmosfera. Conclui-se, então, que variações significativas de temperatura em altitude afectam a estabilidade atmosférica, a movimentação das massas de ar e, conseqüentemente, a dispersão dos compostos químicos.

A dispersão dos compostos químicos ocorre fundamentalmente na chamada “camada limite atmosférica”. A camada limite é a parte da troposfera que é directamente influenciada pela presença da superfície da Terra. Podem influenciar esta camada características como, por exemplo, o relevo, os obstáculos, a turbulência. A altura da camada limite atmosférica pode apresentar variações significativas, dependendo de factores como a pressão atmosférica, o fotoperíodo, etc. É, em regra, menos espessa sobre os oceanos, do que sobre os continentes; nas zonas das altas pressões, do que nas zonas de baixas pressões e durante a noite. Esta variabilidade diurna, conjuntamente com a frequência relativamente elevada da turbulência perto do solo, são características que distinguem a camada limite do resto da atmosfera (Stull, 1988).

Os factores térmico e mecânico influenciam a turbulência da camada limite. O factor térmico provém de um aquecimento diferencial da superfície terrestre, devido às irregularidades existentes. O factor mecânico é devido à fricção do arrasto do escoamento atmosférico sobre o chão causando o desenvolvimento dos efeitos de corte, que se tornam turbulentos. Em algumas zonas, a variabilidade das propriedades da superfície faz com que possa ser gerada uma circulação organizada, capaz de afectar o clima local. Essas circulações organizadas são designadas por brisas e têm, em regra, origem em fortes variações das propriedades à superfície, tais como a vegetação e a orografia. O exemplo mais familiar destas circulações é a brisa marítima. Durante o dia, o solo aquece devido à radiação solar, enquanto no oceano esse aquecimento é feito de uma forma mais lenta, devido à sua grande capacidade calorífica e à evaporação. Assim, a temperatura do ar sobre o continente tenderá a ser mais elevada do que sobre o oceano, logo, o ar quente tenderá a subir e deslocar-se-á na direcção do mar, enquanto o ar que existe sobre o oceano deslocar-se-á junto à superfície, em direcção à terra, fechando a circulação. Durante a noite acontece o inverso, existirá uma brisa terrestre, isto é, o ar existente sobre o oceano tenderá a subir e a deslocar-se para o continente, enquanto que o ar localizado no continente deslocar-se-á, junto à superfície, em

direcção ao oceano. Isto acontece devido à capacidade do oceano de conservar o calor obtido durante o dia, logo, este arrefecerá lentamente, enquanto a superfície terrestre arrefece bastante mais depressa (Stull, 1988).

Para um estudo aprofundado da dispersão dos compostos químicos é igualmente importante conhecer o regime de ventos, ou seja, como, em que direcção e com que velocidade se deslocam as massas de ar. Analisar a persistência do vento numa determinada direcção é fundamental para a análise das condições de dispersão. A velocidade e a variabilidade da direcção do vento são factores condicionantes na maior ou menor dispersão dos constituintes da atmosfera (Silva, 2003).

2.5 O papel do oceano como sumidouro de CO₂

Globalmente, o oceano é o maior sumidouro de CO₂. Todavia, como conclui Oliveira et al. (2006) o papel dos mares e das áreas costeiras no ciclo global do carbono é mal compreendido.

O CO₂ é um gás diferente de outros gases, como por exemplo, o O₂. A quantidade de CO₂ presente na atmosfera representa cerca de 1,5% e nos oceanos cerca de 98,5% (Marinov e Sarmiento, 2004).

O carbono existe em todo o planeta em vários reservatórios e numa variedade de formas. Esses reservatórios podem ser o oceano, como se referiu, a atmosfera e a biosfera. As trocas existentes entre estes reservatórios correspondem ao denominado ciclo do carbono. A fotossíntese constitui o processo de fixação de CO₂ pela biosfera. Este pode ser incorporado a partir da atmosfera, pelas plantas terrestres, ou depois de se dissolver na água, pelas plantas aquáticas. O dióxido de carbono dissolvido pode ser libertado novamente na atmosfera, dependendo do nível de saturação das águas superficiais e da pressão parcial do mesmo na atmosfera. Embora, a absorção de CO₂ por unidade de área à superfície dos oceanos seja mais baixa do que na maioria dos sistemas terrestres, a absorção biológica oceânica é quase tão grande como no ambiente terrestre. Isso ocorre porque a superfície dos oceanos é muito grande (Baird, 2002).

A Figura 2.3 mostra o ciclo global de carbono proposto no ano 2000, a quantidade de carbono em cada reservatório (em Gigatoneladas = 1×10^{15} g), as trocas existentes entre eles (em Gigatoneladas por ano). Mostra igualmente o tempo de residência do carbono em cada reservatório (The Royal Society, 2005).

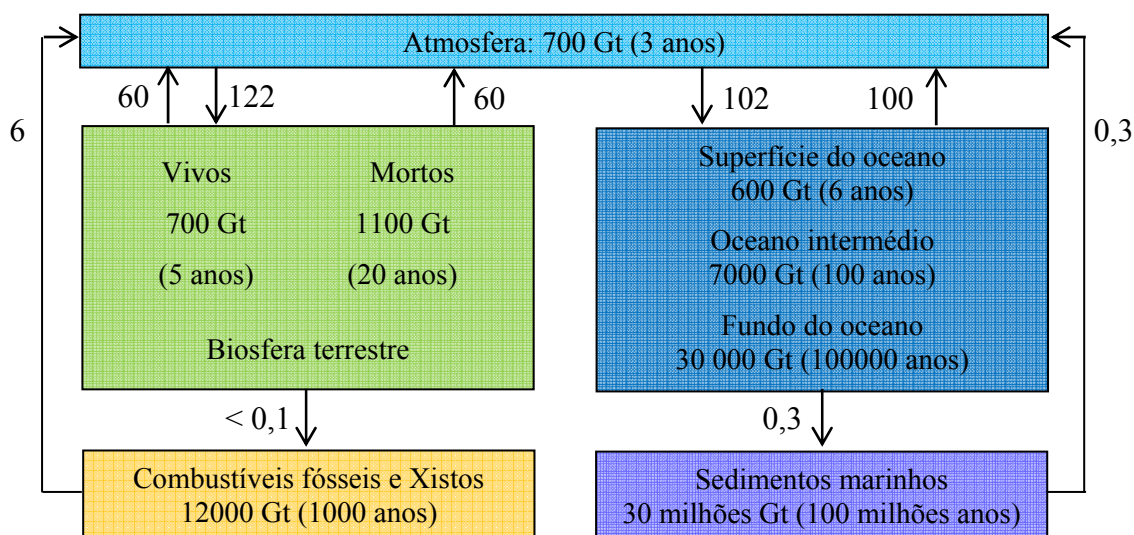
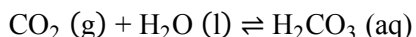


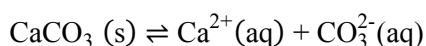
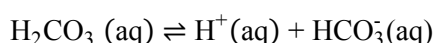
Figura 2.3 - Diagrama do ciclo global de carbono (adaptado de The Royal Society, 2005).

A Figura 2.3 mostra que os oceanos agem como um importante sumidouro de carbono, absorvendo, em média, 2 Gt C por ano. Este é um número pequeno em comparação com a quantidade de carbono que é trocada entre os diferentes reservatórios, mas é uma proporção significativa dos 6 Gt C libertados por ano para a atmosfera a partir de actividade humana. Na Biosfera terrestre os “vivos” representam a biomassa e os “mortos” representam o solo (Libes, 1992; The Royal Society, 2005).

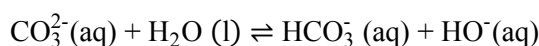
O dióxido de carbono, tal como outros gases, obedece à Lei de *Henry*, o que significa que um aumento no nível de CO_2 atmosférico aumenta a concentração de CO_2 na superfície dos oceanos. O CO_2 na atmosfera é um gás que não é quimicamente reactivo mas, quando dissolvido em água, neste caso água do mar, torna-se reactivo e participa em várias reacções químicas, físicas, biológicas e geológicas, muitas delas bastante complexas. Um dos muitos efeitos do CO_2 se dissolver na água do mar é o aumento da concentração de iões H^+ . Este é o resultado de uma reacção inicial entre a água (H_2O) e o CO_2 para formar ácido carbónico (H_2CO_3).



Este ácido fraco facilmente liberta iões hidrogénio que levam à formação de outras formas de carbono inorgânico. Portanto, a quantidade de CO_2 que se dissolve na água do mar tem uma forte influência sobre a consequente acidez/alcalinidade e pH dos oceanos. Nos oceanos, o CO_2 dissolvido existe, principalmente, em três formas inorgânicas conhecidas como carbono inorgânico dissolvido (CID). Estas são: (i) CO_2 aquoso (cerca de 1% do total), (ii) hidrogenocarbonato (HCO_3^- , cerca de 91%) e (iii) iões carbonato (CO_3^{2-} cerca de 8%).



As quantidades de cada uma das três formas, no entanto, variam bastante com a temperatura, salinidade e pressão da água do mar. A proporção relativa das três formas de CID (CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-}) reflecte o pH da água do mar e mantém-lo dentro de limites relativamente estreitos. Este CID funciona como um tampão para a adição de iões hidrogénio, chamado de “tampão carbonato”. Se uma espécie ácida (como o CO_2) é adicionada à água de mar, o acréscimo de hidrogénio reage com iões carbonato (CO_3^{2-}) e converte-os em iões hidrogenocarbonato (HCO_3^-).



Esta reacção reduz a concentração de iões hidrogénio (a acidez), de modo que a alteração do pH é muito menor do que de outra forma seria esperado. Quando o CO_2 atmosférico se dissolve na água do mar, existe um aumento da acidez dos oceanos, mas, por causa do efeito tampão, a solução resultante ainda é ligeiramente alcalina. A capacidade do efeito tampão para restringir mudanças no pH diminui com o aumento da quantidade de CO_2 que é absorvido pelos oceanos, porque quando o CO_2 se dissolve, os processos químicos que ocorrem reduzem os iões carbonato que são necessários para o efeito tampão (Baird, 2002).

A superfície dos oceanos tem um pH médio global de cerca de 8,2 unidades. No entanto, o pH pode variar de $\pm 0,3$ unidades, devido a factores locais, regionais e sazonais. Os dois principais factores que regem a distribuição espacial do pH dos oceanos são: (i) a temperatura da superfície oceanos e (ii) afloramento vertical

(upwelling⁷) de CO₂ das águas profundas para a superfície. Temperaturas baixas das águas superficiais tendem a aumentar a absorção de CO₂, pois reduzem a saturação das águas superficiais para o mesmo, enquanto que temperaturas mais elevadas conduzem à sua libertação. Quando o CO₂ é libertado a partir dos oceanos, a temperaturas constantes, o pH aumenta. Nas profundezas dos oceanos, a concentração de CO₂ aumenta com a decomposição de matéria orgânica. Estas adições de CO₂ causam um decréscimo de pH nas águas profundas dos oceanos. Quando esse CO₂ das águas profundas emerge para a superfície, o pH diminui nas águas superficiais (Golomb et al., 2007). Mudanças sazonais, na temperatura e na bio-productividade, e também variações na fotossíntese e respiração, contribuem para as flutuações do pH das águas oceânicas. As águas costeiras são mais susceptíveis de serem afectadas pelo sistema terrestre, como o escoamento de rios, conduzindo a variações no pH destas áreas (The Royal Society, 2005).

Inúmeros factores químicos, físicos e biológicos têm um potencial para afectar a absorção de CO₂ por parte dos oceanos. Processos químicos que podem afectar absorção de CO₂ incluem alterações na capacidade tampão e nos efeitos da temperatura sobre a solubilidade de CO₂. Factores físicos, que afectam a absorção, conduzem a um aumento na estratificação oceânica, devido ao aumento global nas temperaturas. O aquecimento dos oceanos, que leva a um aumento da estratificação vertical (diminuição da diferença entre os diferentes níveis nos oceanos), reduziria a captação de CO₂, com efeitos no decréscimo do volume disponível para absorção de CO₂ da atmosfera. A estratificação irá reduzir o fluxo de retorno de carbono e nutrientes das águas profundas dos oceanos para a superfície. Para além dos efeitos na absorção de CO₂ e efeitos na química dos oceanos, a acidificação das águas superficiais pode influenciar partes de sistemas terrestres através da emissão de gases para a atmosfera.

Uma das conclusões que se podem tirar, tal como referem alguns estudos, incluindo o da The Royal Society (2005), é que quanto maior é a quantidade de CO₂ que entra na atmosfera a partir das actividades humanas, maior será a quantidade absorvida pelos oceanos. Se as emissões de CO₂ continuarem nas tendências actuais, isto poderia resultar, em 2100, numa diminuição de 0,5 unidades do pH médio da superfície dos

⁷ Transportes de águas mais profundas para a superfície, geralmente causada por movimentos horizontais da superfície da água.

oceanos, abaixo do nível pré-industrial. Este valor encontra-se para além do intervalo de variabilidade natural e representa um nível muito provavelmente nunca experimentado nas últimas centenas a milhares de anos e, possivelmente há muito mais tempo.

2.6 Perspectivas do papel das zonas costeiras nas concentrações de CO₂

Por zona costeira entende-se porção de território que é influenciada directa e indirectamente em termos biofísicos pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter para o lado de terra uma largura da ordem de um quilómetro e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental (Gomes et al., 2006).

Num estuário, zona em que parte de um rio se encontra com o mar, a absorção de CO₂ atmosférico pode ser diminuta, pela quantidade de carbono dissolvido que as águas de um rio contêm e pela temperatura mais elevada a que estas águas se encontram. Um estuário pode, em muitos casos, ser uma fonte de CO₂. Os estudos para determinar a influência (absorção ou emissão) de uma zona costeira de mar nas concentrações de CO₂ atmosférico devem ter estes aspectos em linha de conta (Oliveira et al., 2006).

As zonas costeiras são sistemas complexos caracterizados por uma ampla gama de processos específicos, como o afloramento vertical (upwelling), descargas fluviais, intercâmbio de sedimentos e processos biológicos intensos. As trocas de CO₂ na interface ar-água resultarão da integração desses processos. Os rios e o upwelling transportam, por um lado, grandes quantidades de carbono inorgânico, aumentando a saturação das águas superficiais e favorecendo a saída de CO₂ para a atmosfera e, por outro lado, nutrientes azotados e fosfatados que, favorecendo a fotossíntese e a produção primária, tendem a reduzir a saturação superficial de CO₂. Além disso, os rios transportam igualmente grandes quantidades de material orgânico, quer em partículas, quer dissolvido, que são transportados para próximo das águas costeiras. Este fenómeno favorece, por um lado, a mineralização, que pode contribuir para a sobressaturação de CO₂ e, por outro lado, a criação de condições anaeróbias junto ao fundo que, reduzindo a alcalinidade, têm um efeito contrário na saturação. Finalmente, o efeito

termodinâmico relacionado com a temperatura da água também influencia as trocas de CO₂ na interface ar-água (Oliveira et al., 2006).

Uma abordagem para determinar se as zonas costeiras de mar são sumidouros ou fontes de CO₂ atmosférico consiste em medir a pressão parcial de CO₂ (pCO₂) nas águas superficiais com uma resolução espacial e temporal adequada para analisar as pequenas variações de pCO₂ (Borges e Frankignoulle, 2002). Esta pressão parcial é comparada com a pressão parcial do CO₂ atmosférico. No subcapítulo 4.5 analisam-se as formas de cálculo destas pressões parciais e possíveis conclusões a tirar. No entanto, mesmo estando sobre-saturadas, para determinar se as águas superficiais constituem uma fonte ou um sumidouro de carbono, importa fazer um balanço entre o carbono recebido pelas vias acima referidas (rios, atmosfera e upwelling) e o carbono perdido para os sedimentos marinhos e para as zonas marinha adjacentes.

Borges et al. (2006) compilaram da literatura fluxos ar-água de dióxido de carbono medidos em 20 ambientes costeiros europeus que foram reunidos em três grandes ecossistemas: estuários interiores, zonas de “upwelling” e zonas sem “upwelling” em plataformas continentais.

Para além destes estudos por todo o continente europeu, alguns trabalhos foram efectuados em estuários portugueses, dos quais se realçam os estuários do Sado (Ribeiro et al., 2001) e do Tejo (Ribeiro e Cabeçadas, 2000) e um estudo sobre os fluxos de CO₂ ao largo da costa algarvia (Oliveira et al., 2006). Nos dois primeiros trabalhos, dependendo do período sazonal, os estuários comportam-se como fontes ou sumidouros de CO₂, e no último, a costa algarvia comportou-se como fonte de CO₂.

3 Metodologia

3.1 Caracterização da área de estudo

A região escolhida para a realização deste trabalho foi a Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP). Esta escolha justificou-se pela importância desta área geográfica a nível industrial, económico e social.

Constituem, presentemente, a Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP) catorze (14) municípios: Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia integravam a anterior Área Metropolitana do Porto (AMP), tendo-se posteriormente juntado a este grupo os Municípios de Arouca, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Trofa e Santo Tirso (Figura 3.1).

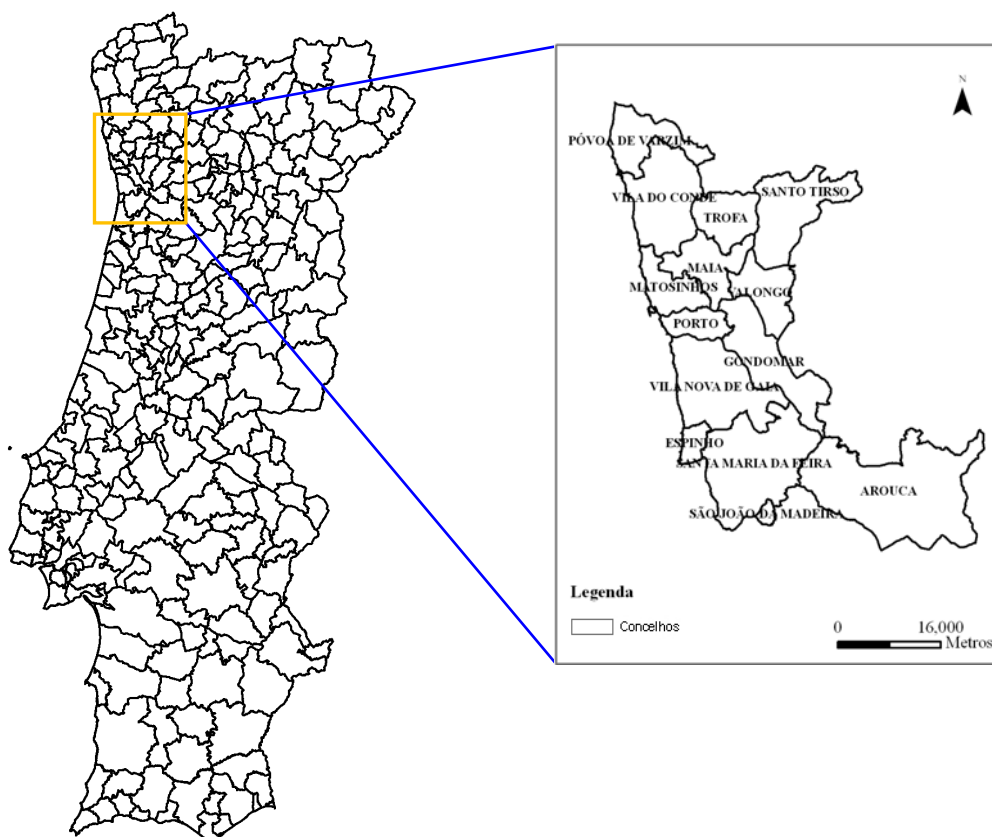


Figura 3.1 - Mapa de Portugal e Grande Área Metropolitana do Porto

A AMP abrangia até então uma área geográfica com cerca de 815 km² e com uma população a rondar os 1 254 000 habitantes. Actualmente, a GAMP ocupa uma área de 1 575 km², contando, com uma população aproximada de 1 570 800 habitantes (<http://www.amp.pt>). Na Tabela 3.1 pode observar-se a população e a área de cada concelho, a sua contribuição relativa para a área total, bem como a densidade populacional.

Tabela 3.1 - Caracterização da GAMP em área e população (Census⁸ 2001)

	Concelhos	Área (km²)	(%)	População	Densidade
GAMP	Espinho	21,1	1,3	33701	10345,8
	Gondomar	131,9	8,4	164096	19786,6
	Maia	83,1	5,3	120111	27935,4
	Matosinhos	62,2	4,0	167026	31553,3
	Porto	41,3	2,6	256574	121090,5
	Póvoa de Varzim	82,1	5,2	63470	12602,3
	Valongo	75,1	4,8	86005	8089,9
	Vila do Conde	149,0	9,5	74391	14441,1
	Vila Nova de Gaia	168,7	10,7	288749	46112,5
	Arouca	329,1	20,9	24227	2138,4
	Santo Tirso	136,5	8,7	72396	14743,2
	São João da Madeira	7,9	0,5	21102	2646,9
	Santa Maria da Feira	215,1	13,7	135964	22212,8
	Trofa	71,9	4,6	37581	4230,4

Os concelhos da GAMP com maior área geográfica são Arouca e Santa Maria da Feira (20,9 e 13,7 %, respectivamente). Por outro lado, os concelhos com menor área geográfica são São João da Madeira e Espinho (0,5 e 1,3 %, respectivamente), seguindo-se o Porto com 2,6 % (Figura 3.2).

⁸ Recenseamento Geral da População e Recenseamento Geral da Habitação. Operação estatística elaborada pelo Instituto Nacional de Estatística.



Figura 3.2 - Percentagem da área de cada concelho da GAMP, 2001 (Fonte: adaptado de <http://www.ine.pt>)

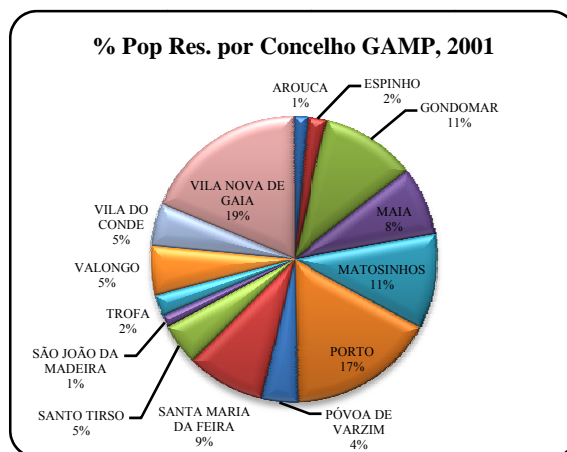


Figura 3.3 - Percentagem da população residente de cada concelho na GAMP em 2001 (Fonte: adaptado de <http://www.ine.pt>)

Porém, os concelhos da GAMP com maior número habitantes (Figura 3.3) são Vila Nova de Gaia e Porto (18,7 e 16,6 %, respectivamente). Os concelhos com menor número de habitantes são São João da Madeira e Arouca (1,4 e 1,6 %, respectivamente).

Na GAMP existem empresas com um peso significativo na economia da região e do país. As grandes fontes de produção de energia, como por exemplo, as refinarias e as indústrias de produção de electricidade e calor, que têm por base actividades de produção e/ou combustão de petróleo ou componentes do petróleo, e as indústrias transformadoras e de construção são exemplos com bastante relevância no contexto da região e do país.

A Central da Tapada do Outeiro (indústria de produção de electricidade e calor) encontra-se instalada em Medas, Gondomar, na margem do rio Douro, a uns 18 km a leste da cidade do Porto, e entrou em pleno funcionamento em Agosto de 1999. É uma central com uma potência instalada de 990 MW que utiliza a tecnologia de Ciclo Combinado com Turbinas a Gás (CCTG), usando gás natural para o efeito, proveniente da Argélia. Na central produz-se cerca de 9% das necessidades eléctricas do país e consome-se cerca de 19% do gás importado pela Galp Gás Natural (<http://www.turbogas.pt>).

A Refinaria do Porto situa-se no Complexo Industrial do Porto que está localizado no concelho de Matosinhos, freguesia de Leça da Palmeira, entre a Boa-Nova e o Cabo do Mundo, possuindo uma área aproximada de 200 hectares e está interligado ao terminal

para petroleiros no porto de Leixões por vários oleodutos com cerca de 2 km de extensão. Possui uma capacidade de armazenagem da ordem de 1 880 000 m³, dos quais cerca de 680 000 m³ são para ramas de petróleo e 1 200 000 m³ para produtos intermédios e finais. A Refinaria do Porto é constituída pelas seguintes linhas de fabrico: produção de combustíveis, produção de óleos base, produção de aromáticos e solventes, fabricação de massas lubrificantes, fabricação e moldação de parafinas, produção de betumes, produção de enxofre (<http://www.galpenenergia.com>).

A Siderurgia Nacional, localizada perto da zona industrial da Maia, é um exemplo de uma indústria transformadora com bastante importância.

A zona costeira da GAMP

Na GAMP existem rios com bastante importância no contexto económico e ambiental. A importância dos rios no âmbito deste trabalho insere-se na questão das trocas de CO₂ da atmosfera com o oceano junto aos estuários (parte de um rio que se encontra em contacto com o mar). Destacam-se, então, os rios Ave, que desagua em Vila do Conde, Leça, que desagua em Matosinhos, e Douro, que desagua no Porto.

A linha de costa estudada apresenta cerca de 90 km de comprimento e é constituída pelos concelhos de Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos, Porto, Vila Nova de Gaia e Espinho. É organizada por rochas de constituição granítica ou metamórfica. Entre os afloramentos rochosos existem algumas praias arenosas mais ou menos extensas. As praias que se encontram a sul de pontões rochosos ficam abrigadas dos ventos dominantes (norte e noroeste), bem como da ondulação de noroeste. É o caso das praias de Miramar, Lavadores, Boa Nova e Sampaio, dentro da GAMP (Araújo, 1999).

3.2 Base de dados de emissões

3.2.1 Construção da base de dados

De forma a atingir os objectivos deste trabalho foi criada uma base de dados de emissões a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA) do Instituto do Ambiente, actual Agencia Portuguesa do Ambiente (APA) (IA, 2007). A APA é a entidade responsável pela realização anual dos inventários nacionais de emissões de poluentes atmosféricos. No âmbito dos compromissos comunitários e internacionais assumidos relativamente à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), à Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance (UNECE) e à Directiva relativa aos Tectos Nacionais de Emissões (UE), Portugal submete anualmente o inventário dos gases com efeito de estufa (GEEs) e outros poluentes atmosféricos.

A base de dados foi elaborada em função dos seguintes sectores de actividade: “Comércio e Instituições”, “Residências”, “Agricultura, Floresta e Pescas”, “Transportes”, “Indústria de produção de energia” e “Indústrias transformadoras e de construção”. Assim, as emissões foram distribuídas por cada um destes sectores de actividade seguindo os exemplos de outras bases de dados (exemplos: UNECE – United Nations Economic Commission for Europe, UNFCCC – United Nations Framework Conventions on Climate Change, EMEP – European Monitoring and Evaluation Programme).

Os dados disponíveis actualmente e carregados para a base de dados dizem respeito às submissões de 2007, relativas ao período 1990-2005 e às variáveis dióxido de carbono e monóxido de carbono (CO). O CO foi incluído na base de dados para validar o modelo TAPM (subcapítulo 3.3.6), dado que não existem dados horários observados de CO₂ na área de estudo, mas existem estações meteorológicas e de qualidade do ar que analisam em contínuo as concentrações de CO. À partida, poderia ter sido escolhido outro poluente para a validação. Todavia, optou-se por um constituinte da atmosfera idêntico ao CO₂. O CO reúne algumas características semelhantes, entre as quais, o facto de ser estável e de ser um indicador de combustão, tal como é o CO₂.

A base de dados construída contém apenas os anos 2001 e 2004, fundamentalmente pelos dados disponíveis para efectuar a desagregação das emissões nacionais até ao nível de freguesia, como se explicará mais à frente. Os resultados da base de dados e a informação meteorológica, representando diferentes períodos do ano, foram utilizados para forçar o modelo atmosférico The Air Pollution Model (TAPM).

O inventário disponibilizado pela APA contém informação sobre as emissões e remoções totais nacionais de vários GEE e outros poluentes (ver tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Poluentes submetidos por Portugal no âmbito de compromissos comunitários e internacionais

	POLUENTES⁹
UNFCCC	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ (CO, NO _x , COVNM, SO _x)
UNECE/ UE	NO _x , CO, COVNM, SO _x , NH ₃ , Partículas e Metais Pesados

Neste inventário as emissões e remoções estão agrupadas segundo várias categorias: i) Energia; ii) Processos industriais; iii) Solventes e outros produtos de uso; iv) Agricultura; v) Uso do solo, mudança do uso do solo e floresta; vi) Desperdícios e vii) Outros. Dentro de cada uma das categorias existem sectores e subsectores (Anexo I).

O inventário contém informações completas e detalhadas relacionadas com metodologias, factores de emissão, dados de actividade, e explica quaisquer novos cálculos de inventários anteriores, para garantir correcta revisão. Convém salientar que o inventário abrange todo o território português, isto é, Portugal continental e as duas regiões autónomas da Madeira e Açores. Mudanças na metodologia, nas fontes ou na extensão da cobertura dos dados reflectem-se nas estimativas das emissões para todos os anos, no período de 1990 a 2005, ou seja, de ano para ano os resultados das emissões podem aparecer ligeiramente diferentes.

A base de dados construída não considera as três denominações do inventário, mas apenas uma – sectores de actividade. Os sectores de actividade são os seis referidos

⁹ CO₂ (Dióxido de Carbono), CH₄ (Metano), N₂O (Óxido Nitroso), HFCs (Hidrofluorcarbonos), PFCs (Perfluorcarbonos), SF₆ (hexafluoreto de Enxofre), SO₂ (Dióxido de Enxofre), NO_x (Óxidos de Azoto), CO (Monóxido de Carbono), COVNM (Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos), NH₃ (Amónia), Partículas (PST, PM10 e PM2.5) e Metais Pesados.

acima. A Tabela 3.3 mostra a agregação das diferentes denominações existentes no inventário nos sectores de actividade referidos.

Tabela 3.3 - Agregação das diferentes denominações do inventário em sectores de actividade.

Sectores de actividade	Agregação
Indústrias de produção de energia	Inclui as emissões resultantes da produção de electricidade e calor, refinarias de petróleo, fabricação de combustíveis sólidos e outras indústrias energéticas. Inclui também as emissões fugitivas de combustíveis (sólidos, óleo e gás natural)
Indústrias transformadoras e de construção	Engloba as emissões das indústrias de manufatura e construção, nomeadamente as pertencentes aos sectores do ferro e do aço, metais não-ferrosos, indústria química, papel, processamento de comidas, bebidas e tabaco e outras. Engloba ainda emissões provenientes das indústrias com processos industriais, nomeadamente, produtos minerais, produtos químicos, produção de metais e outras aplicações, emissões provenientes do uso de solventes e outros produtos nomeadamente a aplicação de tintas, desgorduramento e limpeza a seco, processamento e manufatura de produtos químicos e outros. Inclui ainda as actividades decorrentes da gestão de resíduos como a disposição de resíduos nos solos, gestão de águas residuais, incineração de resíduos e outros
Transportes	Abrange as emissões provenientes dos transportes rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo
Comércio e Instituições	Engloba as emissões provenientes do comércio e instituições públicas e privadas como escolas, hospitais, e outras instituições prestadoras de serviços
Residências	Abrange habitações do tipo vertical e horizontal
Agricultura, Floresta e Pescas	Inclui as emissões provenientes do sector energético ligado à agricultura, floresta e pescas, bem como emissões apenas ligadas ao sector agrícola (fermentação entérica, gestão de estrume, culturas de arroz, solos agrícolas, queimada intencional de savanas, queimada de resíduos agrícolas e outros) e ao sector uso do solo, mudança do uso do solo e floresta, que abrange os terrenos de floresta, cultivo, pastagem, zonas húmidas, colónias, etc.

As razões destas agregações explicam-se pela melhor facilidade em interpretar as emissões, pois não se utilizam três denominações como no inventário, e, também, pela

acessibilidade das variáveis que permitiram a desagregação de nível nacional até ao nível de freguesia.

No capítulo 4 (Resultados e Discussão) mostram-se as emissões alocadas aos diferentes sectores de actividade e a preponderância de alguns sectores face a outros.

A base de dados construída, como referido anteriormente, reporta aos anos de 2001 e 2004. Todavia, para efeitos de avaliação do efeito da GAMP nas concentrações de CO₂ atmosférico sobre a zona costeira adjacente, só se utilizou o ano de 2004.

Convém salientar que a base de dados abrange apenas as emissões em área, pois as emissões pontuais foram tratadas à parte. Por emissões em área entende-se as emissões difusas e, de certa forma, com uma distribuição mais ou menos homogénea na área de estudo considerada. Podem incluir fontes de pequena dimensão e dificilmente identificáveis, que não são tratadas como fontes pontuais, por exemplo, pequenas indústrias, rede viária localizada dentro do perímetro urbano, fontes naturais, etc. As emissões pontuais serão objecto de análise no subcapítulo 3.2.2. Todavia, o inventário da APA não distingue fontes pontuais de fontes em área. O EPER¹⁰ (<http://eper.eea.europa.eu/eper>) apresenta o registo nacional das indústrias com maior quantidade de emissões para a atmosfera, consideradas neste trabalho como fontes pontuais. Previamente, foram subtraídas as emissões das grandes fontes pontuais (emissões EPER), referentes aos anos 2001 e 2004, às emissões nacionais do inventário. Os sectores de actividade abrangidos por esta operação foram os sectores “Indústrias de produção de energia” e “Indústrias transformadoras e de construção”. Foram consideradas 27 fontes de emissões localizadas em Portugal continental em 2004. O Anexo II apresenta para cada fonte pontual e poluente as respectivas emissões. Depois da desagregação espacial das emissões em área, foram somadas as emissões EPER à respectiva freguesia de implantação da indústria.

A desagregação das emissões nacionais, dos diferentes sectores de actividade, para o nível de freguesia foi baseada em variáveis contidas nos CENSUS (<http://www.ine.pt>). Todavia, em alguns sectores de actividade (“Indústrias de produção de energia”, “Indústrias transformadoras e de construção” e “Transportes”) não foi possível desagregar as emissões nacionais directamente para o nível de freguesia.

¹⁰ Registo Europeu das Emissões de Poluentes (European Pollutant Emission Register). É um registo das emissões industriais para a atmosfera e a água à escala europeia.

Para facilitar a compreensão do modo de desagregação apresenta-se de seguida um quadro explicativo de algumas designações (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Nomenclatura de Unidades Territoriais

Nomenclatura de Unidade Territorial (NUT)	Base territorial
NUT I	Continente (Nacional)
NUT II	Regiões
NUT III	Distritos
NUT IV	Concelhos
NUT V	Freguesias

As variáveis consideradas, para efeitos de desagregação, encontram-se na Tabela 3.5. No sector de actividade “Indústrias de produção de energia” os dados para efeitos de desagregação (*consumo de fuel e gás natural*) não foram obtidos através do CENSUS, mas sim obtidos através da Direcção-Geral de Geologia e Energia. Como se referiu anteriormente, em alguns sectores de actividade a desagregação teve que ser efectuada primeiro para NUT IV, e só por fim para NUT V.

A desagregação foi efectuada tendo em conta a proporcionalidade entre as variáveis a nível nacional e as variáveis a nível de concelho e/ou freguesia. Por exemplo, a desagregação do sector “Comércio e Instituições” foi efectuada directamente para o nível de freguesia tendo em conta a variável “número de edifícios”. O número total de edifícios do país corresponde ao total de emissões desse sector. Por proporcionalidade, o número de edifícios de uma freguesia terá a respectiva quota de emissões.

Tabela 3.5 - Cenário considerado para a desagregação das emissões atmosféricas em área (2001 e 2004).

Sector de actividade	Variáveis consideradas	
	NUT IV (concelho)	NUT V (freguesia)
Indústrias de produção de energia	Consumo de fuel e gás natural (2001 e 2004)	População residente (2001)
Indústrias transformadoras e de construção	Número de empresas e sociedades ligadas à indústria extractiva, transformadora e construção (2002 ¹¹ e 2004)	População residente (2001)
Transportes	Pessoal ao serviço nas sociedades (2001 e 2004)	População residente (2001)
Comércio e Instituições	-	Número de edifícios (2001)
Residências	-	População residente (2001)
Agricultura, Floresta e Pescas	-	Superfície agrícola utilizada (1999)

Por exemplo, no sector “Indústrias de produção de energia” as emissões foram primeiramente desagregadas para concelhos, com base nos consumos de fuel e gás natural e posteriormente para freguesia através da população residente. Tanto num caso como no outro tiveram em conta uma relação de proporcionalidade.

Devido à incompatibilidade de informação entre os diversos organismos geradores de informação não foram estimadas as emissões para o concelho de Vizela. Por vezes, algumas freguesias podem não apresentar emissões, em algum sector de actividade, pela mesma razão referida.

O cenário de desagregação escolhido teve em consideração dois factores principais: os dados disponíveis e as condições intrínsecas aos vários sectores. Uma análise de sensibilidade ao modo de desagregação indica que uma outra forma de “separação” das emissões nacionais dos vários sectores de actividade conduziria a uma diferente alocação das emissões. A questão essencial está na condição “tempo” da disponibilidade da informação, ou seja, que dados estariam disponíveis em tempo útil. Por esta razão, o cenário escolhido foi o que se apresenta na Tabela 3.5.

¹¹ Em alguns sectores de actividade os dados disponíveis podem não coincidir com o ano em que se está a fazer a desagregação das emissões nacionais. Os dados disponíveis não continham o ano pretendido.

A alocação das emissões pelas freguesias (ver capítulo 4) foi efectuada com a ajuda de um software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Este software é um sistema integrado de recolha de dados e software de computador utilizado para visualizar e gerir informações sobre lugares, analisar relações espaciais e processos modulares espaciais. Fornece um quadro para a recolha e organização de dados espaciais e informações relacionadas para que se possa exibir e analisar. O software utilizado foi o ArcGIS 9.1 da ESRI (ESRI, 2007)

3.2.2 Fontes Pontuais

Referiu-se no subcapítulo anterior que as fontes pontuais são fontes ligadas aos sectores “Indústrias de produção de energia” e “Indústrias transformadoras e de construção”. As fontes pontuais englobam as instalações industriais que, pela sua dimensão, pelo seu contributo nas emissões totais da área de estudo ou pelo tipo de poluente emitido, justificam um tratamento individual, por exemplo, centrais termoeléctricas.

Especificamente, as grandes fontes pontuais (previamente escolhidas) estudadas separadamente das fontes em área são a Refinaria do Porto, situada no concelho de Matosinhos, freguesia de Leça da Palmeira; a Central da Tapada do Outeiro, que se encontra instalada na freguesia de Medas, concelho de Gondomar; a Central de Tratamento de Resíduos Urbanos do Grande Porto (LIPOR II) localizada no concelho da Maia, freguesia de Moreira da Maia; a Siderurgia Nacional da Maia situada na freguesia de S. Pedro de Fins, também no concelho da Maia; e por último a empresa RAR – Cogeração Unipessoal que se situa na cidade do Porto (Figura 3.4).

Porém, há um aspecto muito importante a salientar. Das cinco fontes pontuais consideradas,



Figura 3.4 - Grandes fontes pontuais de CO₂ dos concelhos da GAMP

apenas nas três primeiras foram possíveis obter todos os dados em tempo útil, em particular os dados relativos às condições de emissão. Na fonte pontual Siderurgia Nacional apenas se conseguiu obter o total de emissões. Sendo assim, as emissões desta fonte pontual passaram a ser consideradas em área. Na RAR - Cogeração Unipessoal não foi possível obter qualquer dado, pelo que foi excluída de fonte emissora.

No Anexo III podem observar-se todas as fontes pontuais consideradas, as suas localizações (coordenadas), a altura e raio das chaminés, velocidade e temperatura de emissão à saída das chaminés e a quantidade de CO₂ emitido (em toneladas) no ano de 2004.

A Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro, em 2004, emitiu um total de 2 310 000,00 t. A Refinaria do Porto emitiu um total de 1 130 000,00 t. A Central de Tratamento de Resíduos Urbanos do Grande Porto emitiu um total de 369 000,00 t (<http://eper.eea.europa.eu/eper>).

As condições de emissão são igualmente importantes para a descrição das fontes pontuais, bem como para a aplicação do modelo de dispersão utilizado, como se abordará mais à frente no subcapítulo 3.3.4.

3.3 Modelação atmosférica

3.3.1 Conceito de modelação

A modelação matemática é utilizada para reproduzir a realidade de uma forma simplificada. A modelação é utilizada em áreas como no desenvolvimento de produtos industriais, na investigação científica básicas e aplicada, em simulações e previsões temporais e espaciais de fenómenos, na matemática, física, química, na engenharia e tecnologia, na biologia e saúde, no meio ambiente e ecologia, em oceanografia e geofísica, etc.

3.3.2 Modelação atmosférica

A atmosfera é um sistema reaccional complexo onde ocorrem, em simultâneo, inúmeros processos físicos e químicos. As variáveis atmosféricas apenas permitem uma análise das condições atmosféricas num espaço e período de tempo particulares. A dinâmica da atmosfera é difícil de se entender: modelo conceptual dos processos atmosféricos. Um entendimento de cada processo atmosférico individualmente (químico, de transporte, de remoção, etc.) não significa que se perceba todo o sistema. Os modelos numéricos permitem uma análise de diversos conceitos para que se possa entender os variados processos atmosféricos, bem como as suas interações. Uma combinação das variáveis meteorológicas medidas e dos modelos atmosféricos será uma excelente abordagem, para que se possa avançar no entendimento do complexo sistema reaccional que é a atmosfera (Seinfeld e Pandis, 1998).

A modelação atmosférica representa comportamentos de variáveis físicas e químicas da atmosfera e permite uma análise dos seus constituintes e fenómenos associados. Como refere Ferreira (2007) “um modelo atmosférico é visto como um meio para o conhecimento do comportamento físico e químico da atmosfera”. Um modelo atmosférico, a maior parte das vezes utilizado numa perspectiva de qualidade do ar, permite uma análise da dispersão de constituintes atmosféricos, como é o caso do CO₂.

Na modelação atmosférica usam-se modelos de dispersão, utilizados para quantificar concentrações de poluentes num determinado espaço que esteja abrangido por fontes emissoras (neste caso não se consideram possíveis reacções químicas), modelos químicos de transporte, que simulam todo um conjunto de fontes emissoras e o seu possível impacto nas concentrações dos constituintes atmosféricos (consideram as possíveis reacções químicas), e modelos de receptor, que calculam as contribuições relativas das fontes emissoras num ponto receptor (Seinfeld e Pandis, 1998).

Para além dos diferentes tipos de modelos, é necessário também compreender as duas abordagens matemáticas existentes – lagrangianas e eulerianas. A abordagem lagrangiana, utilizada em inúmeros modelos atmosféricos, simula mudanças na composição química de uma determinada parcela de ar como o que acontece na atmosfera (advecção). Por outro lado, a abordagem eurliana descreve as concentrações num plano de células fixas. Os processos dos modelos lagrangianos desenvolvem-se

com os ventos locais, por isso não existe nenhuma troca de massas de ar entre as parcelas e as suas vizinhanças, com a excepção das emissões que são permitidas entrar nas células pela base. As parcelas de ar movem-se continuamente, por isso o modelo simula concentrações em diferentes locais e espaços temporais. Os processos dos modelos eulidianos permanecem fixos no espaço. As emissões entram e saem das células através das suas “paredes”, e o modelo simula as concentrações para todas os locais como função do tempo. Em alguns modelos, como os de dispersão, utiliza-se outra abordagem matemática – equação da pluma gaussiana. Em alguns casos é muito provável obter concentrações, perto de fontes pontuais, com aspecto de distribuições gaussianas. Porém este facto apenas é verdadeiro no caso de uma turbulência homogénea e estacionária. Mas esta abordagem matemática pode ser uma solução analítica para a dispersão atmosférica (Seinfeld e Pandis, 1998).

3.3.3 Modelação em mesoescala

Para além dos diferentes tipos de modelos atmosféricos, também se deve ter em atenção as diferentes escalas temporais e espaciais.

A atmosfera pode ser considerada como um enorme reactor onde um conjunto de compostos químicos está continuamente a ser introduzido e removido em escalas temporais e espaciais. Existem quatro categorias que classificam convenientemente as escalas atmosféricas:

1. Microescala - Fenómenos que ocorrem em escalas da ordem de 0 a 100 m, tais como a dispersão de uma pluma de uma chaminé e o complicado regime de fluxo na esteira de um grande edifício.
2. Mesoscala - Fenómenos que ocorrem em escalas de dezenas até centenas de quilómetros, como as brisas terra-mar, ventos em vales, e frentes de altas e baixas pressões.
3. Escala sinóptica - processos de todo o sistema meteorológico, em escalas de centenas a milhares de quilómetros.

4. Escala global - Fenómenos que ocorrem em escalas superiores a 5×10^3 km.

As características das escalas espaciais dos vários fenómenos atmosféricos estão descritas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Escalas espaciais dos fenómenos atmosféricos (adaptado de Seinfeld e Pandis, 1998).

Fenómeno	Comprimento da escala espacial (km)
Poluição urbana do ar	1-100
Poluição regional do ar	10-1000
Chuva ácida/deposição	100-2000
Poluentes tóxicos	0,1-100
Depleção do ozono estratosférico	1000-40000
Incrementos dos gases com efeito de estufa	1000-40000
Interacções clima-aerossóis	100-40000
Processos de oxidação e transporte troposféricos	1-40000
Trocas troposféricas-estratosféricas	0,1-100
Processos de oxidação e transporte estratosféricos	1-40000

O tempo de vida dos constituintes atmosféricos constitui a média de tempo que a molécula desse constituinte reside na atmosfera antes de ser removida (transformações químicas de uma espécie noutra conta como remoção). Os tempos de vida variam conforme as espécies (menos de um segundo para radicais livres e alguns anos para moléculas mais estáveis). A conjugação do tempo de vida de uma espécie com a escala espacial deve ser uma característica a ter em conta na modelação atmosférica (Seinfeld e Pandis, 1998). Neste trabalho, o CO_2 é a espécie a ser caracterizada. Dependendo dos processos, as moléculas de CO_2 têm um tempo de vida considerável na atmosfera. Consequentemente, a escala espacial considerada será a mesoscala.

A modelação à escala local (microscala), normalmente, é utilizada no sentido de se avaliarem os impactos de fontes emissores individualmente, ou pequenos grupos de fontes, em distâncias de dezenas de quilómetros. A modelação à escala regional (mesoscala) será, geralmente, utilizada na avaliação de problemas com poluição atmosférica ou, por exemplo, avaliação de poluentes transfronteiriços (Ferreira, 2007).

Como se referiu anteriormente, a dispersão dos constituintes atmosféricos (mais propriamente os poluentes atmosféricos) depende, em grande medida, das condições meteorológicas verificadas. Saliente-se que o transporte de poluentes e a dispersão são conceitos distintos. O transporte significa um deslocamento em função do tempo e do espaço sem alteração da concentração dos poluentes. A dispersão contém um significado diferente do anterior. A interpretação será um deslocamento óbvio em função do tempo e do espaço, mas, neste caso, com alteração das concentrações. As concentrações dos poluentes atmosféricos são influenciadas pelos parâmetros meteorológicos: velocidade e direcção do vento, turbulência e altura da camada limite da atmosfera (Ferreira, 2007), factores abordados no subcapítulo 2.4.

3.3.4 Modelo de dispersão (TAPM)

Os modelos de poluição atmosférica, que podem ser usados para analisar concentrações, horárias, para períodos anuais, são geralmente abordagens semi-empíricas/analíticas baseadas em curvas Gaussianas. Estes modelos utilizam bases de dados meteorológicas de superfície ou modelos de diagnóstico de vento baseados em observações disponíveis.

O TAPM (Hurley, 2005) é diferente deste tipo de abordagens, uma vez que resolve equações de dinâmica de fluidos e de transporte para prever a meteorologia e as concentrações para um conjunto de poluentes importantes em aplicações de poluição atmosférica. O TAPM considera um conjunto de prognósticos meteorológicos e concentrações de algumas espécies químicas, eliminando a necessidade de dispor de observações específicas. O modelo prevê importantes fluxos à escala local, como brisas marítimas e terrestres, em vez de cenários de maior escala meteorológica fornecida por análises sinópticas (Hurley, 2005).

O TAPM abrange uma componente meteorológica e uma componente de poluição atmosférica. A componente meteorológica do TAPM (Figura 3.5) contempla um modelo de equações incompressíveis e não-hidrostáticas com um seguimento de coordenadas verticais ao longo do terreno, para simulações tridimensionais. O modelo resolve as equações das componentes horizontais do vento, a equação da continuidade de um fluido incompressível para a componente vertical e equações escalares para a

temperatura potencial e humidade específica. As pressões também são calculadas, sendo divididas em componentes hidrostática e não-hidrostática, esta última resolvida pela equação de Poisson. Os fenómenos de turbulência são igualmente considerados. A vegetação, o solo, as condições urbanas são utilizadas à superfície, bem como os fluxos radiativos (Hurley, 2005).

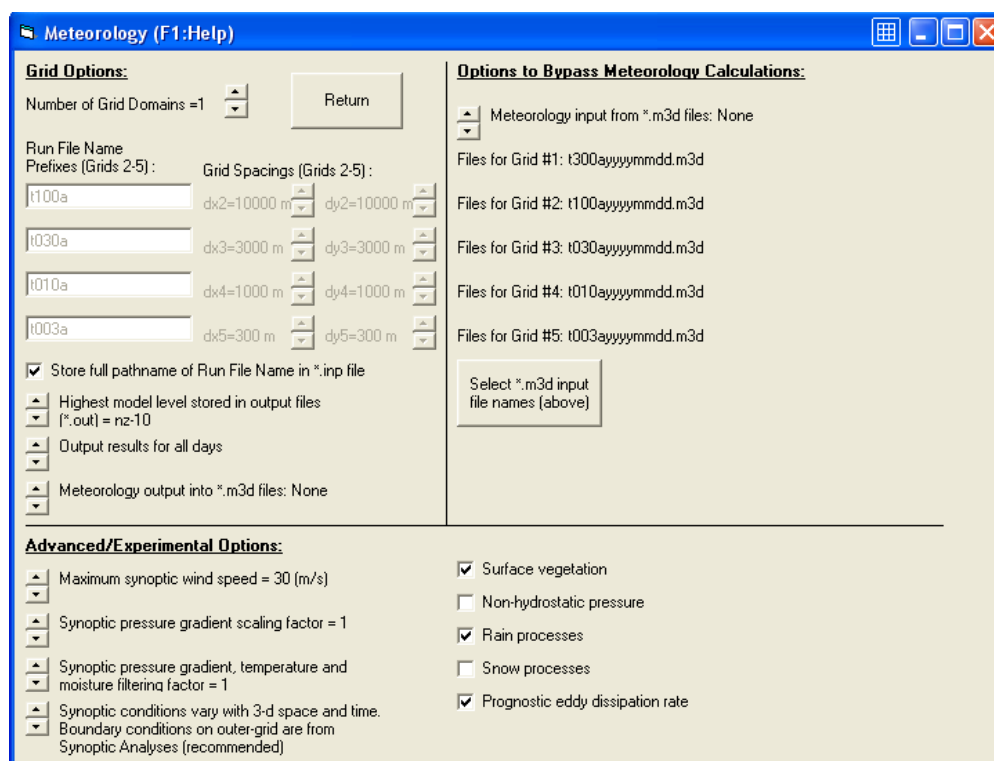


Figura 3.5 - Interface da Componente Meteorológica do TAPM

A componente de poluição atmosférica (Figura 3.6), que utiliza os resultados da componente meteorológica, é constituída por quatro modelos. O Modelo Eurliano de Grelha (EGM – Eurlian Grid Module) resolve equações para a concentração média e respectivas variações, bem como para a correlação entre as concentrações e a temperatura. O Modelo Lagrangeano de Partículas (LPM – Lagrangian Particle Module) pode ser utilizado para representar uma dispersão perto das fontes com maior precisão. O Modelo de Ascensão da Pluma (Plume Rise Module) é usado para contabilizar a flutuabilidade dinâmica e efeitos das fontes pontuais. O Modelo permite ainda que seja tomado em linha de conta o escoamento da esteira dos edifícios (Building Wake Module) e respectiva interferência na dispersão e transporte dos poluentes. O modelo inclui também reacções fotoquímicas em fase gasosa, reacções em fase gasosa e aquosa

para o dióxido de enxofre e para partículas, e um modo para partículas totais em suspensão ($PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_{20} e PM_{30}). Os efeitos de deposição seca e húmida também são incluídos (Hurley, 2005).

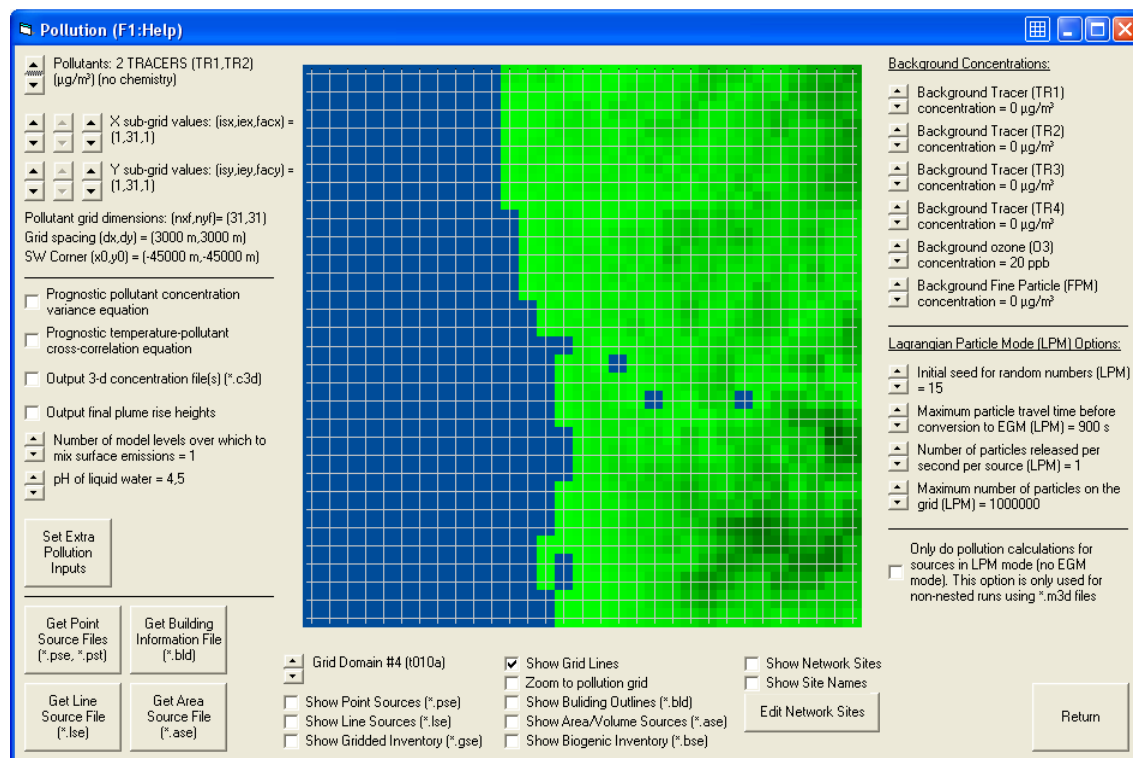


Figura 3.6 - Interface da Componente de Poluição Atmosférica do TAPM

O TAPM é, então, um modelo de qualidade do ar que permite uma avaliação da dispersão de poluentes e do seu impacto ambiental. O modelo é uma ferramenta versátil que pode ser aplicada a qualquer lugar no mundo porque prevê toda a meteorologia necessária, usando os dados globais de terreno e do uso do solo, bem como as análises sinópticas globais. O modelo pode ser utilizado para prever parâmetros meteorológicos e de poluição atmosférica numa escala local ou regional, com períodos de simulação de um dia a um ano ou mais. O TAPM tem sido utilizado para avaliação individual das emissões em chaminés, para investigar a produção fotoquímica em meio urbano e monitorizar as emissões a partir de cidades ao longo de centenas de quilómetros. Este modelo atmosférico foi seleccionado pela sua capacidade de aplicação a séries longas de dados, rapidez na modelação e capacidade de simulação das circulações atmosféricas de mesoscala (Coutinho et al., 2007).

Na Figura 3.7 é apresentado um esquema do funcionamento do modelo TAPM:

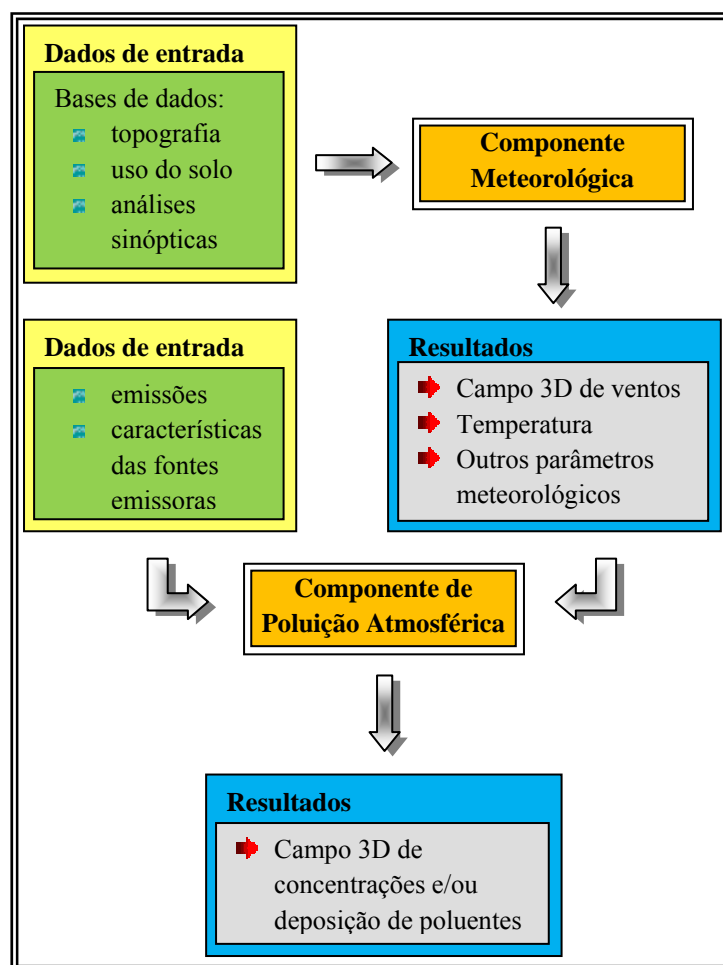


Figura 3.7 - Representação esquemática do Modelo TAPM. (Adaptado de Coutinho et al., 2007)

Algumas limitações do modelo

O TAPM é adequado para domínios horizontais inferiores a aproximadamente 1000 km por 1000 km. Não deve ser utilizado para grandes áreas, pois não considera a curvatura da Terra. O modelo dará um erro se o domínio for superior a 1500 km por 1500 km. Não pode ser usado para representar fielmente circulações atmosféricas em situações meteorológicas extremas, devido à razão acima exposta. A incompressibilidade no modelo acima dos 5000 m, bem como os efeitos não-hidrostáticos não são representados. O TAPM não deve ser utilizado para terrenos muito íngremes por causa do sistema de coordenadas utilizado. Esta abordagem não pode representar descontinuidades em altura (por exemplo, falésias).

A interface

O TAPM é um modelo de fácil utilização. Os principais dados de entrada podem ser seleccionados através dos controlos na interface principal apresentada (Figura 3.8). No manual de utilizador (Hurley, 2005) podem analisar-se todas as secções presentes nas interfaces principal e secundárias.

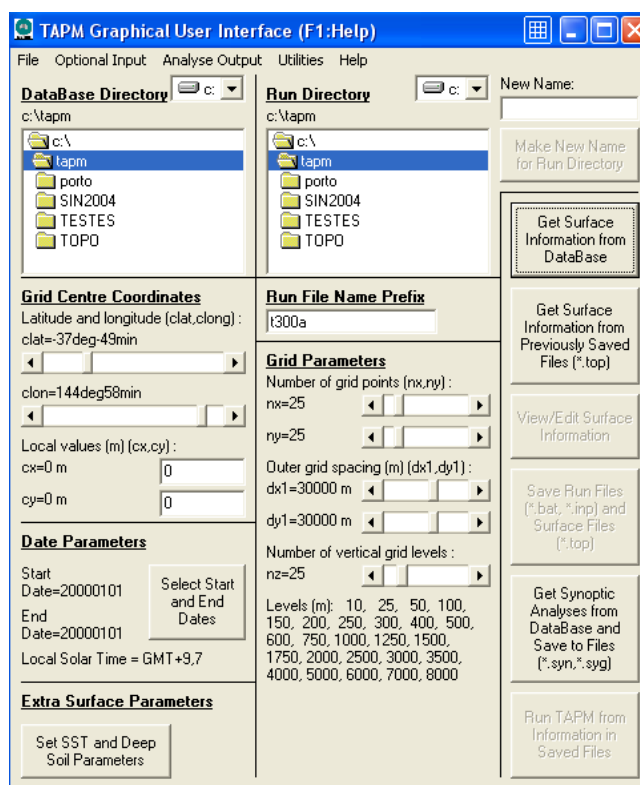


Figura 3.8 - Interface principal do Modelo TAPM.

Criação do ficheiro de entrada

Referiu-se no subcapítulo 3.2 o modo como foi construída a base de dados de emissões, bem como, no subcapítulo 3.2.2, quais as fontes pontuais consideradas. A criação do ficheiro de entrada pressupõe uma prévia condição; o facto de se ter que escolher qual a grelha de emissões que se irá colocar no modelo para a simulação. Neste trabalho foi utilizada uma grelha quadrada - Malha 500×500 m² (186×186 células), com o ponto central da grelha (Figura 3.9) com coordenadas -40958,48 m; 165825 m (Datum 73) (Largo da Ramada Alta, Porto).



Figura 3.9 - Ponto central escolhido. Situa-se no concelho do Porto.

A malha considera toda a extensão da GAMP, ou seja, $500\text{m} \times 186 \text{ células} = 93\,000 \text{ m}$. Ou seja, a malha tem um total de $93 \times 93 \text{ km}^2$. A Figura 3.10 mostra a malha considerada. Esta malha cruzar-se-á com a base de dados de emissões, através do software de SIG.

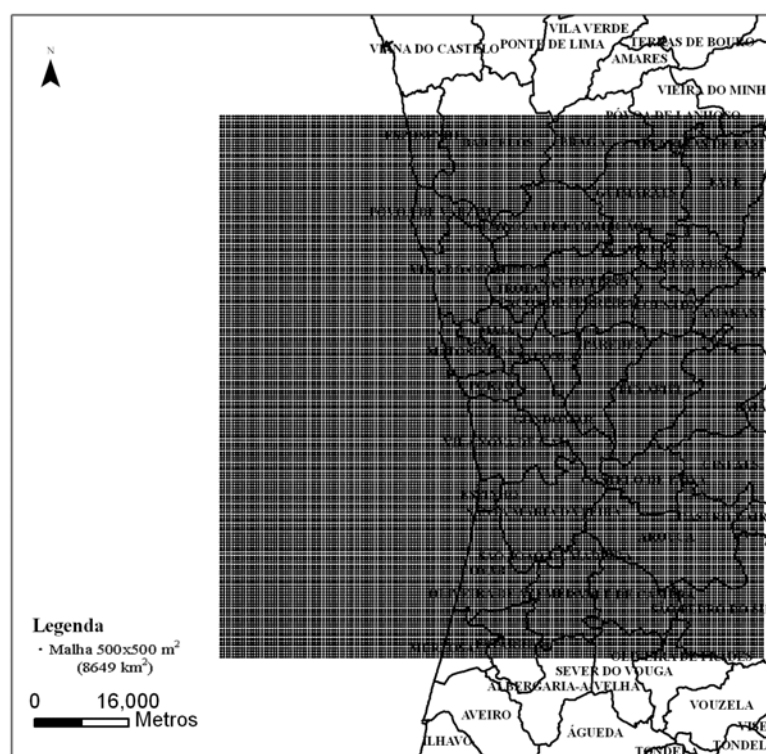


Figura 3.10 - Malha $500 \times 500 \text{ m}^2$ (186×186 células).

Na Figura, a representação refere-se ao ponto central de cada uma das células de cálculo.

Depois de efectuada a intersecção da malha com a base de dados de emissões, o ficheiro pode aparecer com menos pontos que a grelha inicial, ou seja, a intersecção originou

pontos em branco, que não aparecem. Isto pode acontecer porque foi realizada uma intersecção com emissões que se encontram no mar, ou seja, efectivamente não apresentam qualquer emissão. O TAPM não aceita uma grelha assim. Então convém acrescentar a essa malha pontos que tenham informação em branco, ou seja, que não tenham informação nenhuma, pois a intersecção assim o mostrou. Só se acrescenta esses pontos à malha porque o TAPM exige uma malha quadrada. Salienta-se que o ficheiro de entrada dos poluentes, quaisquer que eles sejam, tem que ter as unidades das emissões em g.s^{-1} .

Todavia, a malha utilizada no modelo não foi efectivamente a malha $500 \times 500 \text{ m}^2$, pois esta contém um volume muito grande de informação o que torna o modelo mais lento. Sendo assim, “transportou-se” a informação para uma malha $3000 \times 3000 \text{ m}^2$ (31×31 células), que possui muito menos células. A Figura 3.11 mostra o processo desenvolvido. Salienta-se que a intersecção da base de dados de emissões com uma malha de $500 \times 500 \text{ m}^2$ deve-se, fundamentalmente, à necessidade de obter os valores de emissão em todas as freguesias.

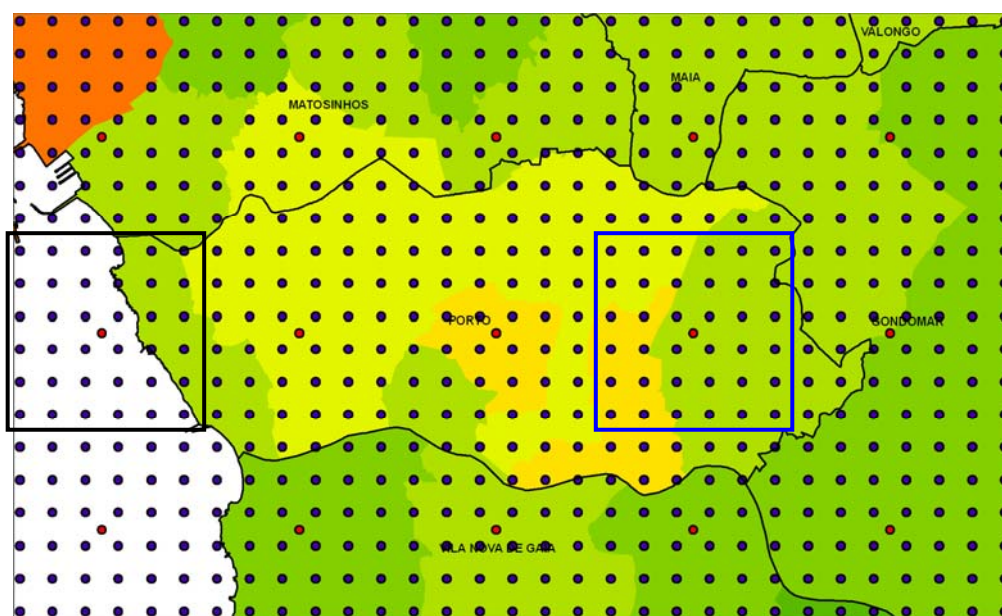


Figura 3.11 - Processo de agregação dos pontos da malha $500 \times 500 \text{ m}^2$ aos pontos da malha $3000 \times 3000 \text{ m}^2$.

A Figura 3.11 mostra pontos de cor azul, que têm um espaçamento de 500 m , ou seja, dizem respeito à malha $500 \times 500 \text{ m}^2$. Os pontos de cor vermelha têm um espaçamento

de 3000m. Os quadrados representados significam células de $3000 \times 3000 \text{ m}^2$. Os pontos azuis contidos em cada quadrado foram agregados a um só ponto de cor vermelha.

Se a intersecção da base de dados de emissões fosse efectuada com uma malha que tivesse um espaçamento maior entre células, muito provavelmente haveriam emissões não contabilizadas. Por exemplo, o ponto vermelho do quadrado preto teria uma emissão de zero (0) Gg.km^{-2} , pois encontra-se sobre o mar. Porém, no interior do quadrado preto existem emissões.

Portanto, no modelo, e análises subsequentes, aplicou-se uma malha $3000 \times 3000 \text{ m}^2$. Relembre-se que o domínio é $93 \times 93 \text{ km}^2$. Em termos verticais, o modelo considerou um domínio de 8000 m, distribuído por 25 níveis de espaçamento desigual, sendo mais apertado junto ao solo com o primeiro nível a 10 m. É este primeiro nível que interessa para o trabalho, pois o objectivo é avaliar se as emissões de CO_2 a partir da GAMP têm um efeito significativo na concentração de CO_2 sobre a zona costeira próxima e nas trocas de CO_2 entre o mar e a atmosfera.

3.3.5 Cenários de modelação escolhidos

Os cenários de modelação permitem determinar se as emissões de CO_2 da GAMP têm uma influência significativa na zona costeira próxima. Estes cenários incluem períodos representativos do ano de estudo escolhido (2004). Os períodos temporais reportam às diferentes estações do ano de 2004, ou seja, intervalos de tempo representativos dos períodos sazonais. A escolha deste modo de executar a modelação apenas se explica pelo tempo de execução do modelo. O ano de 2004 poderia ser totalmente modelado. Porém, uma repartição deste ano em diferentes períodos sazonais poderá ajudar numa melhor leitura e análise dos resultados da modelação, comparativamente com as concentrações observadas em alguns locais e os dados meteorológicos resultantes de estações de qualidade do ar.

Os dados meteorológicos, como a direcção e velocidade do vento, foram retirados de uma estação meteorológica, que se encontra localizada na VCI na cidade do Porto

((-41094,3; 167238,2) m, relativamente ao Datum 73), a qual se abordará no subcapítulo 3.3.6.3.

Os períodos característicos de variabilidade sazonal encontram-se descritos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Descrição dos períodos característicos da variabilidade sazonal.

Período sazonal	Período temporal	Direcção predominante do vento
Primavera	02/05/04 a 09/05/04	Norte (19,4%) / <u>Noroeste</u> (23,5%)
Verão	15/08/04 a 22/08/04	Norte (17,2%) / <u>Noroeste</u> (19,1%)
Outono	21/11/04 a 28/11/04	Sudeste (20,3%) / <u>Este</u> (22,2%)
Inverno	01/02/04 a 29/02/04	Nordeste / Este / Sudeste

Os períodos temporais considerados relativos à estação do ano tiveram em conta as percentagens da direcção do vento predominante. Por exemplo, a direcção do vento predominante na Primavera é Noroeste (23,5%). Sendo assim, escolheu-se uma semana na Primavera (de 20 de Março a 21 de Junho) em que os dias tivessem (quase) sempre a direcção do vento Noroeste. Porém, no Inverno, pela falta de dados meteorológicos do ano 2004 referente a esta estação do ano, não foi efectuada a análise anteriormente descrita. Como o Inverno se inicia a 22 de Dezembro e termina a 21 de Março, escolheu-se um mês que representa esta estação. Considerou-se, então, o mês de Fevereiro.

As Figuras 3.12 a 3.14 apresentam a predominância em termos percentuais da direcção do vento. Note-se que as figuras mostram o vento “soprando de” e não “soprando para”.

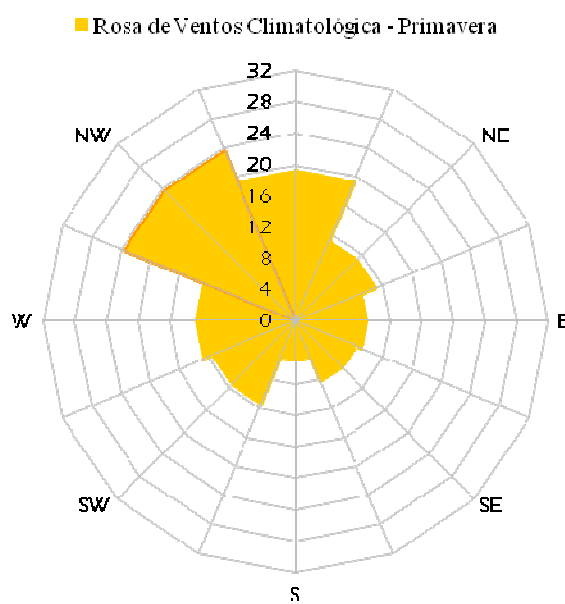


Figura 3.12 - Predominância dos ventos na Primavera (valores em porcentagem).

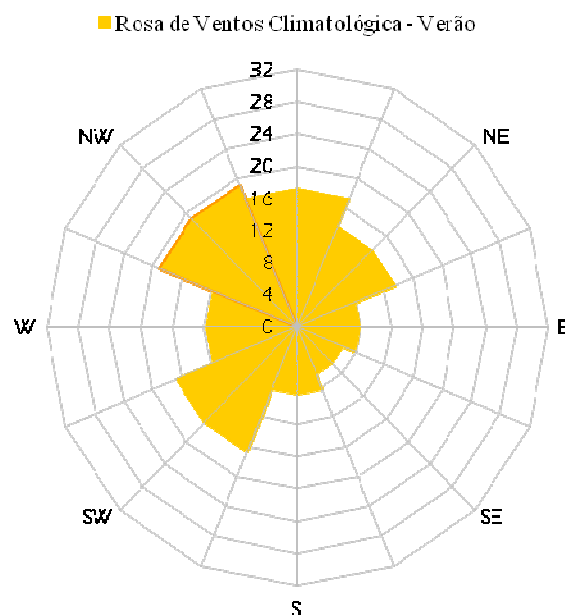


Figura 3.13 - Predominância dos ventos no Verão (valores em porcentagem).

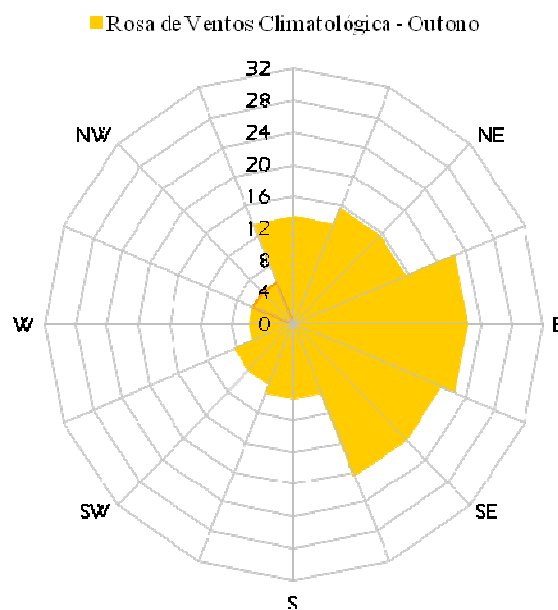


Figura 3.14 - Predominância dos ventos no Outono (valores em percentagem).

3.3.6 Validação

3.3.6.1 Conceito de validação

A garantia de credibilidade que os resultados obtidos por um modelo numérico apresentam é um factor determinante da utilidade prática dos mesmos. O conceito de validação pressupõe a comparação dos resultados obtidos pela modelação com valores observados no domínio de estudo. Este processo de validação poderá ser facilitado se previamente se compreender todos os parâmetros modelados comparativamente com dados que tenham sido observados (Costa, 2008).

Na modelação atmosférica, e principalmente neste trabalho, a validação deve ser efectuada ao nível da meteorologia, bem como ao nível das concentrações dos poluentes atmosféricos.

Como refere Ferreira (2007), “os indicadores de qualidade reflectem a capacidade que o modelo tem para simular os fenómenos reais. As aplicações de tais indicadores ajudam a compreender as limitações do modelo e fornecem um suporte para a inter-comparação

de modelos”. Claro que um único indicador de qualidade não consegue aferir a avaliação do modelo. Para além disso, ter-se-á de ter em atenção que os indicadores poderão estar a indicar possíveis falhas na simulação dos fenómenos reais, bem como possíveis falhas humanas na obtenção dos dados de entrada no modelo.

Um modelo pode ser avaliado em pelo menos três áreas: estatística, científica e operacional. A avaliação estatística envolve principalmente a comparação entre as previsões do modelo e as observações. Fornece informações concisas sobre o desempenho do modelo, mas é necessário ter em atenção que deve ser exercida para evitar uma possível situação em que o modelo produz respostas correctas, mas pelas razões erradas (ou seja, compensando erros). A avaliação científica examina os algoritmos do modelo e pressupostos físicos em detalhe, tendo em conta a sua precisão, eficiência e sensibilidade, e exige um conhecimento aprofundado da base científica do modelo. A avaliação operacional considera principalmente as questões relacionadas com a facilidade de utilização do modelo, tais como o manual do utilizador, a interface, os erros de verificação de entrada de dados, diagnósticos internos do modelo, dados de saída e a coerência da sua aplicação por outros utilizadores (Chang e Hanna, 2005).

A validação pode ser efectuada por uma análise de parâmetros estatísticos, como por exemplo: os desvios quadráticos médios entre os dados simulados e os dados observados, a correlação, os erros relativos e absolutos, etc.

Para o modelo utilizado neste estudo existem alguns trabalhos que vão no sentido de avaliarem o seu comportamento numérico em algumas regiões e em alguns períodos temporais. Daí que algumas limitações descritas no subcapítulo 3.3.4 tenham por base estes trabalhos e estejam permanentemente a serem actualizadas. Exemplos desses trabalhos são: “Application of TAPM to predict Photochemical Air Pollution over Portugal” de Ribeiro et al. (2007), “Evaluation of The Air Pollution Model TAPM (Version 2) for Adelaide” de Adeeb (2004), “Validation of The Air Pollution Model (TAPM) for Winters of 1999 to 2002 over Christchurch, New Zealand” de Zawar-Reza (2003).

3.3.6.2 Modelo de validação BOOT

Neste trabalho usou-se o modelo de validação – BOOT (Chang e Hanna, 2004). Este modelo de validação estatística tem sido usado principalmente para avaliar o desempenho de modelos de dispersão atmosférica. Todavia, os mesmos procedimentos e abordagens implementadas no BOOT também se aplicam a outros tipos de modelos.

O modelo BOOT fornece, principalmente, uma avaliação estatística. As observações podem ser directamente medidas por instrumentos, ou podem elas ser produtos de outros modelos ou análise dos procedimentos (Chang e Hanna, 2005).

Neste modelo de validação são recomendados os seguintes parâmetros de desempenho estatístico (Chang e Hanna, 2004):

- (1) “Fractional bias” (FB) - é utilizada para representar a diferença relativa entre o valor esperado e o valor verdadeiro numa gama limitada (-2 a 2);
- (2) “Geometric mean bias” (MG) - medida logarítmica (média geométrica da diferença entre o valor esperado e o valor verdadeiro do parâmetro a ser estimado);
- (3) “Normalized mean square error” (NMSE) - erro médio quadrático normalizado;
- (4) “Geometric variance” (VG) - variância geométrica;
- (5) “Correlation coefficient” (R) - coeficiente de correlação;
- (6) “The fraction of predictions within a factor of two of observations” (FAC2) - fracção das previsões dentro de um factor de duas das observações.

$$FB = \frac{(\overline{C_0} - \overline{C_p})}{0.5 (\overline{C_0} + \overline{C_p})} \quad (1)$$

$$MG = \exp(\overline{\ln C_0} - \overline{\ln C_p}) \quad (2)$$

$$NMSE = \frac{(C_0 - C_p)^2}{C_0 C_p} \quad (3)$$

$$VG = \exp\left[(\overline{\ln C_0} - \overline{\ln C_p})^2\right] \quad (4)$$

$$R = \frac{(C_0 - \bar{C}_0)(C_p - \bar{C}_p)}{\sigma_{C_p} \sigma_{C_0}} \quad (5)$$

$$\text{FAC2} = \text{fracção dos dados que satisfaçam } 0.5 \leq \frac{C_p}{C_0} \leq 2.0 \quad (6)$$

Onde:

C_p : previsões do modelo;

C_0 : observações;

\bar{C} : média de um conjunto de dados;

σ_C : Desvio padrão de um conjunto de dados.

Um modelo perfeito teria MG, VG, R, e FAC2 = 1,0; e FB e NMSE = 0,0. O desempenho das seis medidas definidas anteriormente, pode não avaliar completamente um modelo. Dependendo da finalidade e importância do estudo, outras medidas podem ser definidas e podem ser facilmente incorporadas no software BOOT (ver Chang e Hanna, 2005).

Os parâmetros FB e NMSE são fortemente influenciados por raras, mas altas concentrações observadas e previstas, enquanto que as medidas logarítmicas MG e VG proporcionam um tratamento mais equilibrado dos valores extremos. Portanto, para um conjunto de dados em que ambas as concentrações, previstas e observadas, variam em algumas ordens de grandeza, MG e VG provavelmente serão parâmetros mais adequados. FAC2, por outro lado, é o parâmetro mais robusto, porque não é excessivamente influenciado pelas altas e baixas concentrações. No entanto, MG e VG também são conhecidos por serem fortemente influenciados por valores extremamente baixos e são indefinidos para valores zero. Esses valores “extremos” não são raros na modelação onde, por exemplo, um baixo valor de concentração pode ser previsto num receptor onde não chega a pluma poluente. Portanto, ao calcular MG e VG é útil impor um limite para valores mínimos. O coeficiente de correlação reflecte a relação linear entre duas variáveis e, portanto, é insensível a qualquer factor aditivo ou multiplicativo (Chang e Hanna, 2005).

Os parâmetros estatísticos têm características próprias e acarretam intervalos de valores onde se podem tirar conclusões sobre particularidades do modelo utilizado. De acordo com os parâmetros utilizados neste trabalho, Park e Seok (2007) propõem intervalos de valores para esses mesmos parâmetros, adjectivando-os em “Bom”, “Razoável” e “Fraco”. Esses intervalos encontram-se descritos na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Descrição dos intervalos e classificação dos parâmetros de validação (adaptado de Park e Seok, 2007).

Parâmetro	Intervalo	Classificação	
FB	$-0,3 < FB < 0,3$	Bom	
	$1,0 < FB < 1,2$	Razoável	Subestimado
	$-1,2 < FB < -1,0$	Razoável	Sobrestimado
	$FB > 1,33$ ou $FB < -1,33$	Fraco	
NMSE	$NMSE < 4$	Bom	
	$9 < NMSE < 16$	Razoável	
	$25 < NMSE$	Fraco	
MG	$0,7 < MG < 1,3$	Bom	
	$3,0 < MG < 4,0$	Razoável	Subestimado
	$0,25 < MG < 0,33$	Razoável	Sobrestimado
	$MG > 5$ ou $MG < 0,2$	Fraco	
VG	$VG < 1,6$	Bom	
	$3,34 < VG < 6,82$	Razoável	
	$12 < VG$	Fraco	
FAC2	$0,5 < FAC2$	Bom	
	$0,3 < FAC2 < 0,4$	Razoável	
	$FAC2 < 0,2$	Fraco	

Através destes intervalos poder-se-á obter conclusões sobre se a modelação foi efectuada correctamente, se as concentrações obtidas poderão ser consideradas, e se forem, qual o seu grau de aceitabilidade, etc.

Estações de qualidade do ar

Os dados das estações meteorológicas que permitiram validar os resultados das simulações podem ser acedidos na internet no sítio da Agência Portuguesa do Ambiente, Qualar – Base de Dados On-line sobre Qualidade do Ar (<http://www.qualar.org>). A página do Qualar apresenta inúmeras estações espalhadas pelo país. Neste trabalho apenas interessam as estações da Rede de Qualidade do Ar do Norte, mais especificamente as estações que meçam concentrações de CO na GAMP e que sejam simultaneamente estações de fundo. Existem três tipos de estações, de acordo

com o tipo de influência: tráfego, fundo e indústrias. Neste trabalho pretende-se avaliar as concentrações de CO sem influência directa de indústrias e de tráfego. Consequentemente, as estações seleccionadas foram: estação de Vila Nova da Telha, no concelho da Maia, estação de Santo Tirso, no concelho de Santo Tirso e estação de Leça do Balio, concelho de Matosinhos (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 - Características das estações de CO cujos dados foram utilizados na validação do modelo (<http://www.qualar.org>).

Nome / Freguesia / Concelho	Data de início	Tipo de Ambiente / Influência	Zona	Coordenada X ¹² (m)	Coordenada Y ¹² (m)	Altitude (m)
Leça do Balio / Matosinhos	01-01-2000	Suburbana / Fundo	Porto Litoral (aglomeração)	177,61	6231,61	40
Santo Tirso / Santo Tirso	01-06-2003	Urbana / Fundo	Vale do Ave	12347,61	20426,60	-
Vila Nova da Telha / Maia	01-01-1999	Suburbana / Fundo	Porto Litoral (aglomeração)	-3486,70	11122,35	88

Para além das concentrações de CO foram utilizados dados meteorológicos na validação respeitantes à velocidade e direcção do vento e temperatura. A estação meteorológica, da qual se obteve esses dados meteorológicos, encontra-se localizada na VCI, mais propriamente na freguesia de Paranhos, concelho do Porto, com as coordenadas - 41094,3; 167238,2 m (Datum 73).

A Figura 3.15 mostra a localização das estações de qualidade do ar e da estação meteorológica da VCI.

¹² As coordenadas apresentam-se em relação ao ponto central escolhido.



Figura 3.15 - Localização das estações de qualidade do ar e da estação meteorológica.

3.3.7 Abordagens de análise às concentrações do TAPM

Depois de obtidas as concentrações do TAPM pelos diferentes cenários meteorológicos e validadas utilizando o modelo BOOT, tendo em consideração os dados das estações de qualidade do ar e meteorológicas, é necessário efectuar uma análise às mesmas. Os objectivos são perceber a dispersão do CO₂ produzido sobre a GAMP para a zona costeira adjacente sob diversos cenários meteorológicos representativos, avaliar o significado das concentrações sobre a zona costeira adjacente e, posteriormente, nas trocas de CO₂ entre o mar e atmosfera.

Assim, para atingir o objectivo de avaliar a significância dos resultados foram seguidas três abordagens:

- (i) Comparar os gradientes espaciais de concentração através da fronteira terra-mar na área de estudo com gradientes espaciais para estações de monitorização do CO₂ localizadas aproximadamente à mesma Latitude;

- (ii) Comparar as diferenças entre os níveis previstos de CO₂ ao longo da zona costeira e as concentrações de fundo com os coeficientes de variação inter-anual e de variação sazonal (intra-anual);
- (iii) Comparar as diferenças entre os níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e as concentrações de fundo com a precisão dos aparelhos de medição de CO₂ atmosférico.

Por outras palavras, as análises a efectuar às concentrações terão em conta a variabilidade espacial e temporal.

As estações que medem em contínuo CO₂ atmosférico podem ser acedidas na internet no sítio da Earth System Research Laboratory – National Oceanic & Atmospheric Administration (<http://www.esrl.noaa.gov>). Este sítio apresenta as estações de CO₂ do hemisfério Norte e do hemisfério Sul (Figura 3.16).

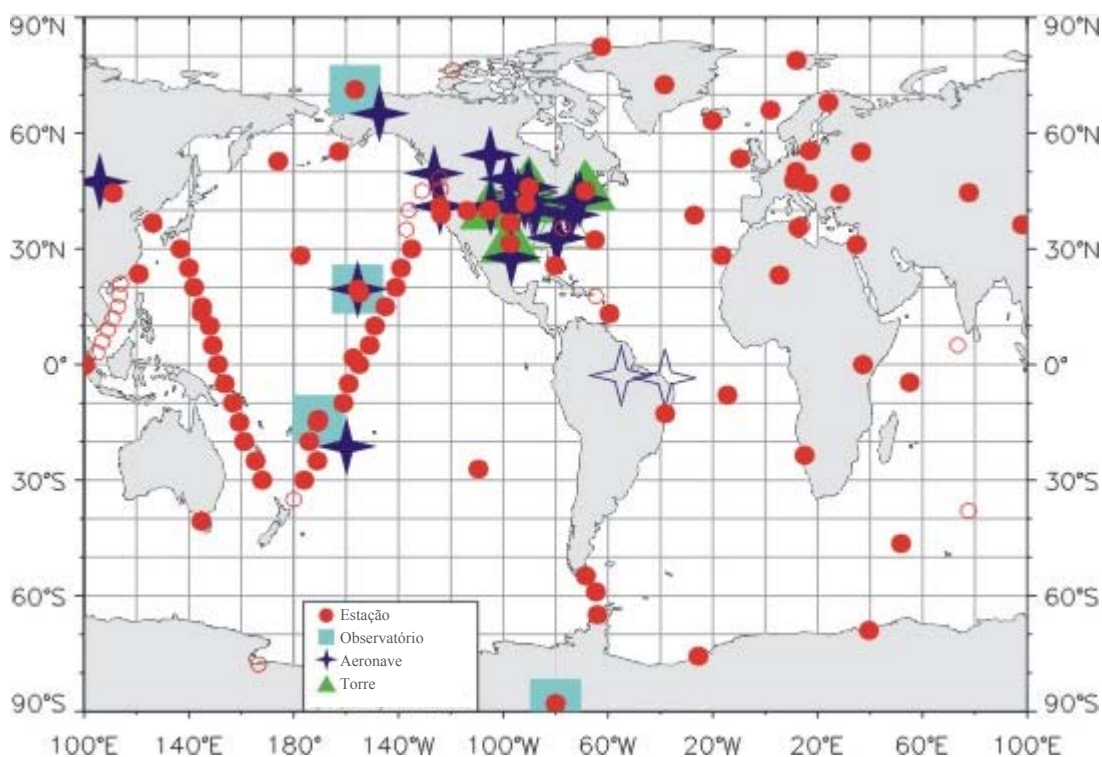


Figura 3.16 - Estações de CO₂ (adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

As estações escolhidas para poder fazer as comparações anteriormente citadas situam-se em torno de Portugal (Tabela 3.10). A Tabela 3.10 apresenta o local da estação, o tipo

de estação (de acordo com a legenda da Figura 3.16), as coordenadas geográficas (Longitude, Latitude e Altitude), bem as datas da primeira e última medição efectuadas.

As medições efectuadas por estas estações, bem como os gráficos com as respectivas concentrações, em ppm, encontram-se no Anexo IV. Para além das concentrações também se pode observar o incremento anual (%), o incremento anual em ppm, a percentagem de variação sazonal Inverno vs Verão e a variação sazonal em ppm.

Tabela 3.10 - Descrição das estações de CO₂ (<http://www.esrl.noaa.gov>).

Estação	Tipo	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Data da primeira medida	Data da última medida
Ilha Terceira - Açores	Superfície	27,38° O	38,77° N	40	31/12/1979	11/09/2008
Ilhas Canárias - Tenerife	Superfície	14,48° O	28,30° N	2360	16/11/1991	03/10/2008
Mace Head – County Galway - Irlanda	Superfície	9,90° O	53,33° N	25	03/06/1991	01/09/2008
Mar Negro - Constanta	Superfície	28,68° E	44,17° N	3	19/10/1994	22/09/2008
Hegyhatsal - Hungria	Superfície	16,65° E	46,95° N	248	02/03/1993	30/07/2008
Mauna Loa - Havai	Observatório	155,58° O	19,54° N	3	1958	18/11/2008

4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização das emissões dos concelhos da GAMP

Como referido anteriormente, a GAMP é formada por catorze concelhos. Para a caracterização das suas emissões de CO₂, estas foram divididas em seis sectores de actividade, abordados anteriormente no subcapítulo 3.2.1.

Considerando o inventário do IA e o agrupamento dos sectores pode analisar-se as emissões de CO₂ no período 1990-2004. O ano de 1990 é o ano de referência do inventário. Observando a Figura 4.1 verifica-se que os sectores “Indústrias de produção de energia”, “Indústrias transformadoras e de construção” e “Transportes” são os que representam a maior “fatia” na quantidade de emissões nacionais no período considerado. Os valores das emissões destes três sectores, praticamente, cresceram desde o ano de 1990 até ao ano de 2004, apresentando o sector “Indústrias de produção de energia” algumas oscilações.

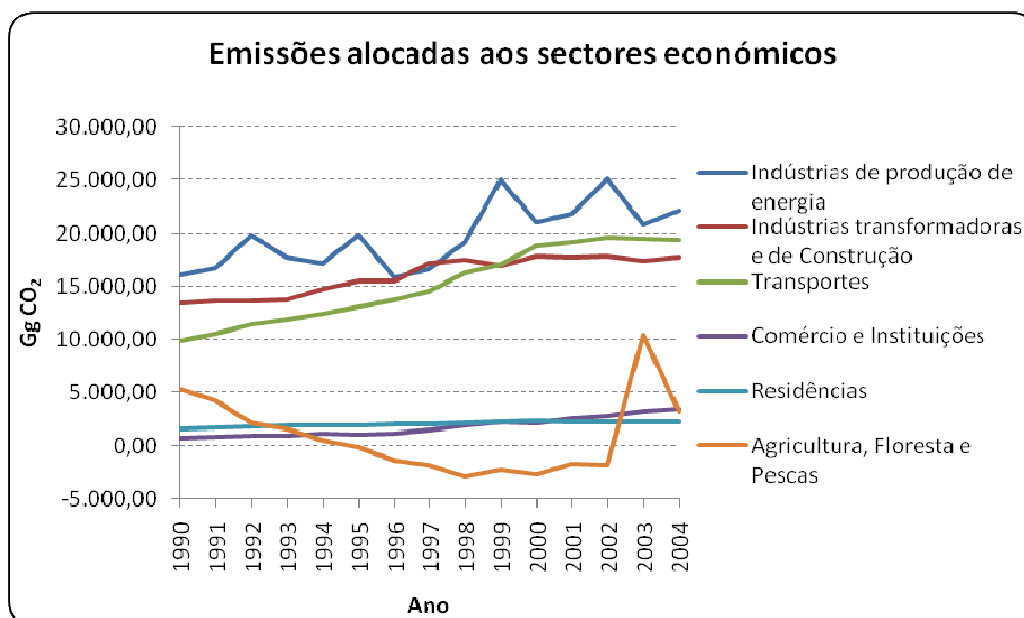


Figura 4.1 - Emissões de CO₂ por sector de actividade no período 1990-2004, a nível nacional

Os sectores “Residências” e “Comércio e Instituições” mantiveram os valores de emissões durante o período considerado, apenas este último sofrendo um ligeiro

acréscimo. O sector “Agricultura, Floresta e Pescas” manifestou uma tendência contrária aos outros sectores. Porém, do ano 2002 para o ano 2003, este sector cresceu em termos de emissões cerca de 670 %, decrescendo, em 2004, cerca de 69 %.

Analisando em pormenor os anos 2001 e 2004 (Figura 4.2), verifica-se o “peso” efectivo dos sectores “Indústrias de energia”, Indústrias transformadoras e de Construção” e “Transportes”. Observa-se, também, um ligeiro acréscimo na quantidade de emissões em todos os sectores de actividade.

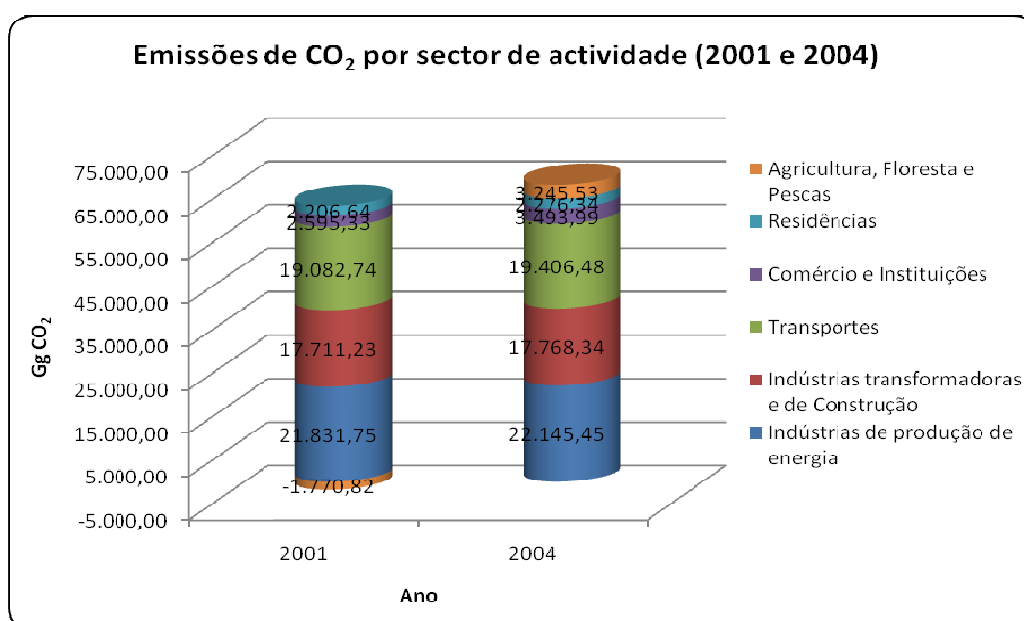


Figura 4.2 - Emissões de CO₂ por sector de actividade nos anos 2001 e 2004, a nível nacional

No subcapítulo 3.2 foi explicado o processo de construção da base de dados de emissões. A partir dessa mesma base de dados algumas ilações podem ser aferidas. As Figuras 4.3 e 4.4, elaboradas a partir da base de dados de emissões, sugerem que os sectores com maior impacto nas emissões são as “Indústrias de produção de energia”, os “Transportes”, e as “Indústrias transformadoras e de construção”, estas principalmente localizadas nos concelhos de Gondomar, Maia e Matosinhos.

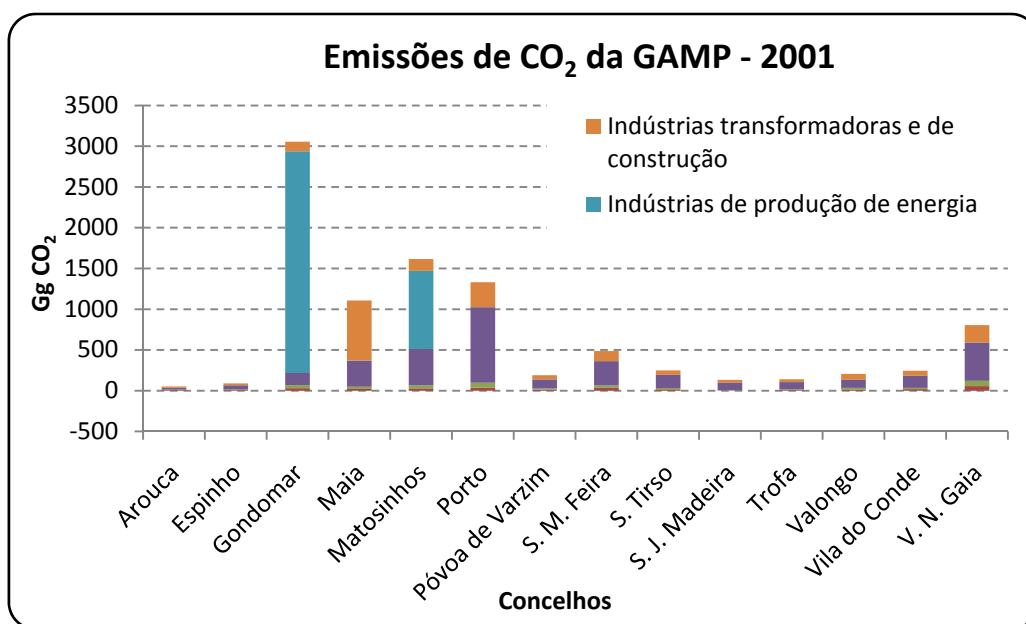


Figura 4.3 - Caracterização das emissões de CO₂ dos concelhos da GAMP por sector de actividade em 2001

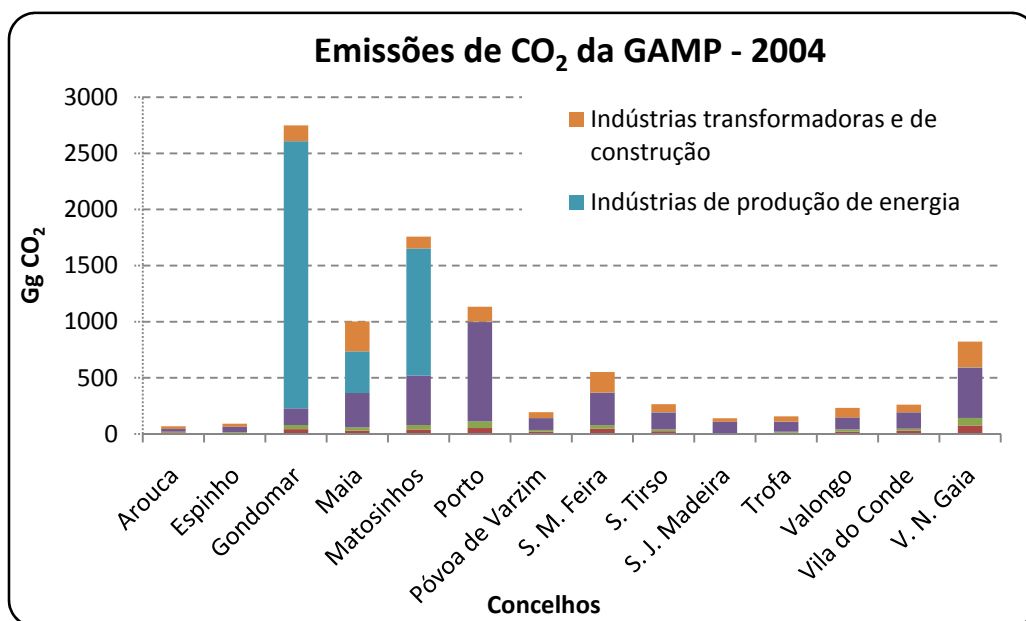


Figura 4.4 - Caracterização das emissões de CO₂ dos concelhos da GAMP por sector de actividade em 2004

A interpretação da Figura 4.5 aponta para uma ligeira diminuição das emissões de CO₂ em alguns concelhos da GAMP, do ano de 2001 para o ano de 2004. Porém, em alguns concelhos, como por exemplo Matosinhos e Vila Nova de Gaia, observa-se um ligeiro acréscimo nas emissões de CO₂.

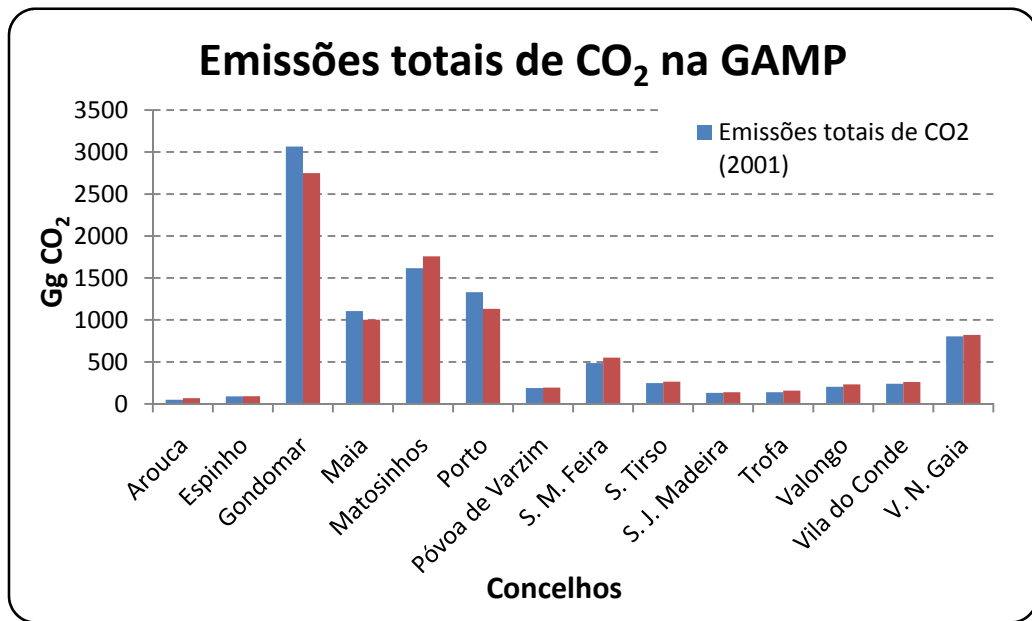


Figura 4.5 - Comparação das emissões totais de CO₂ dos concelhos da GAMP de 2001 e 2004

A maior “fatia” das emissões da GAMP está nos concelhos Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto e Vila Nova de Gaia.

As Figuras 4.6 – 4.15 mostram a distribuição das emissões pelas freguesias.

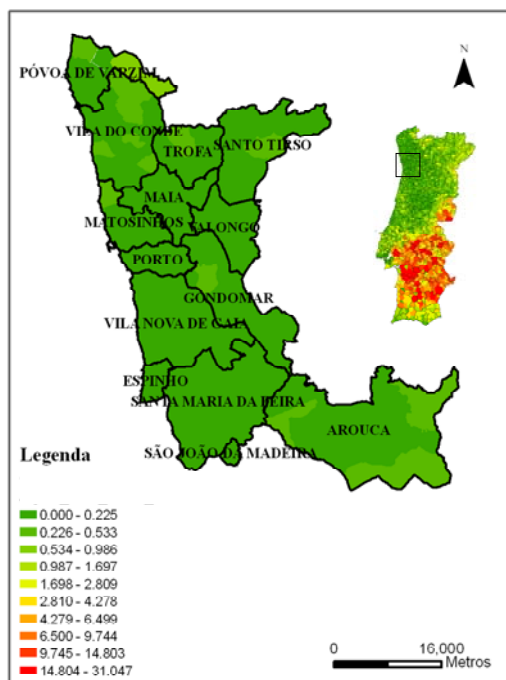


Figura 4.6 - Emissões de CO₂ do sector “Agricultura, Floresta e Pescas” dos concelhos da GAMP

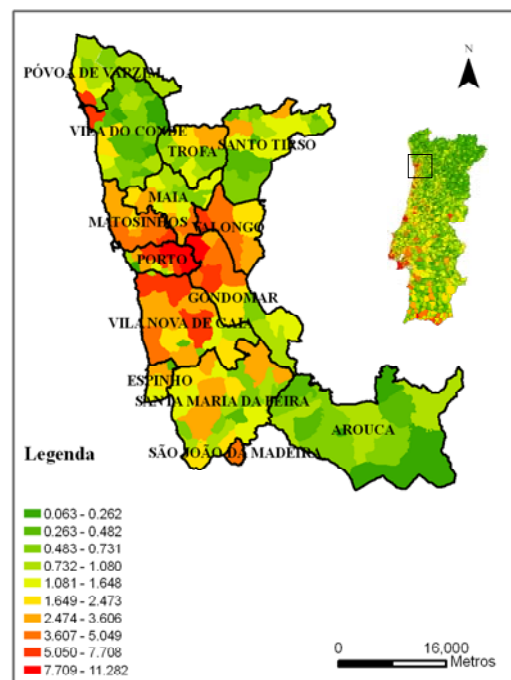


Figura 4.7 - Emissões de CO₂ do sector “Comércio e Instituições” dos concelhos da GAMP

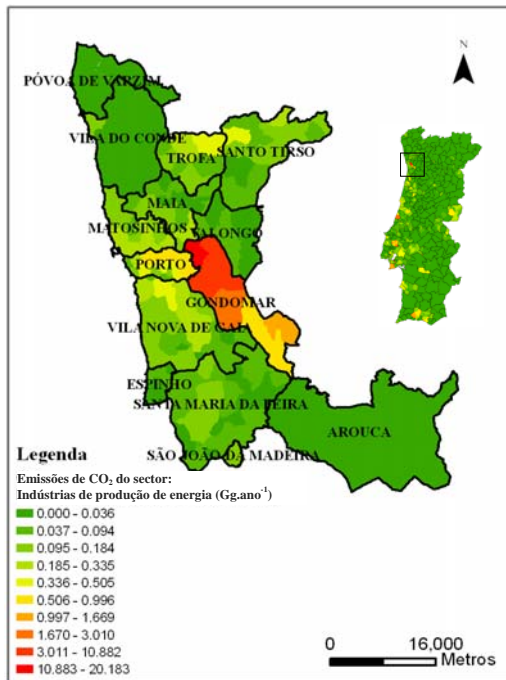


Figura 4.8 - Emissões de CO₂ do sector “Indústrias de produção de energia” dos concelhos da GAMP

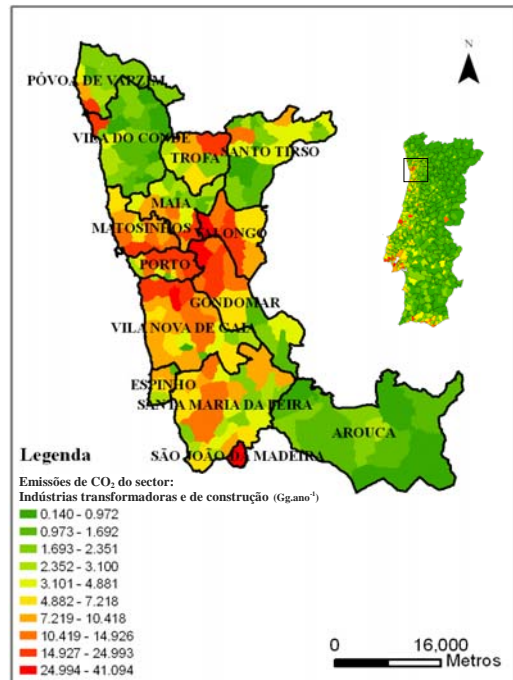


Figura 4.9 - Emissões de CO₂ do sector “Indústrias transformadoras e de construção” dos concelhos da GAMP

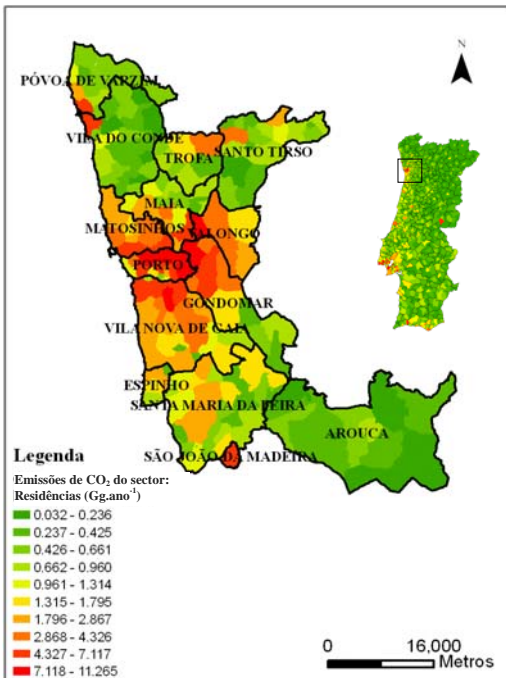


Figura 4.10 - Emissões de CO₂ do sector “Residências” dos concelhos da GAMP

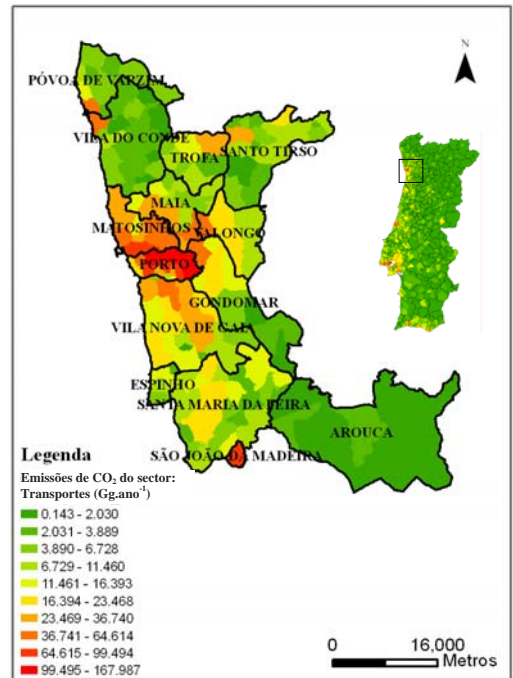


Figura 4.11 - Emissões de CO₂ do sector “Transportes” dos concelhos da GAMP

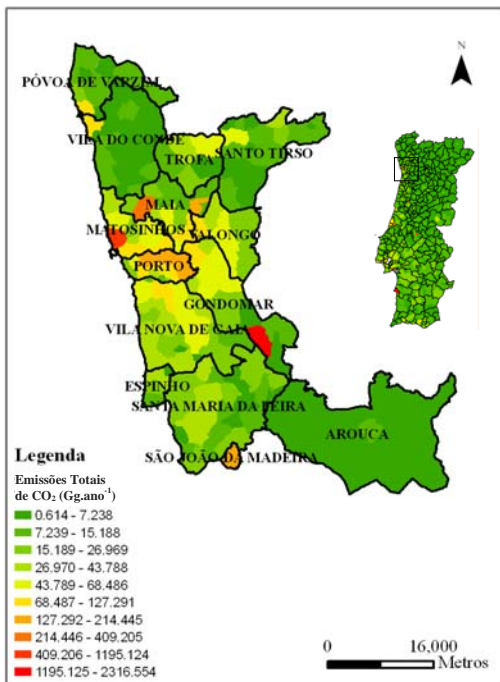


Figura 4.12 - Emissões totais de CO₂ dos concelhos da GAMP

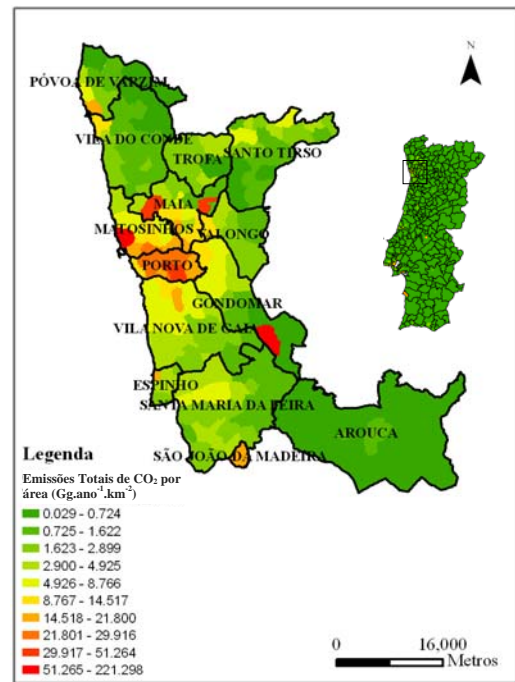


Figura 4.13 - Emissões totais de CO₂ por área dos concelhos da GAMP

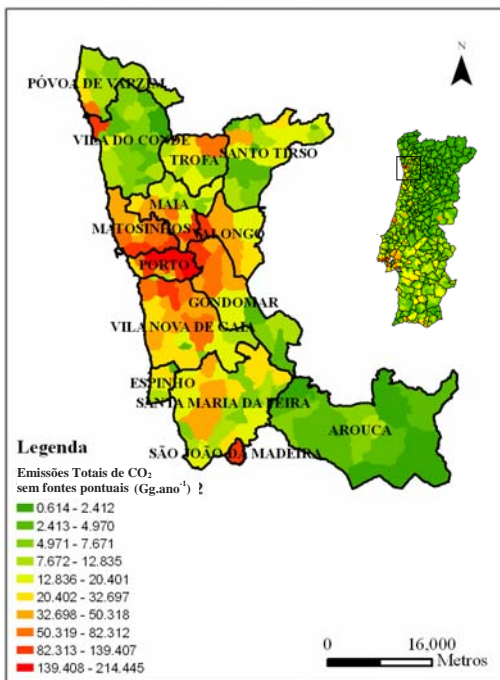


Figura 4.14 - Emissões totais de CO₂ sem fontes pontuais dos concelhos da GAMP

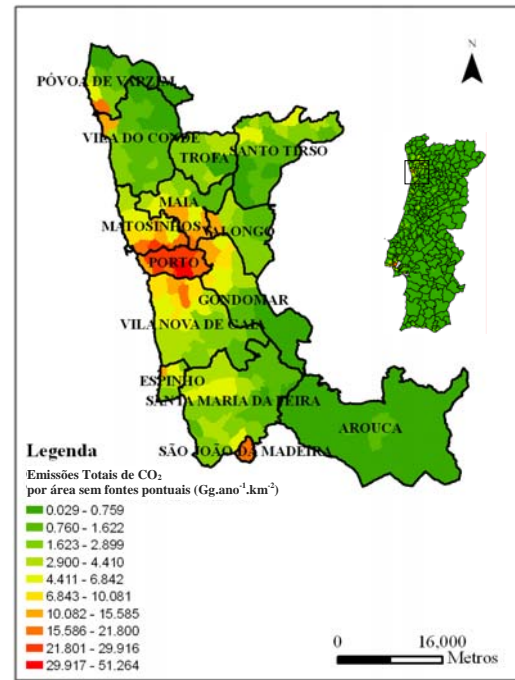


Figura 4.15 - Emissões totais de CO₂ por área sem fontes pontuais dos concelhos da GAMP

No sector “Agricultura, Floresta e Pesca”, as emissões na GAMP são bastante diminutas (Figura 4.6) são comparativamente com o espectro nacional. Isto deve-se ao facto de a

Superfície Agrícola Utilizada (SAU) da GAMP representar, apenas, 16 a 17 % da SAU nacional.

O sector “Comércio e Instituições” (Figura 4.7), desagregado com base no número de edifícios, apresenta uma quantidade de emissões maior nos locais onde se encontram as sedes de concelho e nos concelhos da zona central da GAMP.

As emissões do sector “Indústrias de produção de energia”, como referido anteriormente no subcapítulo 3.2.1, foram primeiramente desagregadas para concelhos, com base nos consumos de fuel e gás natural e posteriormente para freguesia através da população residente. Note-se que neste sector foram subtraídas as emissões das grandes fontes pontuais, referido no subcapítulo 3.2.1. Consequentemente, a quantidade de emissões manifesta um valor aparentemente reduzido (Figura 4.8), apresentando os concelhos de Gondomar e Porto os valores mais elevados.

O sector “Indústrias transformadoras e de construção” mostra valores elevados de emissões tendo em conta a desagregação efectuada (Figura 4.9). Recorde-se que a desagregação foi realizada, de NUT I para NUT IV, com base no número de empresas e sociedades ligadas à indústria extractiva, transformadora e construção e, posteriormente, de NUT IV para NUT V, alicerçada na população residente. Também neste sector às emissões nacionais foram subtraídas as emissões das grandes fontes pontuais.

O sector “Residências” foi desagregado directamente de NUT I para NUT V, tendo em conta a população residente. Sendo assim, este mapa (Figura 4.10) poderá parecer idêntico ao mapa do sector “Comércio e Instituições” (Figura 4.7), mas na realidade existem algumas diferenças, nomeadamente no pormenor em que os edifícios nem sempre apresentam população residente.

Por último, o sector “Transportes” (Figura 4.11) apresenta a maior fatia nas emissões de CO₂ em área, pois nos sectores “Indústria de produção de energia” e “Indústrias transformadoras e de construção” foram subtraídas as emissões das grandes fontes pontuais. Os concelhos centrais da GAMP são os que evidenciam um maior “peso” neste sector. Este aspecto entende-se pela maior afluência de automóveis a circular nestes concelhos. Note-se que as emissões deste sector foram desagregadas com base no pessoal ao serviço nas sociedades. Sendo assim, como existe uma grande porção da população a trabalhar nos concelhos centrais, é natural que emissões sejam maiores também nestes concelhos.

Em relação às emissões totais dos concelhos da GAMP, a Figura 4.12 mostra algumas freguesias de alguns concelhos, nomeadamente de Gondomar, da Maia, de Matosinhos e do Porto, com maior quantidade de emissões. É exactamente nestas freguesias onde se situam as grandes fontes pontuais, que apresentam emissões de uma ordem de grandeza superior comparativamente com as emissões de alguns sectores atrás mencionados. No entanto, se se dividir as emissões totais de cada freguesia pela sua área (Figura 4.13) obtém-se um espectro algo diferente do anterior. Para além dos sítios onde se encontram localizadas as fontes pontuais, o concelho do Porto obtém uma quantidade de emissões por área bastante significativa.

Se se analisar as emissões totais da GAMP sem as fontes pontuais (Figura 4.14), adquire-se um panorama onde se visualiza uma maior quantidade de emissões na zona central da GAMP ou, de uma outra forma e mais específica, nos locais onde a população residente é maior. A Figura 4.15 mostra as emissões totais por área sem se considerar as fontes pontuais.

4.2 Validação dos resultados do modelo TAPM

Os resultados das simulações efectuadas através do modelo TAPM, foram validadas tendo em conta, não o CO₂, mas o CO, como referido no subcapítulo 3.2.1.

Os dados das estações meteorológicas que permitiram validar os resultados das simulações pertencem às estações de Vila Nova da Telha, no concelho da Maia, de Santo Tirso, no concelho de Santo Tirso e de Leça do Balio, concelho de Matosinhos, como referido no subcapítulo 3.3.6.2.

Os parâmetros que permitiram validar as concentrações estimadas pelo modelo TAPM, e que são mostrados no ficheiro de saída do modelo BOOT são: SIGMA (desvio padrão), BIAS, NMSE, CORR, FA2 (designado FAC2) e FB.

Na Tabela 4.1 pode observar-se a avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT, tendo em conta as concentrações de CO.

Tabela 4.1 - Avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT com base nas previsões e observações de CO, para as estações identificadas na Fig. 3.15 (validação da componente de poluição).

Estação	Período sazonal	Parâmetros do modelo BOOT		
		NMSE	FA2	FB
Leça do Balio	Inverno	Bom	Bom	Bom
	Primavera	Bom	Bom	Bom
	Verão	Bom	Bom	Bom
	Outono	Bom	Bom	Bom
Santo Tirso	Inverno	Bom	Bom	Bom
	Primavera	Bom	Razoável	Bom
	Verão	Bom	Razoável	Bom
	Outono	Bom	Bom	Bom
Vila Nova da Telha	Inverno	Bom	Bom	Bom
	Primavera	Bom	Bom	Bom
	Verão	-	-	-
	Outono	Bom	Bom	Bom

Nota: A estação de Vila Nova da Telha não apresenta dados no Verão.

Pela observação dos três parâmetros estatísticos das três estações nos diferentes períodos sazonais pode-se referir que as concentrações de CO geradas pelo modelo TAPM são boas, o que leva a inferir que as concentrações de CO₂ apresentem valores fiáveis.

Depois de efectuada a validação da componente de poluição passou-se à validação da componente meteorológica. Na Tabela 4.2 pode observar-se a avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT, tendo em conta a temperatura, a velocidade do vento e a direcção do vento, características meteorológicas geradas pelo modelo TAPM comparadas com a estação da VCI.

Tabela 4.2 - Avaliação dos parâmetros estatísticos do modelo BOOT (validação da componente meteorológica).

		Parâmetros do modelo BOOT		
Parâmetro meteorológico	Período sazonal	NMSE	FA2	FB
Temperatura	Inverno	-	-	-
	Primavera	Bom	Bom	Bom
	Verão	Bom	Bom	Bom
	Outono	Bom	Bom	Bom
Velocidade do vento	Inverno	-	-	-
	Primavera	Bom	Bom	Bom
	Verão	Bom	Bom	Bom
	Outono	Bom	Bom	Bom
Direcção do vento	Inverno	-	-	-
	Primavera	Bom	Bom	Bom
	Verão	Bom	Bom	Bom
	Outono	Bom	Bom	Bom

Pela observação dos três parâmetros estatísticos nos diferentes períodos sazonais pode referir-se que a componente meteorológica gerada pelo modelo TAPM apresenta bons resultados.

4.3 Concentrações de CO₂ do TAPM

Os resultados gerados pelo TAPM mostram-se nas Figuras 4.16 - 4.19. Como referido no subcapítulo 3.3.5, os cenários considerados representam os períodos sazonais (Primavera, Verão, Outono e Inverno) do ano de 2004. As diferentes figuras apresentam as concentrações de CO₂ no domínio do modelo. As concentrações aqui mostradas representam as concentrações médias, durante os períodos simulados.

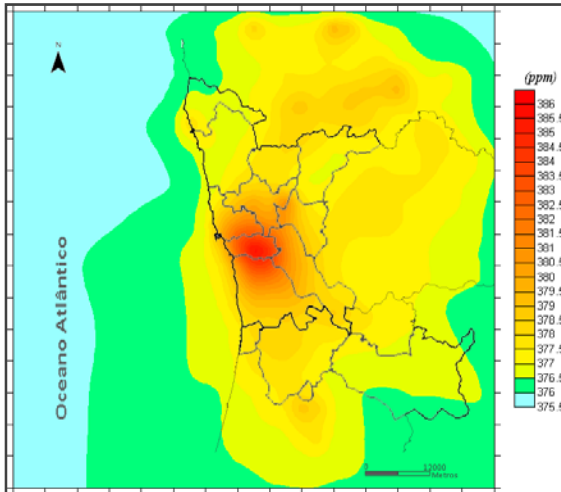


Figura 4.16 - Concentrações de CO₂ atmosférico na Primavera.

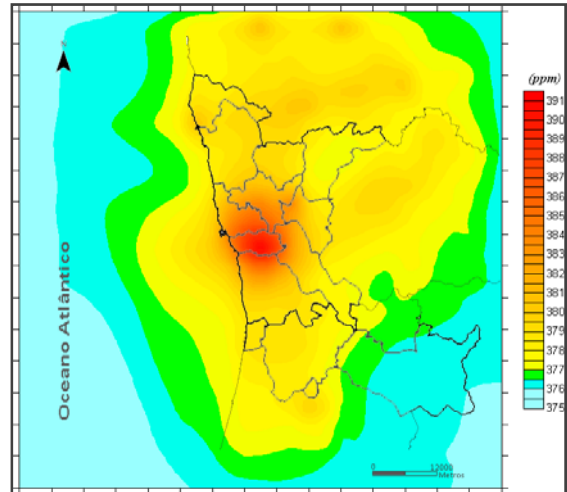


Figura 4.17 - Concentrações de CO₂ atmosférico no Verão.

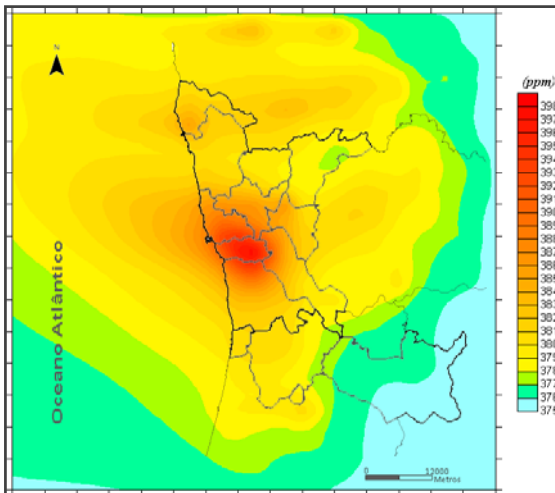


Figura 4.18 - Concentrações de CO₂ atmosférico no Outono.

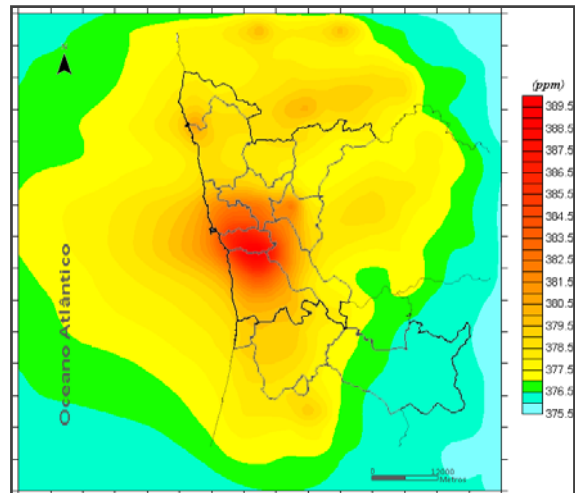


Figura 4.19 - Concentrações de CO₂ atmosférico no Inverno.

De notar que todas as figuras, ou seja, todos os períodos sazonais apresentam concentrações diferentes. É conveniente relembrar que as concentrações obtidas pelo TAPM são até 10 m de altitude, facto que se insere no âmbito deste trabalho, ou seja, analisar também os fluxos atmosfera-oceano de CO₂.

4.4 Análise das concentrações de CO₂

As concentrações, médias e máximas, da grelha 3000x3000 m², obtidas pela simulação do modelo TAPM para os diferentes períodos sazonais encontram-se no Anexo V.

Não é surpreendente que as emissões da GAMP tenham alguma influência sobre a zona costeira próxima, como mostrado nas Figuras 4.16 a 4.19. No entanto, a questão importante é avaliar se é ou não essa influência significativa.

Antes de se efectuar qualquer possível análise à influência significativa das emissões da GAMP sobre a zona costeira próxima convém salientar que não existem estações dentro do domínio de estudo que meçam CO₂. Sendo assim, torna-se complicado avaliar se os resultados gerados pelo TAPM são ou não significativos. Todavia, como referido no subcapítulo 3.3.7, procedeu-se à análise das concentrações de CO₂ tendo em consideração três abordagens diferentes, que serão, de seguida, explicadas detalhadamente. De forma a efectuar uma análise mais rigorosa optou-se por dividir as concentrações em domínios conhecidos (Figuras 4.20 e 4.21) e analisá-las separadamente, e perceber até que distância as emissões da GAMP afectam significativamente as concentrações sobre a zona costeira de mar.

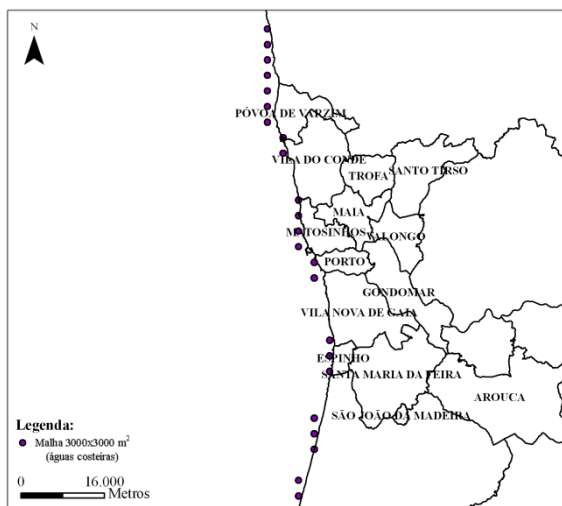


Figura 4.20 - Águas costeiras (1 milha náutica)

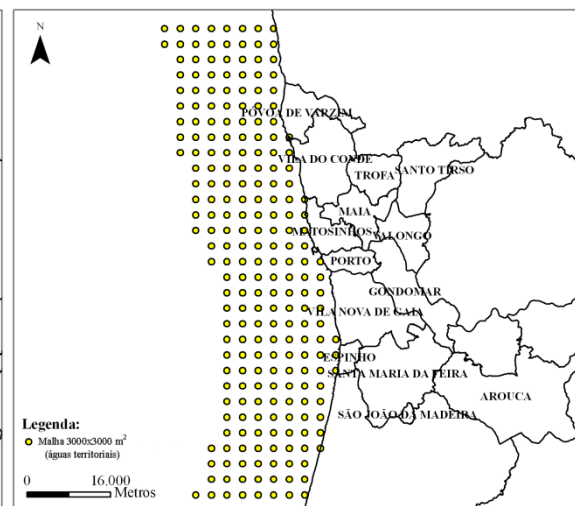


Figura 4.21 - Águas territoriais (12 milhas náuticas)

As Figuras 4.20 e 4.21 ilustram, respectivamente, a divisão de zonas, conhecidas como águas costeiras (1 milha náutica¹³) e águas territoriais (12 milhas náuticas).

¹³ 1 milha náutica equivale a 1852 m.

(i) Gradientes espaciais:

Para analisar se as concentrações obtidas pelo TAPM, influenciadas pela GAMP, podem ou não ter algum significado sobre a zona costeira adjacente, pode efectuar-se um estudo sobre a variabilidade espacial das concentrações nas estações referidas, que medem CO₂, e compará-lo com a variabilidade espacial obtida nas diferentes células da grelha de 3000x3000 m².

Sendo este um processo complicado, pois a variação das concentrações acontece tanto em Latitude como em Longitude, optou-se por analisar a variabilidade entre as estações dos Açores e da Roménia e entre as estações da Hungria e Roménia que diferem muito pouco em termos de Latitude (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Gradiente de concentrações entre algumas estações.

Estações	Distância (km)	Gradiente de concentrações (ppm.km⁻¹)
Açores - Roménia	4618,60	2,40×10 ⁻³
Hungria - Roménia	922,11	6,99×10 ⁻³

Comparando o gradiente entre países com os gradientes das concentrações geradas pelo TAPM (Tabela 4.4), verifica-se que estes últimos são bastante superiores relativamente ao das estações Hungria-Roménia, independentemente do período sazonal. Verifica-se, também, que no Outono, o gradiente é bastante superior ao dos outros períodos sazonais. Todavia, observa-se que à medida que se afasta da costa o gradiente vai diminuindo.

Tabela 4.4 - Gradiente de concentrações do TAPM entre zonas.

		Período sazonal			
		Inverno	Primavera	Verão	Outono
Zona		Gradiente de concentrações (ppm.km ⁻¹)			
Águas territoriais	Entre o litoral e 3 milhas da costa	2,32×10 ⁻¹	1,21×10 ⁻¹	2,58×10 ⁻¹	3,13×10 ⁻¹
	Entre 3 e 6 milhas da costa	8,77×10 ⁻³	3,02×10 ⁻²	7,76×10 ⁻²	1,25×10 ⁻¹
	Entre 6 e 12 milhas da costa	4,59×10 ⁻³	1,75×10 ⁻²	5,01×10 ⁻²	8,11×10 ⁻²
Fora das Águas territoriais	Entre 12 e 26 milhas da costa	2,48×10 ⁻³	6,89×10 ⁻³	1,95×10 ⁻²	5,37×10 ⁻²

A ordem de grandeza do gradiente espacial entre as estações é de 10⁻³. A ordem de grandeza do gradiente previsto é a mesma a partir das 3 milhas, para o Inverno, das 12 milhas, para a Primavera, e é sempre superior para as outras estações do ano.

(ii) Níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e de concentrações de fundo e coeficientes de variação inter-anual e de variação sazonal

Outra forma de se poder analisar o possível significado dos valores obtidos será comparar os níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e de concentrações de fundo com os coeficientes de variação inter-anual e de variação sazonal (intra-anual). Em Dezembro de 2003 a concentração média troposférica de CO₂ rondou os 375,7 ppmv (<http://cdiac.ornl.gov>). As medições das concentrações de CO₂ tiveram, efectivamente, início no ano de 1958 em Mauna Loa, Havai (NOAA, 1997), com o Dr. Charles D. Keeling a ser o grande pioneiro nesta área. A concentração deste gás, nesse ano, era de 315,98 ppmv. Até aos dias de hoje a concentração de CO₂ tem vindo a aumentar sucessivamente. O incremento médio anual sofrido na concentração ronda os 0,41%, o que equivale dizer um aumento anual de cerca de 1,44 ppm (<http://cdiac.ornl.gov>). De 2003 para 2004, o incremento anual sofrido foi de 0,46%, ou seja, de cerca de 1,74 ppm. A Tabela 4.5 mostra as concentrações médias e o incremento percentual médio sofrido relativamente à concentração média troposférica

em 2003, nas zonas “águas costeiras” e “águas territoriais”, nos períodos sazonais Inverno, Primavera, Verão e Outono.

Tabela 4.5 - Concentrações médias de CO₂ e incremento percentual.

Zona	Período sazonal			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
	Concentração média (ppm) / Percentagem (%)			
Águas costeiras	379,01 / 0,88	376,71 / 0,27	378,22 / 0,67	381,47 / 1,56
Águas territoriais	377,69 / 0,53	376,20 / 0,13	376,88 / 0,31	379,56 / 1,03

Comparando os incrementos observados na Tabela 4.5 com o incremento médio anual sofrido na concentração de cerca de 0,41% verifica-se que, na Primavera, o incremento em qualquer uma das zonas, relativamente à concentração de fundo, é inferior ao incremento anual. Na zona “águas costeiras” o incremento é superior tanto no Inverno, como no Verão e Outono. Relativamente à zona “águas territoriais” o incremento apenas é superior nos períodos sazonais Inverno e Outono.

Analisando em pormenor a zona “águas territoriais”, ou seja, subdividindo em partes mais pequenas (ver Tabela 4.6), consegue perceber-se até onde é que as concentrações da GAMP ainda podem ter uma influência óbvia.

Tabela 4.6 - Incremento nas concentrações de CO₂ na Zona “Águas territoriais” e para além dessa zona.

Zona		Período sazonal		
		Inverno	Verão	Outono
		Concentração média (ppm) / Percentagem (%)		
Águas territoriais	Entre o litoral e 3 milhas da costa	378,40 / 0,72	377,60 / 0,50	380,57 / 1,30
	Entre 3 e 6 milhas da costa	377,74 / 0,54	376,91 / 0,32	379,67 / 1,06
	Entre 6 e 12 milhas da costa	377,23 / 0,41	376,41 / 0,19	378,89 / 0,85
Fora das Águas territoriais	Entre 12 e 26 milhas da costa	376,80 / 0,29	375,96 / 0,07	377,81 / 0,56

Pode observar-se na Tabela 4.6 que no Inverno o incremento de CO₂ deixa de ser considerável depois das 6 milhas. No Verão, ainda é considerável até 3 milhas da costa. Porém, no Outono, o incremento na concentração de CO₂ é bastante significativo até às 26 milhas, que é o limite máximo do domínio de estudo.

Ainda em termos de variabilidade temporal, as concentrações sofrem uma variação significativa consoante o período sazonal (Tabela 4.7). Esta variação deve-se, em parte, ao facto de nas estações do ano em que a radiação solar é mais intensa o processo de fotossíntese também ser mais acentuado, o que provoca uma diminuição nas concentrações de CO₂. As Tabelas 4.7 e 4.8 mostram, respectivamente, a variabilidade sazonal das estações anteriormente referidas para o ano de 2004 e o coeficiente de variação sazonal das mesmas estações desde o início da sua actividade.

Tabela 4.7 - Variabilidade temporal das concentrações de CO₂ nas estações em 2004.

	Estações				
	Ilha Terceira Açores	Ilhas Canárias Tenerife	Mace Head County Galway Irlanda	Mar Negro Constanta Roménia	Hegyhatsal Hungria
	Concentrações (ppm)				
Inverno (Fevereiro)	380,34	378,63	381,74	390,01	392,47
Primavera (Maio)	380,49	379,36	381,21	382,61	376,79
Verão (Agosto)	371,89	373,59	369,48	384,29	368,09
Outono (Novembro)	376,66	376,75	377,69	396,34	393,79
Variabilidade sazonal	8,45	5,04	12,26	5,72	24,38

Tabela 4.8 - Coeficiente de variação sazonal (Inverno vs Verão) das concentrações de CO₂ nas estações desde o início da sua actividade.

	Estações				
	Ilha Terceira Açores	Ilhas Canárias Tenerife	Mace Head County Galway Irlanda	Mar Negro Constanta Roménia	Hegyhatsal Hungria
Coeficiente de variação sazonal das concentrações (%)	2,61	1,77	3,57	4,87	7,61

Comparando qualquer um destes coeficientes com os incrementos das concentrações de CO₂ relativamente à concentração de fundo dentro do domínio de estudo (ver Tabela 4.5) observa-se que esses incrementos são bastante inferiores, o que pode levar a concluir que as concentrações obtidas por influência da GAMP apresentam uma reduzida importância. Todavia, esses incrementos aproximam-se dos coeficientes de variação sazonal das estações da ilha Terceira e Canárias, quando a uma distância relativamente perto da costa, que são as estações mais próximas do domínio de estudo.

(iii) Precisão dos aparelhos de medição de CO₂ atmosférico

Uma forma prática de associar um significado às concentrações é analisar a precisão dos aparelhos de medição de CO₂ atmosférico.

Existem vários aparelhos no mercado (ex. Vaisala, Epluse, etc). Porém, muitos destes são indicados para aplicações industriais. Um aparelho indicado para medir CO₂ atmosférico baseado em difusão seria a sonda de dióxido de carbono Vaisala CARBOCAP (Vaisala Instruments Catalog, 2008). Este tipo de aparelho apresenta precisões (sem ruído) a 25 °C e 1013 hPa após calibração de fábrica com diferentes intervalos de valores. Entre 0 e 1000 ppm apresenta um erro de ±3 ppm e entre 0 e 2000 ppm apresenta um erro de ±5 ppm.

Esta sensibilidade pode ajudar na interpretação da significância dos valores das concentrações obtidas pelo TAPM. Uma forma será interpretar o valor da sensibilidade

do aparelho como sendo o valor a partir do qual as concentrações de CO₂ passam a ter significado efectivo face à tecnologia actual de monitorização.

Sendo assim, e com base no valor da sensibilidade do aparelho de medição, as Figuras 4.22 a 4.25 mostram os locais onde as concentrações se apresentam acima do valor indicado.

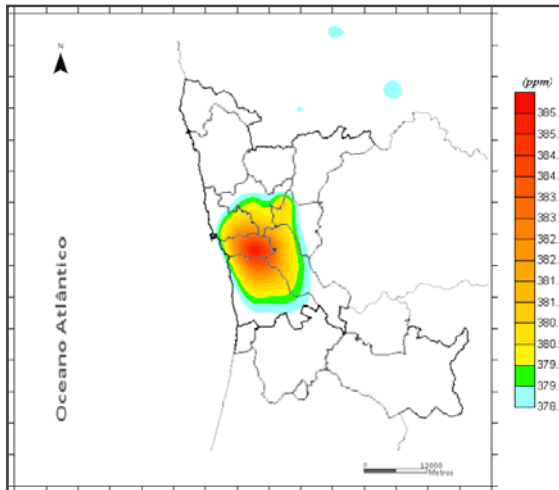


Figura 4.22 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO₂ atmosférico na Primavera, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO₂.

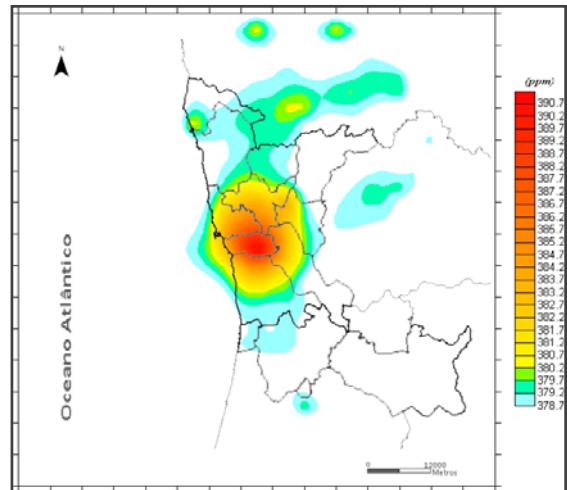


Figura 4.23 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO₂ atmosférico no Verão, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO₂.

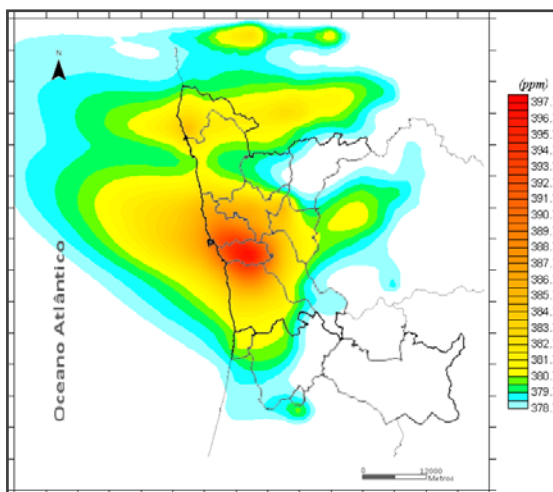


Figura 4.24 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO₂ atmosférico no Outono, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO₂.

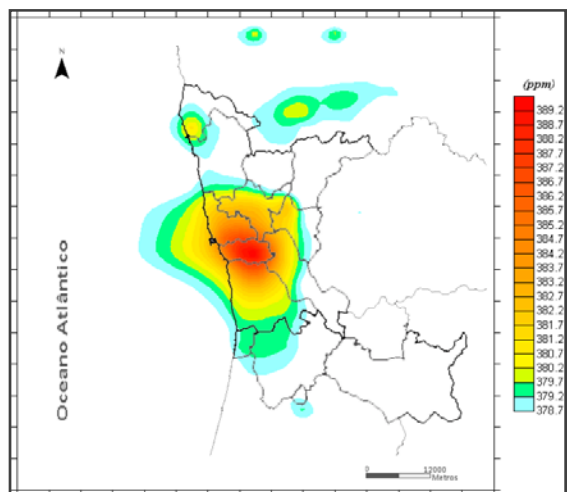


Figura 4.25 - Diferenças entre concentrações previstas e a concentração média troposférica de CO₂ atmosférico no Inverno, superiores à sensibilidade dos aparelhos de medida do CO₂.

Através das Figuras 4.22 a 4.25 comprova-se o que foi referido anteriormente, ou seja, que na Primavera (Figura 4.22) a influência das emissões da GAMP sobre a zona costeira adjacente não é praticamente nenhuma; no Verão (Figura 4.23) apenas tem influência junto aos concelhos de Matosinhos, Porto e Vila Nova de Gaia; no Inverno (Figura 4.24) tem influência a uma distância maior que no período anterior; no Outono (Figura 4.25) a influência é significativa em grande parte do domínio de mar estudado. Em função dos regimes de vento dominantes, do quadrante NW na Primavera-Verão, as emissões são impulsionadas para terra e, de outros quadrantes no Outono-Inverno, facilitando a sua saída para o mar.

Tendo em consideração as análises à variabilidade quer temporal quer espacial das concentrações geradas pelo TAPM, verifica-se que, apesar das limitações dessas mesmas análises, pois recorde-se que não existe nenhuma estação que meça CO₂ no interior do domínio de estudo, estas apresentam um significado que se pode considerar importante em algumas épocas do ano. Pode referir-se, então, que as emissões da GAMP, dependendo do período sazonal, têm uma influência importante nas concentrações sobre a zona costeira adjacente, em função dos critérios seleccionados.

4.5 Análise dos fluxos de CO₂ na zona costeira adjacente

No subcapítulo 2.5 analisou-se o papel do oceano e, especificamente, das zonas costeiras no que respeita às trocas de CO₂. Frankignoulle et al. (1998) elaboraram um estudo em que mediram, em nove estuários europeus, a pressão parcial de dióxido de carbono (pCO₂) nas águas de superfície e as trocas atmosféricas. Um desses estuários foi precisamente o Douro (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Dados de pCO₂ (água), Fluxos médios e diários do estuário do Douro

(Fonte: Frankignoulle et al. (1998).

Estuário	Data	Intervalo de pCO ₂ (água) (µatm)	Fluxo médio (mol.m ⁻² .d ⁻¹)	Fluxo diário (tC.d ⁻¹)
Douro interior	Setembro de 1997	1330-2200	0,24	6
Douro exterior	Setembro de 1997	1330-385	0,05	-

Tal como descreve Oliveira et al. (2006), para determinar a pCO₂, seria necessário ter dados de temperatura, salinidade, pH das águas superficiais. O fluxo de CO₂ ar-água (mmol.m⁻².d⁻¹) é calculado pelas diferenças entra as pressões parciais de CO₂ na interface ar-mar, de acordo com a equação:

$$\text{Fluxo CO}_2 = k \times s \times [p\text{CO}_2(\text{água}) - p\text{CO}_2(\text{ar})]$$

onde k (cm.h⁻¹) é a velocidade de transferência do gás e s a solubilidade de CO₂ (mol.kg⁻¹.atm⁻¹), que pode ser calculada através da temperatura e salinidade observadas, usando as equações de Weiss (1974). pCO₂ (água) é a pressão parcial de CO₂ na superfície das águas e pCO₂(ar) é a pressão parcial de CO₂ no ar (em µatm). O fluxo é positivo quando o CO₂ é libertado das águas para a atmosfera e negativo considerando o contrário. A velocidade de transferência pode ser calculada através da relação de Wanninkhof (1992):

$$k = 0.31 \times u^2 \times \sqrt{\frac{660}{Sc}}$$

onde u (m/s) é a velocidade do vento até 10 m acima do nível médio das águas do mar e Sc é o número de Schmidt para o CO₂. O número de Schmidt, uma razão adimensional de transferência de momento e massa, é determinado através da relação polinomial de Wanninkhof (1992):

$$Sc = 2073.1 - 125.62 T + 3.6276 T^2 - 0.043219 T^3$$

onde T é a temperatura expressa em graus Celsius.

Note-se que o fluxo de CO₂ ar-água vem nas unidades de mmol.m⁻².d⁻¹. Para isto acontecer, é necessário multiplicar a equação do fluxo pela densidade da água do mar,

por 24h e dividir por 10000, para as unidades fazerem sentido nos dois membros da equação.

Considerando os valores da $p\text{CO}_2$ (água) de Frankignoulle et al. (1998), os valores de $p\text{CO}_2$ (ar) em concentração de fundo obtidos pelo TAPM, e as equações descritas por Oliveira et al. (2006), pode efectuar-se, então, uma análise à variação sofrida pelos fluxos ar-água (Tabela 4.10). Nesta análise apenas foram consideradas as concentrações obtidas pelo TAPM no Outono, por serem aquelas onde, à partida, haveria uma maior influência sobre a zona costeira.

Tabela 4.10 - Análise aos fluxos de CO_2 a diferentes distâncias da linha de costa.

	a 3 km da costa	a 12 km da costa	a 24 km da costa	a 3 km da costa	a 12 km da costa	a 24 km da costa
Temperatura média (°C)	13,05	14,09	14,64	13,05	14,09	14,64
Temperatura média (K)	286,20	287,24	287,79	286,20	287,24	287,79
Salinidade (‰)	35	35	35	35	35	35
Velocidade vento média (m.s^{-1})	3,54	3,32	3,28	3,54	3,32	3,28
Número de Schmidt (Sc)	955,72	902,39	875,86	955,72	902,39	875,86
Velocidade de transferência do gás (cm.h^{-1})	2,68	2,50	2,51	2,68	2,50	2,51
Solubilidade ($\text{mol.kg}^{-1}.\text{atm}^{-1}$)	0,0398	0,0385	0,0379	0,0398	0,0385	0,0379
$p\text{CO}_2$ (água) (μatm)	2200	1330	385	2200	1330	385
	Concentração de fundo			Concentração da simulação do TAPM		
Concentração CO_2 (ppm)	375,7	375,7	375,7	391,06	383,25	379,94
Concentração CO_2 atmosférico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Dez 2003)	737982,14	737982,14	737982,14	768150,84	752817,97	746310,09
$p\text{CO}_2$ (ar) (μatm)	393,61	395,05	395,81	409,70	402,99	400,27
Densidade da água do mar (kg.m^{-3})	1023	1023	1023	1023	1023	1023
Fluxo CO_2 ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (Outono)	472,54	220,64	-2,53	468,33	218,76	-3,57
Fluxo diário ($\text{tC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)	$2,08 \times 10^{-5}$	$9,71 \times 10^{-6}$	$-1,11 \times 10^{-7}$	$2,06 \times 10^{-5}$	$9,63 \times 10^{-6}$	$-1,57 \times 10^{-7}$

Recorde-se que o fluxo é positivo quando o CO₂ é libertado das águas para a atmosfera (fonte) e negativo quando acontece o contrário (sumidouro). Observa-se, na Tabela 4.10, que à medida que a distância da linha de costa é maior o fluxo positivo vai diminuindo, passando a ser negativo por volta dos 24 km da costa, ou seja a esta distância o oceano começa a ser um sumidouro de CO₂. Todavia, por influência da GAMP os fluxos tendem a ser ligeiramente diferentes. A variação dos fluxos considerando a concentração de fundo e as concentrações obtidas pela simulação do TAPM pode ser observada na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Análise aos fluxos de CO₂ a diferentes distâncias da linha de costa.

	a 3 km da costa	a 12 km da costa	a 24 km da costa
Variação do Fluxo CO₂ (mmol.m⁻².d⁻¹)	4,11	1,88	1,04
Variação do Fluxo diário de CO₂ (tC.m⁻².d⁻¹)	2,00×10 ⁻⁷	8,00×10 ⁻⁸	4,60×10 ⁻⁸

Observa-se que à medida que a distância da linha de costa aumenta a GAMP, como seria de esperar, influencia cada vez menos as trocas de CO₂ ar-água. Os cálculos foram efectuados tendo por base o mesmo valor de salinidade, o que não acontece na realidade. Recorde-se que, para uma análise mais realista, seria necessário obter os valores da temperatura, da salinidade, do pH, das águas superficiais, para se poder obter os valores reais da solubilidade e da pressão parcial de CO₂ na água.

Os resultados sugerem que as variações nos fluxos difusivos provocadas pela dispersão das fontes da GAMP são cerca de duas ordens de grandeza inferiores aos valores calculados com as concentrações de fundo na atmosfera. Os fluxos são da ordem de 10⁻⁵ a 10⁻⁷ (Tabela 4.10), enquanto que as variações são da ordem de 10⁻⁷ - 10⁻⁸ (Tabela 4.11). Assim, nos casos testados, as fontes da GAMP não têm uma influência relevante nos fluxos difusivos na zona costeira, ao contrário da hipótese inicial, embora o efeito nas concentrações atmosféricas sobre o mar seja mensurável, até algumas milhas da costa. Porém, importa referir que os resultados precisam de verificação empírica, pois os cálculos dos fluxos são aproximações algo grosseiras com base nalgumas medidas efectuadas no litoral.

5 Conclusões

Este trabalho tinha como finalidade introduzir alguns dados recentes sobre a discussão em torno da influência de fontes importantes de dióxido de carbono, situadas junto ao litoral, nas concentrações e fluxos do mesmo gás através da interface ar-água.

Quantificar a variabilidade espacial da concentração de CO₂ a escalas de alguns quilómetros seria o ponto essencial para poder, então, avaliar mais correctamente o papel de fonte ou sumidouro das águas costeiras.

A hipótese que serviu de base para este trabalho foi que as emissões oriundas de uma área metropolitana podem aumentar expressivamente as concentrações atmosféricas de CO₂ das zonas adjacentes, em função do regime de ventos e da estabilidade atmosférica. Se esta área se encontrar próxima do mar, será de esperar que o referido aumento estimule a difusão de CO₂ para as águas superficiais, ou então reduza a emissão de CO₂ pelas mesmas.

A metodologia adoptada implicou quantificar as emissões de CO₂ da região estudada para poder perceber a influência nas concentrações sobre a zona costeira próxima, tendo em conta aspectos meteorológicos da mesma área geográfica. Lembra-se que a área geográfica que sustentou o presente estudo foi a Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP). Nesta área metropolitana as principais fontes de CO₂ encontram-se em primeiro lugar no sector energético seguido do sector dos transportes, como seria, à partida, de esperar, pois é essa a tendência das principais fontes de CO₂ de Portugal Continental, conforme referido no inventário da APA (IA, 2006). As emissões nacionais do referido inventário foram desagregadas ao nível de freguesia. Esta desagregação foi efectuada tendo em consideração dados populacionais disponíveis. Saliente-se que os dados disponíveis nem sempre foram os mais adequados para efectuar a desagregação, pois não corresponderam ao ano escolhido para este trabalho (2004).

As concentrações de CO₂ atmosférico, no interior da área de estudo, podem ser estimadas sob diversos cenários meteorológicos representativos, com o modelo atmosférico The Air Pollution Model (TAPM). Pelos resultados obtidos, em algumas estações do ano, caso de Primavera e Verão, os aspectos meteorológicos fazem com que a influência da GAMP nas concentrações de CO₂ seja bastante diluída. No Inverno e,

principalmente, no Outono, as concentrações previstas sobre a zona costeira são superiores e sugerem que a GAMP pode ter um efeito importante nas trocas de CO₂ ar-água.

No interior do domínio de estudo não existem estações que meçam as concentrações de CO₂. Deste modo, o processo de análise aos resultados das simulações efectuadas, no sentido de quantificar a importância das variações da concentração de CO₂ na zona de estudo, torna-se mais difícil. Mesmo assim, três abordagens foram experimentadas. Uma primeira em que se comparou os gradientes espaciais de concentração através da fronteira terra-mar na área de estudo com gradientes espaciais para estações de monitorização do CO₂ localizadas, aproximadamente, à mesma Latitude; uma segunda em que se comparou as diferenças entre os níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e de concentrações de fundo com os coeficientes de variação inter-anual e de variação sazonal (intra-anual); uma terceira em que se comparou as diferenças entre os níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e de concentrações de fundo com a precisão dos aparelhos de medição de CO₂ atmosférico. Das três abordagens surgiram algumas conclusões. Os gradientes espaciais de concentração dentro do domínio de estudo são superiores aos gradientes espaciais de estações localizadas aproximadamente à mesma Latitude, o que sugere que no domínio de estudo podem existir variações importantes nas concentrações de CO₂ atmosférico, devido à influência da GAMP. As diferenças entre os níveis esperados de CO₂ ao longo da zona costeira e de concentrações de fundo são superiores aos coeficientes de variação inter-anual em algumas estações do ano, principalmente no Outono. Mas esta superioridade vai sendo cada vez menor à medida que a distância à linha de costa aumenta. A distâncias superiores a 6-12 milhas da costa, a GAMP deixa de influenciar significativamente as concentrações de CO₂ atmosférico, como se verifica igualmente com a terceira abordagem.

A GAMP influencia de modo apreciável as concentrações atmosféricas de CO₂ sobre a zona costeira, em certas épocas do ano, mas não parece ter uma influência importante nos fluxos ar-água.

No entanto, devido a algumas limitações observadas, nomeadamente na desagregação das emissões, na análise às concentrações geradas pelo modelo atmosférico e pela falta de alguns dados que permitissem o cálculo da pCO₂ (água) e solubilidade na área de

estudo, conclui-se que o estudo necessita de ser mais aprofundado, neste caso com dados de campo.

Referências

Adeeb, F. (2004). *Evaluation of The Air Pollution Model TAPM (Version 2) for Adelaide: Case Study (17-31 December 2002)*. Environment Protection Authority.

Alveal, C. (2003). *Evolução da Indústria de Petróleo: Nascimento e Desenvolvimento*. COPPEAD-IE/UFRJ.

Araújo, M. A. (1999). *A Zona costeira de Portugal*. Dossier do Curso de Formação designado "Conceitos sobre Ordenamento e Gestão da Zona Costeira". Associação Eurocoast-Portugal, Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

Area Metropolitana do Porto Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.amp.pt/>. [Consultado em 07/05/2008].

Austria United States Embassy. (2001). *FACT SHEET: United States Policy on the Kyoto Protocol*. Public Affairs Section. United States Embassy. Vienna, Austria.

Baird, C. (2002). *Química Ambiental*. University of Western Ontario. 2ª Edição. Bookman.

Baliunas, S. (2002). *The Kyoto Protocol and Global Warming*. The Lavoisier Group Inc. Melbourne. Austrália.

Bernard, A., Paltsev, S., Reilly, J. M., Vielle, M. e Viguiet, J. (2003). *Russia's Role in the Kyoto Protocol*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Report N.º 98. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge MA. USA.

Borges, A. V. e Frankignoulle, M. (2002). *Distribution of surface carbon dioxide and air-sea exchange in the upwelling system off the Galician coast*. Global Biogeochemical Cycles 16 (2), 1020, doi:10.1029/2000GB001385.

- Borges, A. V., Schiettecatte L. S., Abril, G., Delille, B. e Gazeau, F. (2006). *Carbon dioxide in European coastal waters*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 70, 375-387. Elsevier.
- Bradsher, K. e Barboza, D. (2006). *Pollution from Chinese Coal Casts a Global Shadow*. The Energy Challenge. The New York Times.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://cdiac.ornl.gov/>. [Consultado em 18/09/2008].
- Carstens, H. (2008). *History of Oil: The Discovery that Changed the Oil Industry for Ever*. GEO ExPro Newsletter, n.º 3 Maio 2008. pp. 70-76. [Em linha]. Disponível em <http://www.geoexpro.com/sfiles/33/34/1/file/historyofoil.pdf>. [Consultado em 16/10/2008].
- Chang, J. C. e Hanna, S. R. (2004). *Air quality model performance evaluation*. Meteorology Atmospheric Physics 87, 167–196. Austria.
- Chang, J. C. e Hanna, S. R. (2005). *Technical Descriptions and User's Guide for the BOOT Statistical Model Evaluation Software Package, Version 2.0*. Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes.
- Chang, R. (1994). *Química*. McGraw-Hill. 5ª ed. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Costa, A. M. (2008). *Microscale modelling of exposure to atmospheric pollutants in urban areas*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Coutinho, M., Ribeiro, C. e Borrego, C. (2007). *Avaliação dos episódios de ozono de Julho e Agosto de 2003 na Região Sul de Portugal Continental*. 9ª Conferência Nacional do Ambiente. Universidade de Aveiro.
- Desai, M. (2003). *India and China: an essay in comparative political economy*. Paper for IMF Conference on India/China. New Delhi.

DPP. (2008). Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais. *Energia: Geoeconomias e Tecnologias – Uma Reflexão Prospectiva*. Documento de Trabalho N° 3/2008. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Earth System Research Laboratory – National Oceanic & Atmospheric Administration Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.esrl.noaa.gov/>. [Consultado em 08/10/2008].

Egelston, A. (2003). *Will Russia Save the Kyoto Protocol?* Emissions Market Association. Environmental Finance. Miami.

EPER - European Pollutant Emission Register Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://eper.eea.europa.eu/eper/>. [Consultado em 15/04/2008].

EPICA. (2004). European Project for Ice Coring in Antárctica. *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core*. Nature Vol. 429 10 June 2004. pp. 623-628. Nature Publishing Group. [Em linha]. Disponível em <http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/publications/papers/pdfs/197.pdf>. [Consultado em 12/10/2008].

ESRI. (2007). Environmental Systems Research Institute. *ArcGIS Desktop - Tools for Authoring, Editing, and Analyzing Geographic Information*. U.S. General Services Administration.

Ferreira, A. (2002). *Variabilidade climática e dinâmica geomorfológica*. Centro de Estudos geográficos, Universidade de Lisboa. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 1, APGeom, Lisboa, 2002, pp. 10-18.

Ferreira, J. C. (2007). *Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro.

Frankignoulle, M., Abril G., Borges, A., Bourge, I., Canon, C., Delille B., Libert, E. e Théat, J-M. (1998). *Carbon Dioxide Emission from European Estuaries*. SCIENCE VOL 282. pp 434-436.

Galpenergia Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.galpenergia.com/>. [Consultado em 19/09/2008].

Golomb, D., Pennell, S., Ryan, D., Barry, E. e Sweet, P. (2007). *Ocean Sequestration of Carbon Dioxide: Modeling the Deep Ocean Release of a Dense Emulsion of Liquid CO₂-in-Water Stabilized by Pulverized Limestone Particles*. Environ. Sci. Technol. 2007, 41, N^o. 13, 4698-4704.

Gomes, F. V., Barroco, A., Pereira, A. R., Reis, C. S., Calado, H., Ferreira, J. G., Freitas, M. C. e Biscoito, M. (2006). *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional - Projecto de Relatório do Grupo de Trabalho*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Hejny, S. e Nielsen, J. (2003). *Past, Present, & Future of Petroleum*. Stanford University. Califórnia.

Houghton, R. A. (2007). *Balancing the Global Carbon Budget*. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2007.35:313-347. Downloaded from arjournals.annualreviews.org. by Marine Biology Laboratory / Whoi Library on 05/01/07.

Hurley, P. (2005). *The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. Part 1: Technical Description*. CSIRO Atmospheric Technical Paper N^o. 71.

Hurley, P. (2005). *The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. User Manual*. CSIRO Atmospheric Research Internal Paper N^o. 31.

IA. (2006). Instituto do Ambiente. *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 – 2004*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

- IA. (2007). Instituto do Ambiente. *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 – 2005*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- ICEP. (2007). Instituto das Empresas para os Mercados Externos. *Dossier de Mercado – Rússia*. Agência Portuguesa para o Investimento.
- IndexMundi. (2008). *China Produto Interno Bruto (PIB) - Taxa de Crescimento Real*. Em linha]. Disponível em [www.indexmundi.com/pt/china/produto_interno_bruto_\(pib\)_taxa_de_crescimento_real.html](http://www.indexmundi.com/pt/china/produto_interno_bruto_(pib)_taxa_de_crescimento_real.html). [Consultado em 11/11/2008]
- INE – Instituto Nacional de Estatística Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.ine.pt/>. [Consultado em 07/05/2008].
- IPCC. (1990). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Reports prepared for IPCC by Working Groups I, II and III*. United Nations Environmental Program and World Meteorological Organization, Cambridge University Press.
- IPCC. (1995). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Contributions of Working Groups I, II and III to the IPCC Second Assessment Report*. Cambridge University Press.
- IPCC. (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- IPCC. (2001). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Contributions of Working Groups I, II and III to the IPCC Third Assessment Report*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2004). Intergovernmental Panel on Climate Change. *16 Years of Scientific Assessment in Support of the Climate Convention*. UNEP, WMO.

- IPCC. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Contributions of Working Groups I, II and III to the IPCC Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press.
- Jahn, A. (2005). *Theories and Modeling of Glacial–Interglacial Cycles and Glacial Inception*. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences McGill University, Montreal, Canada.
- Jarraud, M. (2006). *Statement at the opening of the WCRP Workshop understanding sea-level rise and variability*. Paris. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Laherrere, J. (2007). *Uncertainty of data and forecasts for fossil fuels*. Universidad de Castilla-La Mancha. Espanha.
- Libes, S. M. (1992). *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Marinov, I. e Sarmiento, J. L. (2004). *The role of the oceans in the global carbon cycle: an overview*. Ocean Carbon Cycle and Climate, NATO ASI volume, 251-295, ed. M. Follows and T. Oguz, Kluwer Academic Publishers.
- Markgraf, V. (2001). *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego. USA.
- MNP. (2007). Netherlands Environmental Assessment Agency. *Global CO₂ emissions: increase continued in 2007*. [Em linha]. Disponível em <http://www.mnp.nl/en/publications/2008/GlobalCO2emissionsthrough2007.html>. [Consultado em 23/11/2008].
- NOAA. (1997). National Oceanic and Atmospheric Administration. *Mauna Loa Observatory: Where it all began*. U.S. Department of Commerce.
- Oliveira, A. P., Cabeçadas, G. e Nogueira, M. (2006). *Fluxos de CO₂ na interface ar-água ao largo da costa algarvia*. 1ª Conferência Lusófona sobre o Sistema Terra, Tema: Oceano. Comité Nacional para o IGBP-Portugal. Lisboa.

- Oliveira, A. P., Nogueira, M. e Cabeçadas., G. (2006). *CO₂ variability in surface coastal waters adjacent to the Tagus Estuary (Portugal)*. *Ciencias Marinas* (2006), 32(2B): 401-411.
- Park, O. e Seok, M. (2007). *Selection of an appropriate model to predict plume dispersion in coastal areas*. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 6095–6101.
- Price, D. (1995). *Energy and Human Evolution*. From Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies. Vol. 16, N.º 4. pp. 301-319. Human Sciences Press, Inc.
- Qualar – Agência Portuguesa do Ambiente – Qualidade do Ar Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.qualar.org/>. [Consultado em 26/06/2008].
- Rhodes, R. (2007). *Energy Transitions: A Curious History*. Center for International Security and Cooperation. Stanford University. Stanford, California.
- Ribeiro, A. P. e Cabeçadas, G. (2000). *Dissolved carbon dioxide in Tagus Estuary and adjacent coastal waters*. *Global Change: Biophysical and Social-Economical Impact*. SEMINAR IGBP. Aveiro.
- Ribeiro, A. P., Cabeçadas, G., Nogueira, M. e Ferronha, H. (2001). *CO₂ Fluxes in Sado Estuary during an exceptional Phytoplankton Bloom in winter*. SEMINAR: “Challenges of a Changing Earth”. Amsterdam.
- Ribeiro, C., Borrego, C. e Coutinho, M. (2007). *Application of TAPM to predict Photochemical Air Pollution over Portugal*. AIR POLLUTION 2007. Fifteenth International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Air Pollution.
- Ribeiro, J., Coelho, M. e Nunes, R. (2001). *1997/2001 – O Preço do Petróleo num novo patamar*. *Informação Internacional: Análise Económica e Política*, Vol. 2, 2001. Departamento de Perspectiva e Planeamento. Ministério das Finanças. Lisboa.
- Rossoni, S. (2003). *A História da Ciência e do Conhecimento: algumas (in)certezas*. *Revista de Ciências Humanas*. Revista Ano IV Número: 4/2003 ISSN: 1981-9250.

- Santos, F. D. (2006). *Energia e Clima: Desafio Ambiental Século XXI*. Gazeta da Física. Vol. 29. Fasc. 1-2. Sociedade Portuguesa de Física. Lisboa. pp. 22-28.
- Santos, F. D. (2007). *A Física das Alterações Climáticas*. Gazeta da Física. Vol. 30. Fasc. 1. Sociedade Portuguesa de Física. Lisboa. pp. 48-57.
- Seinfeld, J. H. e Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Silva, C. (2003). *Critérios de Localização de Estações da Qualidade do Ar*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do Grau de Mestre em Poluição Atmosférica. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers Group.
- The Royal Society. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. The Clyvedon Press Ltd, Cardiff, UK.
- Turbogas Home Page. [Em linha]. Disponível em <http://www.turbogas.pt/>. [Consultado em 18/09/2008].
- UNFCCC. (2002). United Nations Framework Convention on Climate Change. *A Guide to the Climate Change Convention and its Kyoto Protocol*. Climate Change Secretariat. Bonn.
- UNFCCC. (2005). United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol to enter into force 16 February 2005*. Framework Convention on Climate Change Secretariat. Bonn.
- United Nations. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto. Japan.

Vaisala Instruments Catalog. (2008). *GMP343 Carbon Dioxide Probe for Demanding Measurements*. Ref. B210712en rev. A. [Em linha]. Disponível em <http://www.vaisala.com/instruments/products/carbondioxide/gmp343>. [Consultado em 16/12/2008].

van der Molen, M. K., van Huissteden, J., Parmentier, F. J. W., Petrescu, A. M. R., Dolman, A. J., Maximov, T. C., Kononov, A. V., Karsanaev, S. V. e Suzdalov, D. A. (2007). *The growing season greenhouse gas balance of a continental tundra site in the Indigirka lowlands, NE Siberia*. Biogeosciences, 4, 985–1003. Copernicus Publications.

Virmani, A. (2005). *India's Economic Growth History: Fluctuations, Trends, Break points and Phases*. Indian Council for Research on International Economic Relations. vol. 41, issue 1, pages 81-103. New Delhi.

Wanninkhof, R. (1992). *Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean*. J. Geophys. Res. 97: 7373–7382.

Weiss, R. F. (1974). *Carbon dioxide in water and seawater; the solubility of a non-ideal gas*. Mar. Chem. 2: 203–215.

Zawar-Reza, P., Sturman, A. P. e Spronken-Smith, R. (2003). *Validation of The Air Pollution Model (TAPM) for Winters of 1999 to 2002 over Christchurch, New Zealand*. Fifth International Conference on Urban Climate. Lodz, Poland.

Anexos

Anexo I

- *Categorias, sectores e subsectores do inventário da APA*

Tabela AI 1 - Categorias, sectores e subsectores do inventário da APA

Categorias	Sectores	Subsectores
1. Energia	Actividades de Combustão	Indústrias de energia Indústrias transformadoras e de construção Transportes Comércio e Instituições Residências Agricultura, Floresta e Pescas
	Emissões fugitivas de combustíveis	Combustíveis sólidos Óleo e Gás natural
2. Processos industriais	Produtos minerais Indústria química Produção de metais Outras produções	
3. Solventes e outros produtos de uso		
4. Agricultura	Fermentação entérica Gestão de estrume Culturas de arroz Solos agrícolas Queimada intencional de savanas Queimada de resíduos agrícolas e outros	
5. Uso do solo, mudança do uso do solo e floresta	Terreno de floresta Cultivo Pastagem Zonas húmidas Colónias Outros terrenos	
6. Desperdícios	Eliminação de resíduos sólidos em terrenos Águas residuais Incineração de resíduos Outros	
7. Outros		
Bunkers internacionais	Aviação Marinha	
Operações multilaterais		
Emissões de CO₂ a partir da biomassa		

Anexo II
- Fontes pontuais

Tabela AII 1 - Descrição de todas as fontes pontuais, localização geográfica e quantidades de poluentes emitidos (2004).

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Abrantes / Rossio ao Sul do Tejo	38.8	-9.1	Fundições do Rossio de Abrantes, S.A.	-	-	-	-	72.1	-
Alcobaça / Pataias	38.6	-8.9	CMP – Cimentos Macieira e Pataias S.A. Fábrica Cibra-Pataias	985	600	-	-	61.1	436000
Almada / Pragal	40.7	-8.6	Tagol - Companhia de Oleaginosas do Tejo, S.A	-	-	119	-	57	-
Almeirim / Raposa	40.8	-8.6	Aterro Sanitário RESIURB	-	-	402	-	-	-
Amadora / Venda Nova	40.1	-8.9	SOTANCRO - Embalagem de Vidro, S.A.	485	-	-	-	-	-
Aveiro / Cacia	41.1	-8.4	Campos - Fábricas Cerâmicas, S.A.	163	-	-	-	82.1	-
Aveiro / Cacia	32.6	-17	Funfrap - Fundação Portuguesa, S.A.	-	-	-	-	53.6	-
Aveiro / Cacia	38.9	-9.1	Portucel - Fábrica de Cacia	516	2830	-	484	311	-
Aveiro / Vagos	38.7	-9.2	SIPEI - Fundação, Lda	-	-	-	-	470	-
Azambuja / Vila Nova da Rainha	41.2	-8.7	Sonalur - Sociedade Nacional de Metalurgia, Lda	-	1060	-	-	-	-
Azambuja / Vila Nova da Rainha	38.8	-9.1	GM PORTUGAL, Lda	-	-	140	-	-	-
Barreiro / Lavradio	37.1	-8.1	AP-Amoníaco de Portugal,S.A	541	-	-	941	82.9	755000
Barreiro / Lavradio	38.5	-8.8	FISIPE - Fibras Sintéticas de Portugal, S.A.	-	-	-	-	218	-
Cascais / S. Domingo de Rana	38.5	-8.8	Tratolixo, Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A. Central Industrial de Tratamento de Resíduos Sólidos de Trajouce	-	-	1820	278	-	-
Coimbra / Souselas	40.1	-8.9	Cimpor – Indústria de Cimento de S.A. Centro de Produção de Souselas	3020	2200	-	371	140	1670000
Coruche / Coruche	38.7	-27.1	DAI, Sociedade de desenvolvimento Agro-Industrial, S.A.	112	-	-	163	80.5	-
Estarreja / Avanca	37.8	-25.6	Companhia Industrial de Resinas Sintéticas, CIRES, S.A.	598	-	-	-	-	-

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Estarreja / Beduido	39	-9	Quimigal, Quimica de Portugal S.A.	251	-	-	-	-	-
Figueira da Foz / Vila Verde	38.9	-9	Saint-Gobain Mondego, S.A.	329	-	-	208	-	-
Figueira da Foz / Marinha das Ondas	39.5	-8.1	Celulose Beira Industrial (CELBI), S.A.	405	999	-	-	205	-
Figueira da Foz / Buarcos	39	-9	Fábrica de Cal Hidráulica do Cabo Mondego	-	1460	-	-	-	-
Figueira da Foz / Lavos	40.3	-8.4	SOPORCEL - Sociedade Portuguesa de Papel, SA	766	944	177	548	235	-
Leiria / Maceira	39.7	-9	CMP – Cimentos Maceira e Pataias S.A., Fábrica Maceira-Liz	1480	1720	-	435	168	752000
Lisboa / Santa Maria dos Olivais	38.9	-8.4	Ancor Flexibles Neocel, Embalagens, Lda	-	-	659	-	-	-
Loulé / Loulé (S. Sebastião)	39.7	-9	Cimpor Indústria de Cimentos - Centro de Produção de Loulé	1410	528	-	-	-	488000
Loures / Santa Iria de Azoia	40.2	-8.9	Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano S.A.	752	-	-	728	76.1	-
Loures / Santo Antão do Tojal	38.8	-9.1	Sebol - Comércio e Industria de Sebo, S.A.	-	-	124	-	-	-
Loures / S. João da Talha	41.2	-8.7	Central de Tratamento de Resíduos Slidos Urbanos	405	-	-	-	-	323000
Maia / S. Pedro de Fins	38	-8.8	SN Maia Siderurgia Nacional, S.A.	143	2660	-	241	73.2	167000
Matosinhos / Leça do Balio	40.1	-8.8	Unicer Cervejas SA - Centro de Produção de Leça do Balio	319	-	-	-	-	-
Maia / Moreira	38.9	-9	Central de Tratam. de Resíduos Urbanos do Grande Porto	383	-	-	-	-	369000
Mangualde / Mangualde	38.5	-8.9	PEUGEOT CITROEN - Automóveis de Portugal	-	-	436	-	-	-
Marinha Grande / Marinha Grande	40.9	-8.4	Unidade Fabril da Marinha Grande	468	-	-	213	60.9	102000
Marinha Grande / Marinha Grande	39	-9	CRISAL - Cristalaria Automática, S.A.\	408	-	-	-	64	-

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Marinha Grande / Marinha Grande	38.7	-9	Santos Barosa - Vidros, S.A.	604	-	-	769	-	128000
Ovar / S. João	39	-8.8	Lifresca - Sociedade de Produtos Higiénicos, S.A.	-	-	226	-	-	-
Palmela / Quinta do Anjo	37.7	-25.6	Autoeuropa Automóveis, Lda	-	-	320	-	-	-
Palmela / Quinta do Anjo	39.1	-8.9	Centro Integrado de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos de Palmela	109	-	3550	418	-	122000
Palmela / Quinta do Anjo	38.7	-9.1	Lifresca - Sociedade de Produtos Higiénicos, S.A.	-	-	359	-	-	-
Palmela / Quinta do Anjo	40.9	-8.6	SAI Automotive Portugal	-	-	120	-	-	-
Portalegre / Ribeira de Nisa	38.6	-9.1	Selenis - Indústria de Polímeros, S.A.	107	-	-	-	-	-
Matosinhos / São Mamede de Infesta	41.2	-8.6	Monteiro Ribas - Indústrias SA	-	-	770	-	-	-
Póvoa de Lanhoso / Ferreiros	38.7	-9.3	Aterro de Resíduos Não Perigosos do Baixo Cávado	209	-	-	-	-	-
S. João da Madeira / S. João da Madeira	38	-8.8	Novolivacast -Soluções de Fundição, S.A.	-	-	-	-	134	-
Benavente / Barrosa	38.6	-9	Indústrias de Alimentação IDAL, Lda. - Sombras	-	-	-	247	-	-
Constância / Constância	38	-8.8	CAIMA – Industria de Celulose, S.A.	316	-	-	318	-	-
Santo Tirso / Aves	38.9	-9.1	Termolan - Isolamentos Termo-Acústicos, S.A. - Unid.Fábrica I	-	-	-	-	155	-
Seixal / Aldeia de Paio Pires	41.6	-8.3	LUSOSIDER - Aços Planos S.A.	101	-	-	-	-	-
Seixal / Aldeia de Paio Pires	39.1	-8.6	SN Seixal - Siderurgia Nacional, S.A.	109	-	-	-	-	-

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Seixal / Amora	32.7	-16.8	Amarsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., Centro Integrado de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos do Seixal	112	-	1440	-	-	-
Setúbal / Sado	38.9	-9.1	Complexo Industrial de Setúbal	814	1670	-	531	484	-
Setúbal / Sado	39.3	-7.4	Lisnave - Estaleiros Navais, SA	-	-	747	-	-	-
Setúbal / Sado	40.6	-8.7	Sopac, Sociedade Produtora de Adubos Compostos, S.A	-	-	-	-	50	-
Setúbal / Setúbal (Bossa Senhora da Anunciada)	38.9	-9.1	SECIL Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. Fábrica do Outão	3550	3150	123	564	143	1450000
Sines / Sines	38.6	-9.1	Carbogal, carbonos de Portugal, S.A.	-	33700	1350	224	-	-
Sines / Sines	41	-8.6	REPSOL Polímeros, Lda.	517	-	1480	-	79	532000
Torres Novas / Torres Novas (Santa Maria)	38.8	-9.2	Enviroil - Resíduos e Energia, Lda	754	-	-	-	-	-
Vale de Cambra / Vila Chã	41.4	-8.4	Fromageries Bel Portugal S.A.	-	-	-	176	63.1	-
Viana do Castelo / Geraz do Lima (Santa Maria)	39.7	-8.9	Portucel Viana	338	-	-	361	93	-
Vila do Conde / Mindelo	40.7	-8.6	Probos - Resinas e Plásticos, S.A.	-	-	234	-	-	-
Vila Franca de Xira / Alhandra	38.6	-9	Cimpor – Indústria de Cimento de S.A. Centro de Produção de Alhandra	4770	2220	-	-	115	1720000
Vila Franca de Xira / Alverca do Ribatejo	38	-8.8	Unidade Fabril de Adubos de Alverca	-	-	-	-	166	-
Vila Franca de Xira / Castanheira do Ribatejo	38.5	-8.8	FERRO Indústrias Químicas (Portugal), Lda	116	-	-	-	-	-

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Vila Franca de Xira / Póvoa de Santa Iria	39.7	-7.7	Solvay Portugal - Produtos Químicos, SA	-	2960	-	-	-	-
Vila Franca de Xira / Sobralinho	39.5	-8.3	IBEROL - Sociedade Ibérica de Oleaginosas, S.A.	-	-	245	-	-	-
Vila Franca de Xira / Vialonga	41.2	-8.6	SCC - Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.	-	-	109	-	-	-
Vila Nova de Gaia / Avintes	40.1	-8.9	BA Vidro SA, Unidade Fabril de Avintes	192	-	-	307	-	-
Vila Nova de Gaia / Seixezelo	39.7	-8.9	Soplaril Portugal-Industria de transformação e venda de suportes flexíveis para embalagem, Lda	-	-	863	-	-	-
Vila Velha de Ródão / Vila Velha de Ródão	41.1	-8.5	Portucel Tejo - Empresa de Celulose do Tejo, S.A.	111	-	-	-	91.9	-
Marinha Grande / Marinha Grande	39.754842	-8.931772	Ricardo Gallo - Vidro de Embalagem, S.A.	379			346		-
Total (Gg)				27.147	58.701	15.813	8.871	4.0845	9014

Concelho / Freguesia	Coordenadas		Nome	Emissões (ton.ano ⁻¹)					
	Latitude	Longitude		NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	CO ₂
Abrantes / Pego	38.5	-8.8	Central Termoelétrica do Pego	10400	-	-	18800	465	3900,000
Alenquer / Carregado	38.7	-9.1	Central Termoelétrica do Ribatejo	569	-	-	-	-	1250000
Alenquer / Carregado	33.1	-16.3	Central Termoelétrica do Carregado	772	-	-	574	-	241,000
Barreiro / Lavradio	40.8	-8.6	Central Termoelétrica do Barreiro	1210	-	-	1690	73.1	330000
Figueira da Foz / Lavos	38.6	-9.1	SOPORGEN - Sociedade Portug. de Geração de Electricidade e Calor S.A.	234	-	-	-	-	237000
Gondomar / Medas	39.4	-8.2	Turbogás – Productora Energética, S.A. Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro	2410	-	-	-	-	2310000
Matosinhos / Leça da Palmeira	39.8	-9	Refinaria do Porto	2660	-	374	10700	-	1130000
Porto / Ramalde	40.9	-8.5	RAR - Cogeração Unipessoal, Lda	-	-	-	158	-	
Setúbal / Setúbal (S. Sebastião)	41.3	-8.7	Central Termoelétrica de Setúbal	4960	-	-	7660	144	1340000
Setúbal / Setúbal (S. Sebastião)	41.3	-8.6	SPCG - Sociedade Portuguesa de Co-Geração Eléctrica, SA	1,180	-	-	832	115	160000
Sines / Sines	38.9	-9.1	Central Termoelétrica de Sines	23300	669	-	57100	812	8490000
Sines / Sines	39.1	-8.9	Petrogal - Refinaria de Sines	5750	548	1010	10700	-	1810000
Sines / Sines	38.5	-8.8	REPSOL - Produção de Electricidade e Calor, ACE	733	-	-	1,890	204	384000
Vila Franca de Xira / Póvoa de Santa Iria	40.7	-8.6	Central de Cogeração da Energin	115	-	-	-	-	190000

Total (Gg)	54.293	1.217	1.384	110.104	1.8131	21772
-------------------	--------	-------	-------	---------	--------	-------

Total das empresas (Gg)	81.44	59.918	17.197	118.975	5.8976	30786
--------------------------------	-------	--------	--------	---------	--------	-------

Anexo III
- Fontes pontuais da GAMP

Tabela AIII 1 - Descrição das maiores fontes pontuais, condições de emissão e quantidades emitidas (2004) da GAMP

Designação da Fonte Pontual	Coordenada X ¹⁴	Coordenada Y ¹⁴	Altura (m)	Raio (m)	Velocidade (m/s)	Temperatura (K)	Emissão CO ₂ (t)
TURBOGAS FF1	15007,48	-11468,59	60,00	2,99	26,90	365,65	761915,86
TURBOGAS FF2	15008,48	-11469,59	60,00	2,99	26,90	364,75	749111,27
TURBOGAS FF3	15011,48	-11519,59	60,00	2,99	26,90	371,25	798972,87
TURBOGAS FF4	15021,48	-11509,59	26,00	0,60	3,90	449,25	0,00
TURBOGAS FF5	15031,48	-11519,59	11,00	0,35	29,20	627,25	0,00
TURBOGAS FF6	15051,48	-11519,59	11,00	0,35	29,20	618,15	0,00
PETROGAL: F. Aromáticos	-7387,89	6542,01	100,00	1,60	9,85	613,65	186562,88
PETROGAL: F. Combustíveis	-7423,79	5982,21	50,00	0,70	8,65	661,65	15368,12
PETROGAL: F. Combustíveis	-7491,59	5872,21	100,00	2,05	1,75	339,15	11073,87
PETROGAL: F. Combustíveis	-7479,89	6007,01	100,00	2,65	1,80	521,15	64749,08
PETROGAL: F. Óleos Base	-7467,98	5438,51	100,00	1,55	2,30	468,65	79325,97
PETROGAL: F. Óleos Base	-7464,59	5259,41	31,00	0,50	2,70	616,15	1468,95
PETROGAL: F. Combustíveis	-7592,99	5918,21	100,00	2,10	7,35	556,15	275380,87
PETROGAL: F. Combustíveis	-7476,29	6087,61	45,00	0,75	6,15	645,15	16837,07
PETROGAL: F. Combustíveis	-7386,79	6095,11	50,00	0,45	11,05	688,65	1243,15
PETROGAL: F. Utilidades	-7457,19	5673,11	100,00	1,25	8,15	444,65	162381,07
PETROGAL: F. Utilidades	-7487,89	5676,91	100,00	1,45	14,00	494,15	315270,12
PETROGAL: F. Lubrificantes	-6842,19	5177,31	15,00	0,25	2,95	624,15	339,01
LIPOR F1	-2503,76	7727,97	70,00	0,98	18,00	428,15	184500,00
LIPOR F2	-2503,76	7727,97	70,00	0,98	18,00	428,15	184500,00

¹⁴ As coordenadas “x” e “y” estão em relação a um ponto central da GAMP, referido no subcapítulo 3.3.4.

Anexo IV

- Estações de monitorização das concentrações de CO₂

Tabela AIV 1 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais na Ilha Terceira – Açores.

Ano	Concentração média (ppm)	Incremento anual (%)	Incremento anual (ppm)	Percentagem de variação sazonal Inverno vs Verão	Variação sazonal (ppm)
1980	339,02			2,54	8,68
1981	339,56	0,16	0,54	2,99	10,28
1982	341,08	0,45	1,52	3,99	13,79
1983	342,96	0,55	1,89	2,35	8,11
1984	344,46	0,44	1,50	2,60	9,06
1985	346,09	0,47	1,62	3,50	12,27
1986	348,69	0,75	2,60	1,47	5,14
1987	348,62	-0,02	-0,07	3,00	10,60
1988	351,57	0,84	2,95	2,12	7,49
1989	355,54	1,12	3,98		
1990	355,84	0,08	0,30		
1991	356,01	0,05	0,16	2,99	10,81
1992	357,87	0,52	1,86		
1993	0,00	0,00	0,00		
1994	0,00	0,00	0,00		
1995	359,95	0,00	0,00	2,81	10,20
1996	363,18	0,89	3,23	2,16	7,91
1997	363,28	0,03	0,10	2,79	10,23
1998	365,65	0,65	2,37	2,47	9,11
1999	368,91	0,89	3,27	2,11	7,84
2000	369,90	0,27	0,99	2,15	8,03
2001	371,54	0,44	1,63	2,54	9,55
2002	373,62	0,56	2,08	1,76	6,61
2003	375,87	0,60	2,25	2,68	10,20
2004	377,24	0,36	1,37	2,68	10,20
2005	379,62	0,63	2,38	2,82	10,87
2006	381,38	0,46	1,77	2,44	9,38
2007	382,37	0,26	0,99	3,02	11,71
Médias:		0,42	1,53	2,61	9,48

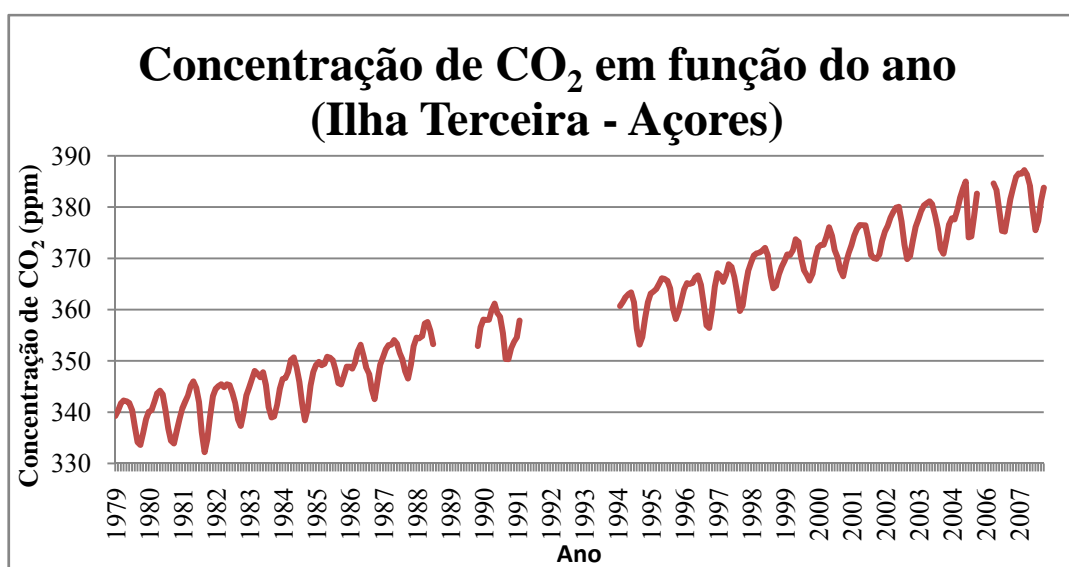
**Figura AIV 1** - Concentração de CO₂ (ppm) em função do ano – Ilha Terceira – Açores (adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

Tabela AIV 2 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais nas Ilhas Canárias – Tenerife.

Ano	Concentração média (ppm)	Incremento anual (%)	Incremento anual (ppm)	Porcentagem de variação sazonal Inverno vs Verão	Variação sazonal (ppm)
1991	355,48				
1992	356,34	0,24	0,86	1,84	6,61
1993	357,66	0,37	1,32	2,15	7,75
1994	358,53	0,24	0,87	1,90	6,87
1995	361,60	0,85	3,07	1,97	7,21
1996	363,08	0,41	1,48	2,28	8,35
1997	363,74	0,18	0,66	1,68	6,15
1998	366,07	0,64	2,33	1,40	5,18
1999	368,53	0,67	2,46	1,82	6,76
2000	370,26	0,47	1,74	1,78	6,65
2001	371,75	0,40	1,48	1,16	4,30
2002	372,76	0,27	1,01	1,80	6,75
2003	374,68	0,51	1,92	1,67	6,30
2004	376,82	0,57	2,14	1,95	7,38
2005	378,24	0,37	1,42	1,68	6,38
2006	381,14	0,76	2,91	1,36	5,23
2007	383,17	0,53	2,02	1,89	7,31
Médias:		0,47	1,73	1,77	6,57

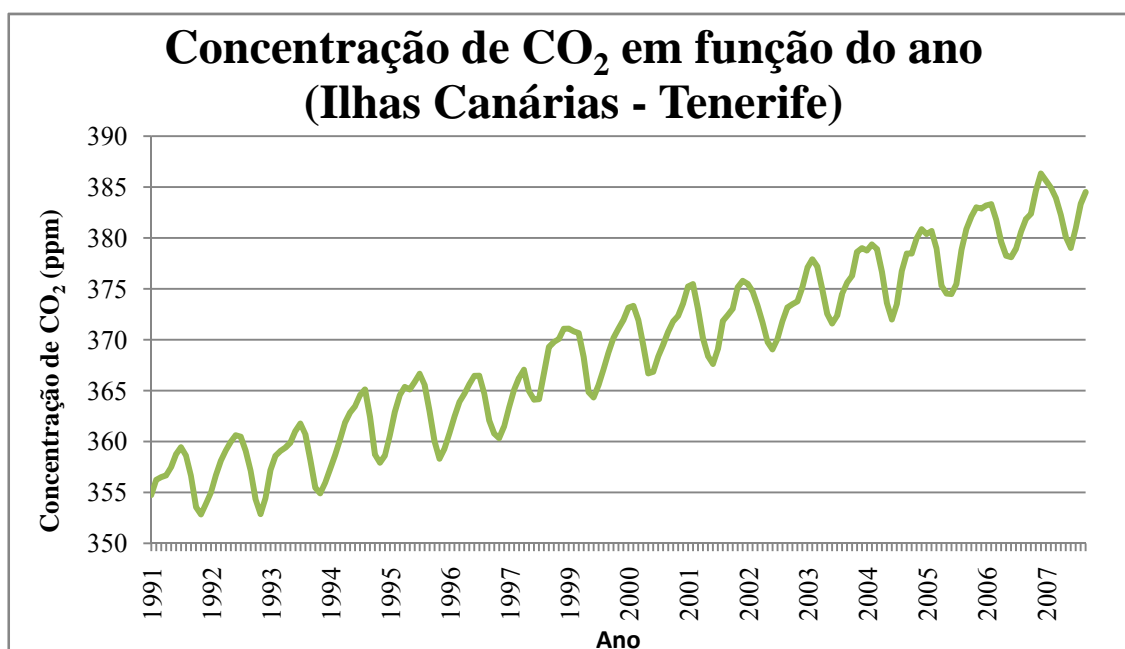
**Figura AIV 2** - Concentração de CO₂ (ppm) em função do ano – Ilhas Canárias – Tenerife (adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

Tabela AIV 3 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais em Mace Head – County Galway - Irlanda.

Ano	Concentração média (ppm)	Incremento anual (%)	Incremento anual (ppm)	Percentagem de variação sazonal Inverno vs Verão	Varição sazonal (ppm)
1991	353,44			2,92	10,47
1992	356,20	0,77	2,75	4,04	14,61
1993	356,85	0,18	0,65	3,86	13,98
1994	358,45	0,45	1,60	3,66	13,30
1995	360,94	0,69	2,49	3,17	11,60
1996	363,15	0,61	2,20	3,67	13,51
1997	364,29	0,31	1,14	3,62	13,32
1998	366,48	0,60	2,20	3,38	12,54
1999	368,62	0,58	2,14	3,80	14,21
2000	370,00	0,37	1,38	3,56	13,34
2001	371,76	0,47	1,76	3,89	14,65
2002	373,60	0,49	1,85	4,50	17,11
2003	376,20	0,69	2,60	3,26	12,41
2004	377,65	0,38	1,45	3,35	12,80
2005	379,77	0,56	2,12	3,00	11,54
2006	382,51	0,72	2,74	3,44	13,32
2007	383,61	0,29	1,11	3,62	14,06
Médias:		0,51	1,89	3,57	13,34

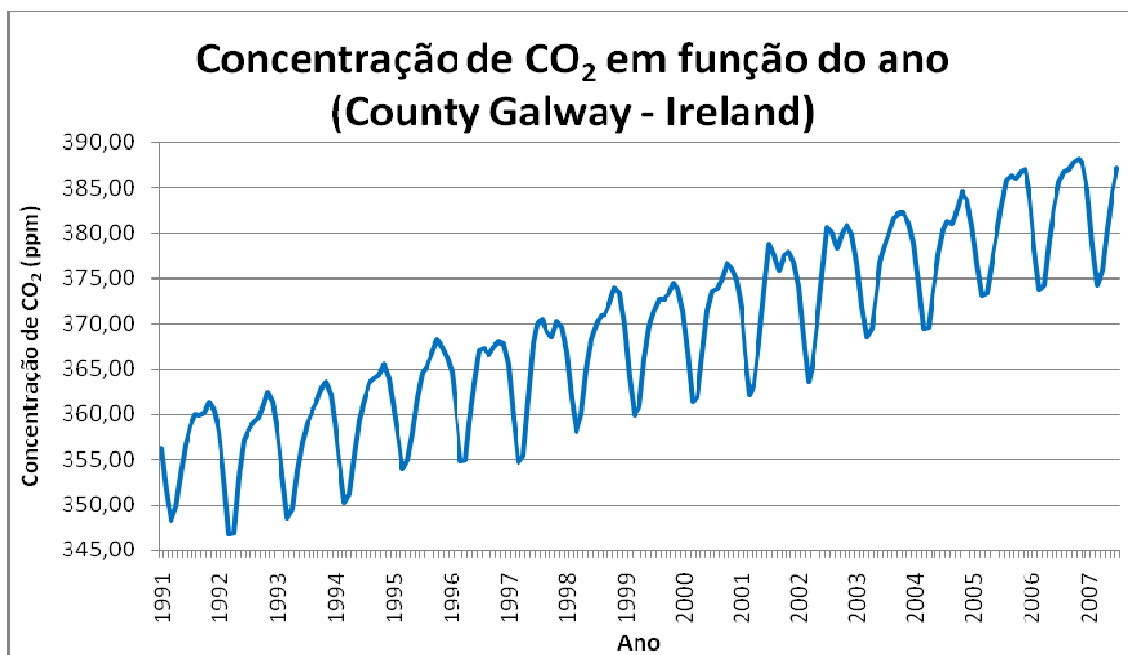


Figura AIV 3 - Concentração de CO₂ (ppm) em função do ano – Mace Head – County Galway - Irlanda
(adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

Tabela AIV 4 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais no Mar Negro - Constanta – Roménia.

Ano	Concentração média (ppm)	Incremento anual (%)	Incremento anual (ppm)	Porcentagem de variação sazonal Inverno vs Verão	Variação sazonal (ppm)
1995	364,71			5,10	19,08
1996	370,64	1,60	5,93	5,02	19,02
1997	370,62	-0,01	-0,02	5,38	20,47
1998	372,12	0,40	1,50	6,87	26,59
1999	377,28	1,37	5,17	4,80	18,71
2000	377,70	0,11	0,42	4,47	17,33
2001	377,52	-0,05	-0,18	5,07	19,69
2002	379,98	0,65	2,46	3,85	14,88
2003	384,16	1,09	4,19	4,16	16,21
2004	388,31	1,07	4,15	5,61	22,71
2005	391,92	0,92	3,60	4,74	18,90
2006	394,42	0,64	2,51	4,80	19,39
2007	393,05	-0,35	-1,37	3,39	13,58
Médias:		0,62	2,36	4,87	18,97

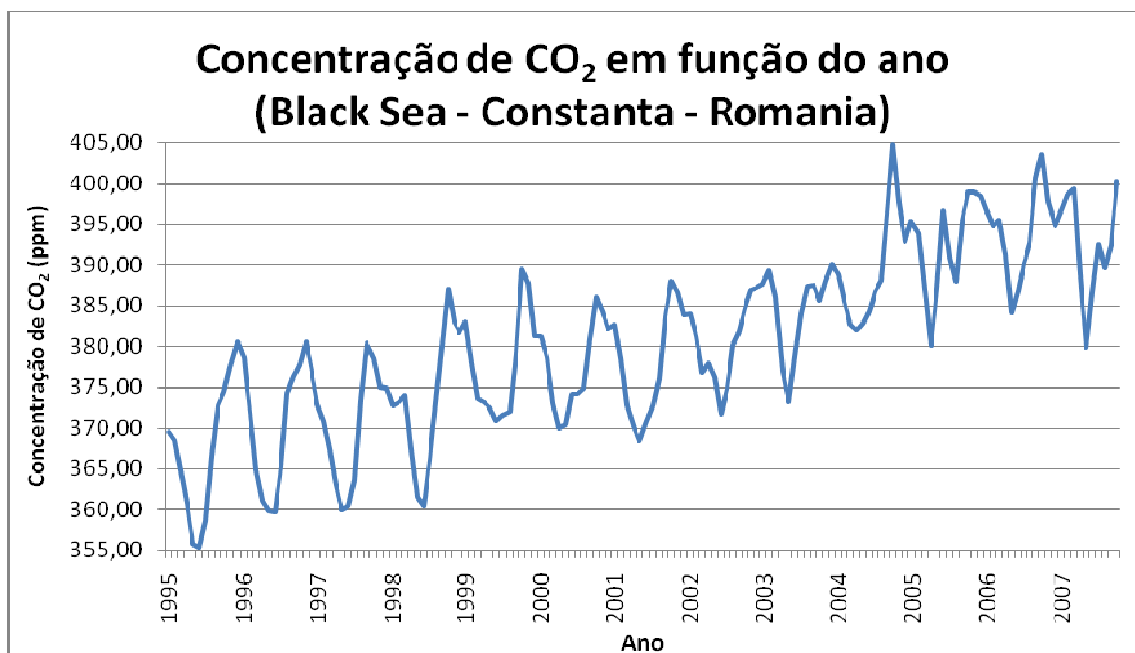
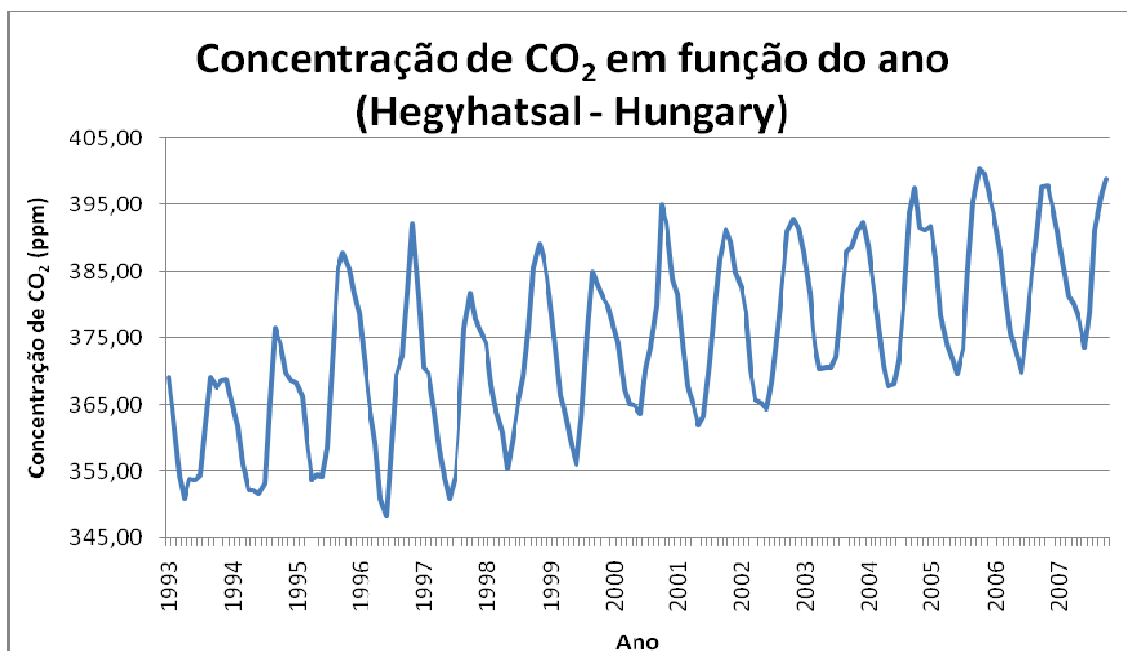
**Figura AIV 4** - Concentração de CO₂ (ppm) em função do ano – Mar Negro - Constanta - Roménia
(adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

Tabela AIV 5 - Concentrações, Incrementos e variações sazonais em Hegyhatsal – Hungria.

Ano	Concentração média (ppm)	Incremento anual (%)	Incremento anual (ppm)	Porcentagem de variação sazonal Inverno vs Verão	Variação sazonal (ppm)
1993	359,83			4,94	18,24
1994	362,12	0,63	2,29	6,64	24,99
1995	366,73	1,26	4,61	8,78	34,07
1996	368,56	0,50	1,83	9,68	37,32
1997	368,16	-0,11	-0,40	10,53	41,31
1998	369,34	0,32	1,17	7,85	30,27
1999	373,58	1,14	4,25	8,52	33,17
2000	374,34	0,20	0,75	7,96	31,44
2001	376,62	0,61	2,28	7,75	30,42
2002	376,73	0,03	0,11	6,81	26,64
2003	380,72	1,05	3,99	5,71	22,45
2004	381,87	0,30	1,15	7,49	29,77
2005	384,24	0,62	2,38	7,65	30,65
2006	385,51	0,33	1,26	7,46	29,83
2007	387,29	0,46	1,78	6,37	25,40
Médias:		0,52	1,96	7,61	29,73

**Figura AIV 5** - Concentração de CO₂ (ppm) em função do ano – Hegyhatsal - Hungria (adaptado de <http://www.esrl.noaa.gov>)

Anexo V

- *Concentrações médias e máximas do TAPM*

Tabela AV 1 - Concentrações médias (ppm) na Primavera

31	375,72	375,73	375,73	375,73	375,73	375,74	375,77	375,80	375,82	375,83	375,86	375,98	376,07	376,21	376,31	376,42	376,27	376,33	376,35	376,36	376,38	376,23	376,12	376,09	376,04	375,99	375,95	375,92	375,89	375,88	375,87
30	375,74	375,75	375,75	375,76	375,76	375,77	375,80	375,85	375,89	375,92	376,08	376,42	376,40	376,60	376,91	378,35	377,28	377,02	377,18	377,46	379,43	378,70	377,03	376,66	376,51	376,32	376,24	376,11	376,01	375,96	375,90
29	375,74	375,75	375,76	375,77	375,77	375,78	375,80	375,85	375,90	375,94	376,03	376,32	376,37	376,55	376,82	377,30	377,17	377,15	377,20	377,51	378,09	377,57	377,14	377,03	376,71	376,45	376,31	376,18	376,08	376,02	375,94
28	375,75	375,76	375,77	375,77	375,78	375,79	375,80	375,83	375,89	375,94	375,99	376,33	376,38	376,56	376,73	376,98	377,06	377,30	377,34	377,45	377,50	377,28	377,48	377,71	376,99	376,73	376,49	376,40	376,26	376,14	375,99
27	375,76	375,77	375,77	375,78	375,79	375,79	375,80	375,82	375,88	375,93	375,98	376,26	376,39	376,48	376,65	376,91	377,12	377,55	377,48	377,53	377,67	377,59	377,92	378,14	378,60	377,26	376,96	377,10	376,81	376,28	376,08
26	375,77	375,78	375,78	375,79	375,80	375,81	375,81	375,83	375,89	375,96	376,06	376,51	376,44	376,54	376,76	377,07	377,27	377,66	378,00	377,78	378,15	378,46	378,68	378,61	379,31	377,69	377,15	377,15	376,68	376,39	376,15
25	375,77	375,79	375,80	375,81	375,82	375,83	375,84	375,85	375,91	376,01	376,14	376,91	376,65	376,63	376,83	377,08	377,42	378,32	378,91	378,03	378,43	378,55	378,33	377,91	377,84	377,55	377,18	376,88	376,66	376,43	376,22
24	375,79	375,80	375,81	375,82	375,84	375,86	375,88	375,91	375,97	376,10	376,29	378,02	377,05	376,83	376,87	377,04	377,44	378,15	378,08	377,99	378,04	378,26	378,07	377,73	377,15	377,49	377,58	377,29	376,78	376,48	376,28
23	375,79	375,80	375,81	375,83	375,84	375,86	375,88	375,91	375,95	376,06	376,25	377,02	377,30	376,88	376,96	377,16	377,72	378,17	378,24	377,84	377,40	377,43	377,53	377,35	376,99	377,49	377,96	377,56	377,11	376,67	376,37
22	375,79	375,80	375,81	375,82	375,83	375,85	375,86	375,88	375,91	375,99	376,14	376,37	376,89	376,81	377,07	377,47	377,74	378,01	377,69	377,35	376,96	377,02	377,29	377,30	377,14	377,34	377,64	377,52	377,36	376,98	376,54
21	375,79	375,79	375,80	375,81	375,82	375,83	375,85	375,86	375,89	375,94	376,06	376,24	376,70	376,93	377,35	377,67	377,85	377,62	377,16	376,99	376,96	377,18	377,53	377,58	377,30	377,41	377,63	377,34	377,24	376,96	376,53
20	375,78	375,79	375,80	375,81	375,82	375,84	375,86	375,88	375,90	375,94	376,02	376,17	376,65	377,06	377,92	378,11	378,09	377,88	377,17	377,01	377,18	377,53	377,85	377,81	377,97	377,63	377,45	377,16	377,02	376,78	376,42
19	375,79	375,80	375,81	375,83	375,86	375,88	375,91	375,95	375,99	376,04	376,11	376,27	376,80	377,76	379,04	379,92	379,18	381,15	377,99	377,27	377,49	377,75	377,81	377,82	377,58	377,31	377,34	377,20	377,00	376,67	376,35
18	375,80	375,82	375,84	375,86	375,89	375,92	375,96	376,00	376,04	376,10	376,19	376,35	376,98	378,93	380,33	380,87	380,18	380,60	378,38	377,55	377,58	377,66	377,66	378,01	377,67	377,24	377,16	377,01	376,91	376,58	376,30
17	375,81	375,84	375,87	375,89	375,93	375,96	376,01	376,05	376,10	376,17	376,28	376,46	376,89	379,97	382,55	383,09	382,28	380,61	378,82	377,95	377,67	377,55	377,54	377,53	377,42	377,19	377,07	376,91	377,01	376,60	376,29
16	375,83	375,87	375,90	375,93	375,97	376,01	376,06	376,12	376,19	376,28	376,41	376,62	377,01	378,69	382,85	385,91	384,46	381,17	379,20	378,18	377,69	377,45	377,35	377,34	377,37	377,18	376,98	376,78	376,71	376,51	376,29
15	375,85	375,89	375,92	375,95	375,99	376,03	376,08	376,14	376,21	376,30	376,43	376,64	377,00	377,73	380,69	383,83	383,56	381,07	379,53	378,31	377,65	377,35	377,16	377,04	377,34	377,30	376,99	376,75	376,62	376,53	376,32
14	375,87	375,90	375,93	375,96	375,99	376,02	376,07	376,12	376,19	376,27	376,39	376,59	376,91	377,41	379,22	381,47	381,35	380,66	379,35	378,31	377,71	377,41	377,11	377,01	377,31	377,29	377,00	376,74	376,63	376,52	376,34
13	375,87	375,90	375,93	375,95	375,98	376,01	376,05	376,10	376,16	376,23	376,36	376,56	376,84	377,20	378,45	379,67	379,62	379,63	379,14	378,44	377,96	377,60	377,25	377,09	377,09	377,03	376,75	376,54	376,42	376,35	376,22
12	375,88	375,90	375,92	375,94	375,97	376,00	376,04	376,08	376,13	376,22	376,35	376,54	376,76	377,00	377,84	378,66	378,63	378,71	378,53	378,23	378,68	378,08	377,70	377,33	377,18	377,02	376,73	376,49	376,38	376,30	376,18
11	375,88	375,90	375,91	375,94	375,96	376,00	376,03	376,07	376,13	376,22	376,36	376,53	376,69	376,84	377,28	378,23	378,09	378,48	378,05	377,77	377,92	377,65	377,50	377,27	377,07	376,99	376,79	376,56	376,40	376,29	376,17
10	375,87	375,89	375,91	375,93	375,96	376,00	376,03	376,08	376,14	376,24	376,38	376,52	376,65	376,76	377,37	377,99	378,08	378,31	378,02	377,52	377,41	377,26	377,15	377,05	376,95	376,88	376,81	376,66	376,47	376,33	376,20
9	375,87	375,89	375,91	375,93	375,96	376,00	376,04	376,08	376,16	376,26	376,39	376,51	376,60	376,67	377,10	377,72	377,94	378,02	377,73	377,27	377,02	376,85	376,85	376,82	376,81	376,80	376,77	376,72	376,57	376,42	376,25
8	375,87	375,89	375,91	375,94	375,97	376,01	376,04	376,09	376,17	376,28	376,40	376,49	376,54	376,60	377,13	377,40	377,62	377,66	377,48	377,08	376,87	376,66	376,63	376,60	376,62	376,69	376,68	376,67	376,64	376,50	376,34
7	375,87	375,89	375,92	375,95	375,98	376,01	376,05	376,10	376,18	376,29	376,39	376,45	376,46	376,52	376,90	377,04	377,32	377,75	377,83	377,42	376,94	376,64	376,48	376,45	376,47	376,54	376,53	376,54	376,55	376,53	376,41
6	375,87	375,90	375,92	375,95	375,98	376,01	376,05	376,11	376,19	376,29	376,37	376,40	376,39	376,48	376,87	376,98	377,17	377,53	378,84	378,25	377,04	376,66	376,47	376,37	376,34	376,37	376,39	376,42	376,45	376,48	376,43
5	375,87	375,90	375,93	375,96	375,98	376,01	376,05	376,12	376,21	376,29	376,35	376,34	376,33	376,49	376,87	376,93	377,01	377,12	377,87	377,68	377,00	376,77	376,47	376,32	376,28	376,27	376,30	376,33	376,37	376,41	376,41
4	375,88	375,91	375,93	375,96	375,98	376,01	376,06	376,13	376,21	376,28	376,31	376,29	376,27	376,48	376,77	376,77	376,81	376,92	377,30	377,73	376,86	376,75	376,47	376,33	376,26	376,25	376,24	376,26	376,30	376,35	376,37
3	375,88	375,91	375,94	375,96	375,98	376,01	376,07	376,14	376,21	376,26	376,27	376,24	376,22	376,37	376,60	376,66	376,69	376,73	376,91	377,03	376,73	376,66	376,49	376,33	376,26	376,23	376,22	376,23	376,25	376,31	376,33
2	375,88	375,92	375,94	375,96	375,98	376,02	376,07	376,14	376,20	376,23	376,23	376,20	376,18	376,25	376,37	376,50	376,62	376,65	376,70	376,71	376,60	376,55	376,44	376,34	376,28	376,24	376,22	376,21	376,23	376,28	376,29
1	375,89	375,92	375,94	375,96	375,98	376,02	376,07	376,13	376,18	376,19	376,17	376,15	376,14	376,18	376,28	376,33	376,46	376,47	376,50	376,49	376,42	376,42	376,38	376,33	376,28	376,25	376,21	376,21	376,21	376,24	376,24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Tabela AV 2 - Concentrações máximas (ppm) na Primavera

31	376,82	376,84	376,83	376,84	376,84	377,02	379,40	381,24	381,56	381,64	382,29	382,25	384,83	389,97	392,58	387,59	382,85	384,99	385,64	386,22	387,22	385,82	384,44	383,72	382,88	381,98	381,60	380,78	380,10	379,69	379,18
30	377,46	377,63	377,66	377,69	377,74	377,90	378,30	381,23	381,43	381,98	382,91	383,32	385,49	390,30	395,36	395,56	386,75	386,81	387,70	388,07	397,21	389,67	385,46	384,46	383,32	382,31	382,16	381,34	380,57	380,09	379,37
29	377,62	377,66	377,88	378,03	378,11	378,15	378,38	380,85	381,97	382,24	382,84	382,98	385,26	388,42	392,06	391,53	388,24	387,93	388,34	387,86	388,51	386,52	386,73	386,15	383,93	382,47	382,20	381,55	380,71	380,14	379,24
28	377,55	377,73	377,71	377,92	378,01	378,03	378,16	379,77	382,42	382,68	383,22	383,57	385,66	387,49	391,82	392,13	389,69	389,43	389,75	388,52	387,73	387,20	387,71	387,78	385,96	383,85	383,58	382,85	381,14	380,00	379,09
27	377,50	377,55	377,66	377,66	377,78	377,78	377,83	378,32	382,41	383,15	383,74	383,80	385,75	387,29	390,48	392,71	391,83	392,00	390,98	390,30	390,63	388,93	387,99	387,63	388,93	384,79	384,80	384,75	382,49	380,34	379,19
26	377,57	377,78	377,87	377,97	378,06	378,12	378,12	378,06	381,66	383,52	384,25	389,39	386,06	388,26	390,77	393,24	393,32	393,64	392,52	391,95	391,83	390,55	394,21	390,79	388,96	385,02	384,53	384,02	382,02	380,95	379,56
25	378,20	378,42	378,50	378,67	378,89	379,07	379,16	379,21	379,53	383,31	383,98	392,68	386,44	386,08	390,44	391,90	392,95	394,78	392,74	388,40	392,43	391,93	386,81	385,34	384,31	385,92	384,15	382,87	381,99	381,25	380,36
24	378,77	379,18	379,33	379,53	379,93	380,37	380,73	381,10	381,78	382,93	384,78	398,16	387,83	385,46	388,58	389,75	393,55	393,59	390,07	388,41	387,46	387,04	387,12	386,34	384,16	389,88	385,61	384,09	382,01	380,79	380,11
23	379,11	379,22	379,57	380,00	380,30	380,47	380,77	381,07	381,62	382,28	384,83	387,32	389,39	386,81	391,99	393,55	394,81	394,03	390,09	387,62	385,64	385,60	386,98	386,69	385,64	389,47	388,57	383,72	382,48	380,94	379,38
22	378,87	379,25	379,29	379,56	379,87	379,98	380,11	380,11	380,30	380,62	385,09	387,02	388,27	389,03	396,40	396,88	394,86	394,11	388,50	386,17	384,80	385,65	388,47	387,32	386,92	388,28	387,94	385,11	383,42	383,13	379,92
21	378,78	378,76	378,96	379,07	379,20	379,28	379,26	379,17	379,29	379,40	384,17	387,01	387,96	392,69	403,85	400,00	396,81	394,93	387,23	387,06	387,65	390,45	395,74	389,44	387,04	389,22	390,63	386,48	383,90	383,11	381,04
20	378,35	378,55	378,46	378,53	378,57	378,65	378,77	378,87	378,66	378,58	381,05	386,34	391,43	395,82	417,76	403,84	399,43	397,72	387,48	388,16	390,73	393,43	396,04	396,15	393,44	384,84	385,76	384,40	384,32	382,59	380,28
19	378,09	378,31	379,04	379,82	380,51	381,07	381,58	382,04	382,23	382,46	382,79	384,12	392,64	401,40	433,56	425,30	404,90	406,46	386,55	386,93	389,91	392,08	393,00	387,21	384,10	383,47	385,04	385,43	384,08	381,61	379,43
18	378,76	379,81	380,54	381,23	381,68	382,29	382,78	382,97	383,12	383,42	383,66	384,60	390,74	401,66	443,52	425,23	405,29	401,51	387,22	384,21	385,28	385,62	384,45	385,95	384,94	384,36	383,57	385,23	383,40	380,75	379,31
17	379,85	380,98	381,63	382,19	382,93	383,44	383,73	384,28	384,53	384,81	385,66	386,63	387,97	413,23	458,51	442,70	418,67	399,95	386,49	383,79	383,50	383,40	383,06	383,27	384,32	384,49	382,46	384,13	383,66	380,45	379,43
16	381,10	382,21	382,99	383,79	384,23	384,66	385,63	386,12	386,40	387,02	387,67	388,86	390,59	392,82	456,57	449,20	414,59	398,46	385,85	382,27	381,73	381,52	381,18	382,32	384,06	383,60	382,18	382,47	381,61	380,06	379,24
15	381,74	383,06	383,59	383,71	384,45	385,00	385,39	386,21	386,43	386,85	387,27	388,07	389,26	390,42	420,48	421,64	427,10	398,37	386,38	382,40	381,17	380,82	380,73	380,93	382,72	382,27	382,23	380,67	380,36	379,85	379,30
14	382,04	382,99	383,05	383,79	383,90	384,43	384,84	385,40	385,53	385,60	385,55	385,94	386,63	389,61	402,11	407,41	402,59	403,03	389,57	384,40	381,74	381,13	380,71	380,48	382,32	384,68	381,86	380,86	380,29	380,33	379,72
13	381,98	382,40	383,11	383,03	383,55	383,61	384,06	384,12	384,18	384,17	384,53	384,38	387,56	389,08	404,98	405,74	401,00	396,73	394,37	387,49	383,70	381,99	381,08	381,27	381,01	382,48	380,87	380,45	380,09	379,80	379,10
12	381,50	382,40	382,37	382,73	382,75	382,97	382,83	382,91	383,07	383,36	383,21	385,38	387,57	387,24	394,95	399,03	393,66	389,02	388,06	386,40	384,74	383,66	382,58	381,61	381,15	380,79	380,54	379,98	379,53	379,63	378,68
11	381,19	381,85	381,94	382,12	382,12	382,01	382,06	382,16	381,76	382,60	383,50	385,92	386,37	385,90	388,61	395,94	386,97	387,85	387,05	386,10	384,68	383,39	382,80	381,93	381,18	380,76	379,99	379,59	379,19	379,17	378,62
10	381,04	381,07	381,54	381,25	381,40	381,37	381,22	381,45	381,57	381,70	384,43	385,70	385,45	384,65	387,87	389,64	386,28	386,78	386,52	385,23	383,91	383,05	382,42	381,66	381,05	380,54	380,40	379,55	378,97	378,74	378,56
9	380,57	380,89	380,88	380,82	380,59	380,75	380,92	380,71	381,26	382,49	384,53	384,74	384,56	384,17	386,87	387,47	386,07	386,26	385,72	383,74	382,17	381,73	381,67	381,40	380,78	380,54	380,29	380,24	379,49	378,65	378,38
8	379,99	380,45	380,16	380,27	380,31	380,14	380,54	380,19	380,90	383,14	384,26	384,02	383,55	383,83	386,74	386,89	385,52	385,13	384,73	383,06	381,78	380,87	380,95	380,77	380,45	380,27	380,23	380,13	379,90	379,47	378,35
7	379,62	379,96	379,90	379,79	379,98	379,94	380,15	380,22	381,25	383,42	383,66	383,68	382,40	383,58	386,35	385,94	385,05	384,98	385,05	382,99	381,85	380,82	380,28	380,08	379,94	379,99	379,87	379,84	379,83	379,71	379,12
6	379,42	379,51	379,64	379,60	379,65	379,78	379,94	380,12	381,80	383,25	383,10	383,11	381,71	383,35	386,18	385,56	384,84	386,36	386,92	384,57	381,65	380,60	380,10	379,75	379,48	379,60	379,68	379,64	379,66	379,73	379,38
5	379,19	379,30	379,37	379,44	379,36	379,63	379,97	380,24	382,13	382,82	382,72	382,41	381,58	382,99	386,62	384,69	384,74	385,08	385,87	383,68	381,14	380,46	379,77	379,49	379,34	379,20	379,43	379,50	379,47	379,62	379,48
4	378,96	379,18	379,11	379,28	379,12	379,66	379,91	380,63	382,17	382,30	382,46	381,71	381,42	382,29	385,95	384,64	384,16	384,99	385,37	383,71	380,57	380,42	379,80	379,42	379,19	379,09	379,17	379,33	379,38	379,49	379,45
3	378,76	379,05	378,87	379,15	379,19	379,70	379,80	381,00	382,03	381,94	382,11	381,03	381,24	381,14	385,43	384,74	383,61	384,51	384,77	382,76	380,55	380,49	379,99	379,59	379,05	378,99	379,10	379,18	379,28	379,39	379,35
2	378,57	378,93	378,75	379,04	379,31	379,70	379,68	381,24	381,83	381,70	381,70	380,41	381,06	380,86	384,36	384,78	383,96	383,83	384,16	382,09	380,47	380,41	380,00	379,74	379,35	378,92	379,05	379,20	379,25	379,39	379,34
1	378,38	378,76	378,80	379,06	379,39	379,66	379,94	381,34	381,47	381,34	381,15	380,16	380,86	380,87	382,47	384,11	384,22	383,73	383,01	381,61	380,16	380,14	379,91	379,75	379,51	378,89	378,75	379,04	379,21	379,39	379,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Tabela AV 3 - Concentrações médias (ppm) no Verão

31	375,76	375,81	375,85	375,89	375,91	375,93	375,97	376,07	376,20	376,35	376,55	376,75	376,81	377,06	377,44	378,24	377,69	377,52	377,48	377,58	377,82	377,39	377,05	377,00	376,85	376,70	376,57	376,47	376,40	376,33	376,22
30	375,79	375,86	375,93	376,00	376,05	376,10	376,17	376,31	376,52	376,79	377,33	377,84	377,86	378,32	379,08	380,77	378,84	378,49	378,54	378,89	380,62	379,35	377,78	377,58	377,33	377,02	376,85	376,67	376,53	376,42	376,25
29	375,79	375,87	375,95	376,02	376,07	376,12	376,18	376,31	376,53	376,81	377,23	377,74	377,76	378,07	378,40	378,74	378,44	378,33	378,07	378,17	378,40	378,03	378,07	377,99	377,53	377,11	376,91	376,79	376,64	376,47	376,25
28	375,79	375,87	375,95	376,03	376,09	376,13	376,19	376,30	376,50	376,80	377,18	377,84	377,74	378,03	378,26	378,49	378,46	378,59	378,22	378,05	378,08	378,24	378,84	378,70	378,01	377,42	377,16	377,10	376,86	376,57	376,28
27	375,80	375,86	375,95	376,04	376,11	376,18	376,24	376,33	376,52	376,83	377,23	377,87	377,85	378,02	378,36	378,60	378,68	379,00	378,65	378,50	378,74	379,00	379,37	379,33	379,46	377,82	377,61	377,72	377,21	376,59	376,30
26	375,80	375,86	375,95	376,05	376,15	376,25	376,34	376,44	376,62	376,93	377,49	378,45	378,13	378,36	378,75	379,01	379,03	379,44	379,61	379,11	379,60	379,82	379,40	379,22	379,63	378,01	377,62	377,49	376,97	376,66	376,32
25	375,81	375,86	375,95	376,07	376,20	376,33	376,44	376,55	376,73	377,04	377,63	379,17	378,64	378,77	379,15	379,42	379,59	380,44	380,32	378,97	378,99	378,99	378,60	378,22	378,04	377,89	377,76	377,30	377,01	376,69	376,35
24	375,83	375,87	375,96	376,11	376,28	376,42	376,53	376,67	376,90	377,29	377,93	380,68	379,07	379,07	379,34	379,51	379,55	379,59	378,61	378,27	378,13	378,48	378,30	378,05	377,57	378,09	378,37	377,81	377,18	376,76	376,40
23	375,84	375,88	375,98	376,14	376,30	376,41	376,47	376,54	376,68	376,92	377,32	378,67	378,79	378,67	379,05	379,25	379,39	379,17	378,50	377,85	377,38	377,51	377,88	377,84	377,61	378,50	378,79	378,12	377,55	376,90	376,44
22	375,83	375,87	375,97	376,15	376,31	376,39	376,43	376,46	376,52	376,65	376,91	377,44	378,24	378,56	379,11	379,41	379,10	378,81	377,89	377,39	377,11	377,34	377,88	378,08	378,02	378,51	378,47	378,15	377,77	377,08	376,38
21	375,81	375,85	375,96	376,14	376,31	376,39	376,42	376,44	376,48	376,58	376,81	377,27	378,16	378,93	379,52	379,68	379,31	378,71	377,64	377,30	377,38	377,82	378,49	378,75	378,46	378,71	378,36	377,79	377,50	376,89	376,30
20	375,80	375,83	375,94	376,12	376,30	376,39	376,43	376,48	376,54	376,64	376,85	377,26	378,29	379,56	380,59	380,69	380,04	379,91	378,11	377,64	377,99	378,67	379,34	379,20	379,48	378,61	377,97	377,51	377,19	376,77	376,25
19	375,83	375,86	375,95	376,13	376,32	376,44	376,53	376,64	376,79	376,97	377,23	377,70	378,99	381,19	382,87	383,68	382,26	383,76	379,00	378,16	378,60	379,07	379,23	379,20	378,45	377,99	377,78	377,49	377,11	376,57	376,21
18	375,86	375,89	375,96	376,11	376,31	376,46	376,60	376,79	377,03	377,34	377,73	378,25	379,50	382,62	384,79	385,52	384,03	382,50	379,42	378,50	378,76	378,94	378,91	378,77	378,24	377,64	377,53	377,18	376,98	376,50	376,20
17	375,88	375,90	375,95	376,07	376,25	376,43	376,61	376,86	377,21	377,62	378,12	378,74	379,72	384,09	387,34	388,60	386,34	382,40	379,89	378,76	378,66	378,57	378,26	377,97	377,67	377,53	377,26	376,97	377,03	376,52	376,21
16	375,91	375,93	375,97	376,05	376,20	376,38	376,59	376,90	377,31	377,79	378,37	379,06	379,99	382,74	387,82	391,25	387,89	382,31	379,99	378,70	378,37	378,03	377,72	377,58	377,69	377,45	377,04	376,74	376,69	376,48	376,22
15	375,94	375,96	375,98	376,03	376,13	376,30	376,51	376,83	377,21	377,61	378,08	378,62	379,31	380,46	383,43	385,76	383,89	381,31	379,58	378,12	377,81	377,50	377,22	377,05	377,56	377,52	376,88	376,67	376,59	376,52	376,24
14	375,96	375,97	375,99	376,01	376,06	376,18	376,38	376,69	377,03	377,35	377,67	378,00	378,42	379,18	381,00	382,13	381,00	380,01	378,52	377,63	377,67	377,31	376,97	376,86	377,41	377,20	376,83	376,65	376,61	376,52	376,30
13	375,96	375,97	375,97	375,98	376,00	376,06	376,23	376,52	376,85	377,12	377,33	377,55	377,83	378,33	379,52	379,76	379,41	379,41	378,75	377,82	377,67	377,19	376,94	376,93	377,05	376,81	376,64	376,53	376,49	376,42	376,26
12	375,94	375,95	375,95	375,96	375,96	375,99	376,11	376,38	376,72	376,96	377,10	377,26	377,47	377,85	378,87	378,92	378,78	378,96	378,65	378,05	378,04	377,56	377,31	376,97	376,87	376,83	376,64	376,52	376,46	376,39	376,23
11	375,93	375,94	375,94	375,95	375,95	375,96	376,03	376,25	376,60	376,85	376,95	377,09	377,26	377,57	378,48	378,77	378,62	379,01	378,30	377,80	377,50	377,17	376,96	376,76	376,63	376,60	376,46	376,39	376,35	376,31	376,17
10	375,93	375,93	375,94	375,94	375,94	375,95	375,98	376,14	376,49	376,77	376,87	377,00	377,19	377,51	378,78	378,81	378,80	378,88	378,47	377,73	377,35	376,99	376,74	376,53	376,43	376,38	376,32	376,25	376,24	376,23	376,14
9	375,92	375,93	375,93	375,93	375,93	375,94	375,95	376,05	376,36	376,69	376,83	376,93	377,12	377,38	378,13	378,54	378,57	378,50	378,13	377,55	377,10	376,70	376,59	376,40	376,33	376,31	376,27	376,18	376,15	376,15	376,11
8	375,92	375,92	375,92	375,92	375,92	375,93	375,94	376,00	376,23	376,58	376,78	376,86	377,08	377,35	378,08	378,18	378,19	378,17	377,96	377,44	376,97	376,62	376,48	376,34	376,27	376,29	376,23	376,14	376,06	376,05	376,03
7	375,91	375,91	375,91	375,91	375,91	375,92	375,94	375,96	376,11	376,43	376,69	376,76	376,98	377,23	377,69	377,84	378,06	378,47	378,69	377,96	377,06	376,65	376,42	376,30	376,22	376,22	376,14	376,09	375,98	375,94	375,95
6	375,90	375,90	375,90	375,90	375,91	375,91	375,92	375,94	376,03	376,30	376,59	376,66	376,88	377,20	377,68	377,87	377,95	378,27	379,61	378,63	376,94	376,64	376,40	376,25	376,15	376,11	376,07	376,04	375,98	375,91	375,90
5	375,89	375,89	375,90	375,90	375,90	375,91	375,93	375,98	376,19	376,46	376,55	376,77	377,18	377,59	377,65	377,57	377,55	377,93	377,54	376,74	376,65	376,33	376,19	376,11	376,05	376,03	376,02	375,97	375,92	375,89	
4	375,89	375,89	375,89	375,89	375,90	375,90	375,91	375,92	375,95	376,10	376,32	376,42	376,61	377,05	377,34	377,28	377,19	377,17	377,31	377,45	376,50	376,52	376,27	376,16	376,09	376,05	376,02	376,00	375,97	375,92	375,88
3	375,88	375,89	375,89	375,89	375,89	375,89	375,90	375,90	375,92	376,00	376,17	376,31	376,45	376,76	377,01	376,98	376,94	376,84	376,82	376,64	376,38	376,38	376,25	376,13	376,07	376,04	376,01	375,99	375,97	375,96	375,89
2	375,88	375,88	375,88	375,88	375,88	375,88	375,88	375,88	375,89	375,92	376,04	376,19	376,34	376,50	376,60	376,69	376,75	376,66	376,56	376,41	376,29	376,24	376,16	376,11	376,07	376,05	376,02	376,00	375,99	375,98	375,90
1	375,88	375,87	375,87	375,87	375,87	375,87	375,87	375,87	375,87	375,89	375,93	376,03	376,22	376,35	376,37	376,32	376,35	376,29	376,23	376,19	376,13	376,12	376,12	376,10	376,06	376,05	376,01	376,00	375,98	375,98	375,90
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Tabela AV 4 - Concentrações máximas (ppm) no Verão

31	379,25	381,70	382,00	383,63	384,29	383,93	383,06	385,80	388,84	387,95	386,14	384,58	383,80	383,89	384,75	387,53	383,37	384,34	386,62	387,30	388,64	381,87	379,91	379,99	379,61	379,09	378,60	378,18	378,07	378,04	377,92
30	378,64	382,96	383,86	384,16	385,04	384,90	384,21	384,84	389,20	388,92	387,65	387,73	391,02	393,19	395,16	396,94	388,82	387,97	391,02	389,83	397,87	395,07	385,28	381,77	380,81	379,52	379,06	378,58	378,38	378,30	378,03
29	378,08	384,04	385,67	385,44	384,37	384,30	384,08	384,11	388,86	390,33	390,54	388,26	387,77	387,68	387,35	386,47	384,78	385,14	386,53	385,55	385,61	385,17	384,80	383,13	381,21	379,74	379,27	378,96	378,71	378,48	378,12
28	378,06	384,09	386,18	386,25	385,67	384,74	383,60	383,29	388,23	392,82	393,35	390,80	388,50	386,72	384,57	384,31	384,05	384,07	383,39	383,47	386,32	387,54	388,83	386,31	382,60	380,26	380,05	379,80	379,32	378,66	378,89
27	378,02	382,75	385,41	386,61	386,50	385,71	384,41	383,87	386,99	394,08	395,46	393,06	389,77	387,76	385,82	385,06	385,22	385,97	385,57	385,67	389,30	389,62	387,97	388,27	387,66	381,97	381,13	381,12	379,81	378,82	378,74
26	378,04	381,65	385,39	387,02	387,23	387,11	386,71	386,39	385,79	393,25	396,59	395,25	390,18	389,07	388,40	389,29	389,99	390,11	391,53	392,12	394,01	392,67	392,47	389,49	388,65	383,56	381,80	380,89	379,39	379,01	378,48
25	378,55	380,09	383,40	384,89	386,64	388,44	389,07	389,68	389,97	390,76	396,23	398,79	393,97	392,56	392,17	393,75	393,85	395,27	392,86	388,07	387,98	386,28	384,00	384,39	384,31	382,47	383,78	381,41	380,23	379,17	378,73
24	379,45	379,74	384,23	386,81	389,05	392,40	392,87	391,34	391,33	393,51	395,44	403,37	397,92	395,14	393,19	390,42	389,89	389,14	385,67	383,82	384,09	383,59	382,14	380,90	382,13	385,44	386,42	383,95	382,59	380,30	379,38
23	380,14	380,36	387,55	392,76	392,54	394,39	395,24	394,08	392,14	390,16	391,45	399,11	400,18	395,68	392,91	392,74	387,69	385,21	383,50	381,75	380,58	380,42	381,28	381,21	381,55	390,52	389,51	386,88	386,23	382,44	381,19
22	379,91	380,69	390,25	398,34	398,76	394,05	394,55	394,05	393,02	391,88	390,90	397,06	400,05	397,87	398,07	396,39	389,20	384,77	383,03	382,45	381,47	381,67	382,74	382,89	382,67	389,88	390,84	387,16	385,86	383,08	379,63
21	379,65	380,13	390,87	401,02	402,09	397,20	393,22	391,68	391,10	391,04	391,17	397,50	407,06	406,07	403,56	398,91	391,14	391,05	386,26	384,48	383,80	384,71	385,91	387,18	386,42	388,95	388,82	385,86	383,85	381,32	379,22
20	378,80	379,10	389,16	399,79	401,73	399,46	394,92	393,36	392,78	391,61	390,46	396,53	412,27	414,87	411,05	404,36	399,27	401,74	390,39	387,10	385,78	386,40	392,77	389,87	397,21	388,85	387,33	384,26	382,17	380,37	380,03
19	379,07	379,49	385,44	397,78	404,48	402,53	401,01	398,69	395,46	395,24	394,73	393,94	410,27	427,58	427,82	422,73	410,95	418,37	392,82	388,67	386,45	386,65	390,19	391,56	385,73	384,74	384,88	384,13	382,53	380,12	379,74
18	380,50	380,71	384,06	396,33	403,53	402,94	406,71	403,23	404,11	402,66	400,48	400,77	401,15	432,20	444,40	442,05	424,54	403,55	394,82	388,19	386,14	387,29	386,88	386,68	384,92	384,66	384,18	383,18	382,12	379,50	378,88
17	380,97	381,64	381,81	391,31	398,04	404,49	407,90	407,17	412,36	409,38	409,96	411,71	413,23	418,26	440,93	454,02	452,63	422,13	403,28	388,90	385,95	385,74	385,02	384,27	383,22	386,23	383,15	382,34	382,24	380,09	379,29
16	382,53	383,05	383,22	384,72	390,33	400,32	402,39	409,44	412,26	414,58	419,66	418,80	420,36	438,75	446,60	445,81	446,21	429,24	405,95	395,35	387,72	385,52	384,48	383,21	384,80	386,70	382,37	381,60	381,71	380,49	379,57
15	383,78	383,94	385,01	385,50	385,46	392,65	394,31	403,26	401,84	414,31	411,34	425,47	423,71	442,04	446,59	437,86	414,91	407,66	407,21	397,81	389,49	385,49	383,81	382,61	383,78	386,25	381,32	381,33	381,78	381,20	379,74
14	384,19	385,05	385,46	385,21	385,39	385,76	388,79	395,06	397,36	405,19	404,35	416,15	411,53	429,29	427,87	414,84	398,87	397,34	389,45	388,39	386,40	384,92	383,48	382,57	382,89	381,46	380,98	380,85	381,61	381,37	380,12
13	384,11	385,05	384,60	384,47	384,60	383,90	384,07	391,60	396,34	401,43	402,27	403,24	405,88	408,51	403,65	395,75	391,80	391,49	391,23	386,76	383,86	382,87	382,43	381,90	381,61	381,09	381,45	381,45	381,75	381,38	379,84
12	384,03	384,06	383,53	383,71	383,01	383,37	382,80	389,68	395,46	400,36	400,11	399,79	400,27	398,81	393,05	390,44	388,67	388,02	389,16	388,62	385,65	385,61	386,59	386,76	386,00	383,97	382,90	382,44	381,69	381,04	379,72
11	383,32	382,69	383,02	382,49	382,88	382,50	382,99	387,08	394,68	399,77	398,17	397,05	396,04	392,29	389,26	388,00	387,45	387,28	387,89	388,22	387,32	386,74	387,90	384,51	384,64	383,90	381,65	380,25	380,99	380,54	379,67
10	382,29	382,51	382,21	382,29	382,40	381,93	382,76	383,50	393,27	398,85	396,36	394,86	393,11	388,62	388,39	387,76	386,08	387,18	388,44	387,61	386,70	384,69	385,82	384,14	381,91	381,26	380,30	379,46	380,09	380,14	379,55
9	381,59	382,08	381,42	382,13	381,76	382,01	382,33	381,36	391,25	397,01	396,52	392,91	391,01	387,35	386,79	387,05	386,11	385,42	385,41	384,35	384,80	383,53	382,37	379,81	379,87	379,93	380,27	380,20	379,43	379,84	379,55
8	381,50	381,56	381,49	381,82	381,13	381,90	381,83	381,18	387,56	396,02	396,69	392,20	389,39	386,99	386,38	386,01	385,04	384,19	384,44	384,76	384,71	383,49	382,13	380,24	379,58	379,49	379,17	380,05	379,96	379,19	379,01
7	381,30	381,03	381,42	381,45	380,78	381,70	381,38	381,11	383,45	393,28	395,74	391,97	389,50	386,24	385,23	385,09	385,79	386,25	386,39	385,83	384,08	382,98	381,73	380,51	380,00	379,92	379,54	379,50	379,29	379,40	378,62
6	381,05	380,57	381,30	381,10	380,74	381,47	381,01	380,96	381,75	390,16	395,77	390,81	389,31	385,10	385,33	385,77	385,80	386,13	387,84	385,45	382,95	382,29	381,23	380,14	379,95	379,80	379,55	379,28	379,18	378,84	378,92
5	380,80	380,59	381,15	380,81	380,65	381,26	380,73	380,76	381,47	387,10	393,75	389,47	388,63	385,54	385,64	385,08	384,24	384,11	385,54	383,54	382,01	381,48	380,74	379,75	379,58	379,42	379,33	379,16	379,20	379,15	378,70
4	380,58	380,58	381,00	380,58	380,54	381,07	380,52	380,53	381,22	383,77	390,21	388,84	387,76	385,39	385,13	383,74	383,13	383,27	384,30	383,41	381,72	380,88	380,23	379,37	379,02	378,92	378,90	378,90	379,15	379,23	378,65
3	380,40	380,53	380,85	380,38	380,40	380,90	380,36	380,25	381,00	380,45	386,52	387,74	387,58	385,56	384,53	383,46	382,79	382,61	382,75	381,36	381,14	380,29	379,72	379,03	378,62	378,45	378,42	378,56	378,78	379,18	378,89
2	380,27	380,46	380,71	380,23	380,25	380,75	380,24	379,97	380,82	380,45	382,84	386,27	387,50	385,85	383,72	383,35	382,52	382,03	381,44	380,49	380,42	379,64	379,22	378,86	378,58	378,31	378,13	378,27	378,57	379,04	379,02
1	380,10	380,33	380,53	380,07	380,00	380,55	380,16	379,58	380,59	380,52	379,88	383,30	385,81	385,71	383,57	383,00	382,07	381,75	380,75	379,79	379,17	379,28	378,77	378,65	378,57	378,37	378,13	378,17	378,44	378,80	378,92
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Tabela AV 5 - Concentrações médias (ppm) no Outono

31	378,48	378,46	378,43	378,37	378,28	378,16	378,03	377,90	377,77	377,65	377,54	377,44	377,34	377,30	377,49	378,15	377,94	377,67	377,36	377,01	376,67	376,36	376,25	376,21	376,15	376,07	376,01	375,97	375,93	375,90	375,85	
30	378,64	378,67	378,70	378,73	378,73	378,71	378,70	378,72	378,79	378,96	379,38	379,69	380,05	381,34	382,44	383,59	380,20	379,95	380,11	380,39	381,84	379,28	377,14	376,91	376,69	376,39	376,23	376,07	375,98	375,92	375,85	
29	378,74	378,78	378,79	378,81	378,81	378,77	378,69	378,62	378,59	378,64	378,87	379,17	379,35	379,68	379,74	379,82	379,11	378,74	378,56	378,75	378,88	378,03	377,58	377,25	376,72	376,41	376,20	376,09	376,00	375,93	375,85	
28	378,85	378,96	379,00	379,04	379,07	379,07	379,01	378,91	378,82	378,82	378,96	379,43	379,45	379,62	379,63	379,60	379,34	379,12	378,71	378,65	378,64	378,54	378,69	378,08	377,06	376,69	376,38	376,29	376,14	375,99	375,85	
27	378,89	379,08	379,18	379,26	379,34	379,40	379,41	379,34	379,23	379,20	379,34	379,75	379,71	379,90	379,97	380,10	380,09	380,15	379,77	379,93	380,13	380,18	380,10	379,57	379,04	377,22	377,00	377,09	376,45	375,94	375,83	
26	378,87	379,11	379,30	379,46	379,61	379,76	379,89	379,95	379,95	380,02	380,37	381,02	380,43	380,53	380,71	380,93	380,98	381,29	381,49	381,18	381,53	381,14	380,33	379,77	379,51	377,28	376,86	376,73	376,18	375,97	375,81	
25	378,81	379,05	379,28	379,51	379,74	379,97	380,24	380,48	380,69	380,98	381,58	382,75	381,57	381,53	381,63	381,86	382,22	383,23	382,81	381,05	381,00	380,41	379,45	378,54	378,02	377,29	376,78	376,36	376,15	375,96	375,81	
24	378,82	379,00	379,21	379,46	379,70	379,97	380,28	380,65	381,12	381,83	382,95	385,68	382,15	381,92	381,65	381,53	381,38	381,08	380,04	379,71	379,53	379,72	379,19	378,63	377,85	377,99	377,53	376,77	376,18	375,94	375,82	
23	378,89	379,05	379,19	379,38	379,56	379,70	379,80	379,90	380,04	380,28	380,66	382,01	381,45	380,59	380,47	380,51	380,63	380,24	379,63	378,74	378,13	378,25	378,43	378,35	378,14	378,97	378,46	377,21	376,43	376,00	375,82	
22	378,98	379,21	379,36	379,54	379,74	379,90	380,00	380,03	380,03	380,00	380,00	380,30	380,76	380,03	379,91	379,88	379,46	379,26	378,66	378,12	377,79	378,02	378,47	378,46	378,49	378,93	378,51	377,65	376,94	376,28	375,85	
21	378,99	379,30	379,51	379,75	380,00	380,27	380,49	380,64	380,71	380,71	380,70	380,85	381,32	380,66	380,30	379,94	379,39	378,55	378,16	378,05	378,12	378,71	379,19	378,98	378,68	379,13	378,69	377,80	377,19	376,42	375,86	
20	378,87	379,25	379,53	379,84	380,18	380,56	380,97	381,31	381,56	381,72	381,86	382,11	382,95	382,52	382,31	381,57	380,63	379,75	378,73	378,63	379,13	379,95	380,31	379,95	380,09	379,26	378,30	377,53	377,01	376,43	375,85	
19	378,65	379,08	379,42	379,78	380,19	380,67	381,24	381,85	382,40	382,89	383,53	384,48	386,02	386,40	386,22	386,07	384,58	385,94	380,11	379,63	380,31	380,86	380,86	380,17	379,29	378,81	378,55	377,65	376,84	376,19	375,82	
18	378,35	378,77	379,13	379,52	379,94	380,43	381,03	381,74	382,50	383,21	383,98	385,09	386,99	389,06	388,23	387,12	385,15	384,38	381,09	380,49	380,80	381,04	380,91	380,00	378,87	378,18	378,28	377,41	376,77	376,08	375,79	
17	378,04	378,39	378,73	379,12	379,55	380,02	380,59	381,30	382,17	383,14	384,21	385,62	387,92	392,85	394,45	391,92	387,94	384,38	381,78	380,84	380,53	380,23	379,58	379,10	378,40	378,09	377,78	377,18	376,95	376,07	375,77	
16	377,78	378,06	378,33	378,67	379,06	379,47	379,94	380,50	381,21	382,12	383,25	384,70	386,80	391,06	396,09	397,72	391,70	384,30	381,95	380,58	379,84	379,29	379,04	378,92	378,55	377,87	377,28	376,68	376,46	376,03	375,75	
15	377,56	377,78	377,99	378,26	378,57	378,92	379,28	379,66	380,09	380,66	381,42	382,49	384,10	386,81	391,54	393,46	388,54	383,70	381,22	379,57	378,83	378,54	378,58	378,66	378,98	377,87	376,94	376,53	376,29	376,03	375,74	
14	377,36	377,55	377,73	377,95	378,20	378,51	378,84	379,17	379,49	379,84	380,28	380,94	381,97	383,61	386,31	387,55	385,46	382,55	380,02	378,94	378,59	378,33	378,29	378,56	379,52	377,51	376,77	376,36	376,17	375,97	375,72	
13	377,16	377,32	377,48	377,66	377,88	378,13	378,44	378,78	379,12	379,44	379,76	380,18	380,81	381,73	383,17	383,39	382,73	382,00	380,21	379,28	379,21	378,75	378,47	378,27	377,55	376,83	376,33	376,03	375,87	375,80	375,70	
12	377,00	377,13	377,25	377,41	377,59	377,80	378,05	378,35	378,68	379,01	379,32	379,64	380,05	380,64	381,66	381,62	381,27	380,77	379,49	378,40	378,69	378,30	377,90	377,23	376,91	376,62	376,16	375,90	375,81	375,77	375,70	
11	376,84	376,96	377,06	377,19	377,34	377,53	377,73	377,97	378,23	378,52	378,82	379,13	379,47	379,92	380,76	381,03	380,78	380,76	379,09	378,18	377,54	377,14	376,96	376,82	376,59	376,40	376,07	375,84	375,78	375,76	375,70	
10	376,69	376,79	376,88	377,00	377,13	377,28	377,47	377,67	377,89	378,12	378,38	378,67	379,02	379,54	380,73	380,75	380,64	380,39	379,15	378,01	377,34	376,91	376,58	376,50	376,40	376,26	376,05	375,83	375,76	375,74	375,70	
9	376,55	376,64	376,71	376,81	376,92	377,05	377,21	377,39	377,58	377,79	378,00	378,23	378,48	378,82	379,56	380,04	380,02	379,56	378,59	377,63	377,05	376,61	376,37	376,25	376,22	376,18	376,06	375,89	375,77	375,74	375,70	
8	376,44	376,51	376,56	376,64	376,73	376,84	376,98	377,15	377,34	377,55	377,77	378,01	378,28	378,65	379,26	379,33	379,19	378,79	378,18	377,46	376,95	376,47	376,20	376,05	376,03	376,05	375,97	375,89	375,80	375,74	375,70	
7	376,34	376,40	376,44	376,50	376,57	376,65	376,77	376,92	377,10	377,32	377,54	377,79	378,09	378,47	378,90	378,96	379,13	379,25	379,05	377,94	376,98	376,42	376,08	375,93	375,86	375,90	375,82	375,80	375,74	375,73	375,70	
6	376,26	376,31	376,35	376,39	376,44	376,50	376,59	376,72	376,89	377,10	377,33	377,61	378,00	378,54	379,04	379,14	379,21	379,54	380,64	378,84	376,69	376,33	376,02	375,86	375,81	375,80	375,78	375,77	375,74	375,72	375,70	
5	376,19	376,22	376,26	376,30	376,34	376,38	376,44	376,53	376,66	376,84	377,06	377,32	377,66	378,17	378,42	378,26	378,06	377,97	378,28	377,59	376,57	376,38	375,95	375,83	375,79	375,75	375,75	375,76	375,74	375,73	375,70	
4	376,12	376,15	376,18	376,21	376,24	376,28	376,32	376,38	376,47	376,60	376,78	377,02	377,35	377,87	377,92	377,69	377,47	377,38	377,41	377,34	376,24	376,22	375,93	375,83	375,78	375,76	375,74	375,74	375,74	375,73	375,73	375,70
3	376,06	376,08	376,10	376,12	376,15	376,18	376,22	376,26	376,31	376,38	376,49	376,65	376,89	377,28	377,36	377,24	377,05	376,88	376,74	376,50	376,16	376,12	375,96	375,83	375,78	375,76	375,74	375,74	375,74	375,75	375,70	
2	376,01	376,02	376,03	376,04	376,06	376,08	376,11	376,15	376,19	376,23	376,28	376,35	376,49	376,74	376,96	377,02	376,91	376,67	376,46	376,25	376,08	376,01	375,90	375,84	375,80	375,78	375,75	375,75	375,76	375,78	375,71	
1	375,95	375,95	375,95	375,95	375,96	375,96	375,98	375,99	376,02	376,05	376,07	376,10	376,14	376,20	376,27	376,27	376,34	376,33	376,18	376,07	375,97	375,96	375,95	375,90	375,85	375,84	375,79	375,80	375,80	375,81	375,71	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		

Tabela AV 6 - Concentrações máximas (ppm) no Outono

31	386,06	384,58	384,27	383,72	383,24	382,93	382,25	381,51	380,91	380,28	380,03	379,93	379,79	380,12	381,89	382,47	381,16	380,42	380,48	379,66	379,51	378,36	378,39	378,17	378,00	377,87	377,71	377,56	377,33	377,07	376,81
30	387,60	385,77	385,37	384,99	384,05	384,08	384,80	385,24	385,37	386,11	388,37	390,96	391,09	391,92	393,30	393,92	387,24	386,91	386,76	388,29	389,79	388,32	383,56	381,15	380,22	379,44	378,83	378,12	377,71	377,45	377,02
29	388,98	386,79	385,68	385,83	385,20	384,17	383,79	383,67	384,63	385,28	386,15	387,51	387,69	387,67	387,56	387,82	384,95	384,91	385,25	386,54	387,91	386,91	384,56	383,69	381,70	380,20	378,99	378,16	377,84	377,67	377,09
28	390,02	388,18	386,56	385,83	386,07	386,36	386,04	385,08	384,25	384,42	385,97	388,21	387,54	386,93	387,00	386,83	385,82	385,03	384,77	385,43	386,36	385,41	385,52	385,68	382,62	381,07	379,47	378,54	378,43	378,18	377,25
27	391,01	389,26	387,78	386,10	386,56	387,65	387,95	387,02	385,86	385,96	387,82	389,90	389,00	388,25	389,18	389,76	389,42	388,40	388,17	388,66	388,62	388,58	388,93	389,25	386,81	383,41	381,20	380,94	380,47	378,62	377,26
26	393,64	390,72	388,84	387,28	387,84	387,96	388,25	388,62	388,20	389,33	391,38	392,81	391,24	390,69	392,58	393,81	393,46	392,38	395,03	395,35	394,55	395,35	393,76	392,84	391,33	386,66	382,55	381,74	380,10	378,87	377,29
25	394,50	392,52	391,03	388,98	388,29	388,03	388,67	389,82	390,69	392,01	395,44	397,84	395,39	394,74	395,93	396,35	395,77	397,03	395,44	393,00	392,72	391,35	389,56	386,65	386,62	385,56	383,15	380,88	379,73	378,81	377,43
24	393,93	393,93	392,03	391,13	390,27	391,47	391,81	391,53	393,19	394,52	396,12	397,61	393,07	393,33	392,67	391,98	391,86	390,81	388,96	387,92	386,48	386,48	385,74	385,21	384,03	385,33	385,41	382,53	379,85	378,68	377,64
23	397,36	397,83	395,32	393,14	391,02	389,69	387,53	387,89	387,66	388,81	390,45	394,50	390,75	389,61	389,65	390,17	390,34	390,88	388,86	385,54	383,06	383,75	384,60	385,15	383,68	387,31	388,18	384,70	381,65	379,09	377,84
22	398,70	399,34	396,97	395,39	394,29	392,96	390,86	388,81	386,53	386,33	387,55	391,65	389,20	387,15	388,05	387,76	388,99	388,57	386,30	384,34	381,84	383,19	384,31	384,28	384,50	386,46	386,90	386,05	383,09	380,99	378,47
21	397,48	398,09	396,80	398,48	397,34	395,31	393,85	392,24	390,32	388,56	387,70	388,62	389,66	386,64	386,97	387,52	387,70	385,90	384,49	383,02	381,67	383,53	385,03	384,94	385,16	387,21	388,49	385,85	384,33	381,89	378,82
20	395,59	396,02	400,58	402,38	400,82	398,65	398,29	397,44	394,42	392,47	391,17	391,11	392,56	390,49	389,58	387,88	386,45	385,69	384,44	383,00	383,81	386,17	387,01	387,49	390,03	387,85	386,42	384,87	383,39	381,82	378,49
19	397,01	396,80	401,64	403,22	401,19	400,08	402,04	400,55	398,24	401,84	399,90	398,48	399,21	398,09	397,79	396,88	394,51	396,94	390,26	386,23	388,34	390,18	390,20	389,98	388,77	387,16	386,62	385,19	383,10	381,04	377,85
18	396,49	399,35	399,50	400,40	400,68	405,42	407,08	404,48	401,23	408,83	409,63	409,78	412,88	408,44	402,31	399,27	397,73	399,20	394,37	389,20	389,96	391,02	391,44	391,35	388,06	385,99	385,78	384,54	382,07	380,28	377,56
17	395,21	399,70	398,40	401,47	402,33	406,83	407,61	404,07	407,94	410,55	409,36	418,55	433,87	434,12	427,52	412,85	407,09	403,66	398,70	393,55	390,23	390,80	389,07	389,80	387,71	386,32	385,61	382,60	382,76	380,09	377,46
16	394,86	398,32	396,35	401,55	400,27	402,84	405,69	404,80	412,80	413,44	409,90	417,73	424,33	431,31	438,53	446,22	433,33	414,37	403,27	396,19	391,13	388,71	387,47	388,24	388,22	386,30	383,93	381,21	380,45	379,36	377,19
15	392,90	396,14	395,49	399,86	400,06	402,52	402,89	403,38	408,54	407,25	413,32	420,11	419,36	431,91	441,23	454,85	445,42	418,60	406,95	397,74	393,49	390,54	388,49	386,18	389,45	385,92	382,51	380,55	379,46	378,77	377,03
14	391,20	392,65	393,25	396,97	399,96	401,06	400,35	401,29	407,30	407,52	407,90	414,73	422,62	426,96	438,53	439,69	431,06	421,89	404,85	398,09	394,10	392,87	391,01	388,73	390,73	389,51	385,67	382,39	379,73	377,75	376,24
13	390,44	391,51	391,93	392,61	397,05	398,05	395,40	400,04	405,74	404,82	401,78	412,10	417,84	412,06	424,96	419,55	412,25	407,79	401,54	397,25	393,97	393,80	392,63	390,70	392,27	391,52	387,46	382,70	378,52	376,24	375,80
12	390,67	391,69	391,86	391,78	392,91	393,38	394,51	395,61	399,55	398,13	398,99	401,89	402,60	401,66	405,48	404,04	401,46	401,53	398,23	397,71	397,48	393,75	393,81	393,77	392,72	391,26	387,43	381,13	377,12	376,12	375,79
11	390,20	391,56	391,65	392,02	392,70	392,46	394,00	393,95	394,98	394,62	395,95	395,48	395,13	398,34	400,31	398,60	396,50	396,18	394,99	392,90	390,95	389,09	388,58	389,47	390,05	389,98	387,46	380,04	376,41	376,04	375,76
10	388,80	390,59	390,88	391,74	392,13	392,43	393,11	393,05	393,97	393,38	394,02	393,88	393,75	396,37	397,95	395,83	394,77	395,83	393,20	391,36	390,30	388,55	385,50	386,21	387,66	387,89	387,69	380,17	376,16	375,92	375,74
9	388,18	388,94	389,55	390,48	390,81	391,61	391,54	392,03	393,02	391,78	392,68	392,95	392,80	394,87	395,85	395,44	393,90	392,79	392,11	391,27	390,39	387,68	384,08	384,16	385,53	386,10	386,30	382,66	376,35	375,97	375,75
8	388,63	389,15	389,95	390,42	389,90	391,50	391,16	391,02	392,16	391,08	391,89	392,21	392,10	393,81	395,18	394,32	392,32	391,20	391,40	391,10	389,55	385,94	382,79	382,72	382,69	382,24	381,82	381,07	377,29	376,04	375,75
7	389,00	389,49	390,03	390,57	389,80	391,17	391,01	390,19	391,45	390,67	391,28	391,47	391,17	392,18	393,51	391,87	392,31	392,07	392,53	391,01	387,79	383,88	382,14	381,02	378,29	377,44	376,91	377,18	376,02	375,89	375,75
6	389,21	389,82	389,89	390,59	390,10	390,74	390,82	390,01	390,88	390,35	390,68	390,90	391,59	392,21	392,49	392,70	392,21	392,28	394,59	389,52	383,56	382,36	381,39	378,15	377,01	376,55	376,50	377,16	376,41	375,87	375,76
5	389,35	390,06	389,68	390,43	390,31	390,16	390,55	390,09	390,45	390,31	390,23	391,10	392,18	392,15	392,85	391,97	389,80	389,47	389,50	386,36	383,11	382,29	379,62	377,54	376,54	376,16	376,44	377,02	376,79	375,93	375,75
4	389,72	390,12	390,05	390,11	390,40	390,37	390,35	390,37	390,45	390,51	390,65	391,29	391,42	391,92	391,31	389,07	387,63	387,12	388,06	386,40	382,36	381,46	379,08	377,19	376,27	376,06	376,44	376,86	376,84	375,98	375,74
3	389,25	390,05	390,10	389,78	390,37	390,43	390,26	390,49	390,40	390,35	390,43	390,26	390,28	390,46	388,69	388,12	386,77	385,95	387,07	384,89	382,22	381,26	379,10	377,16	376,25	376,06	376,34	376,60	376,77	376,07	375,75
2	388,53	389,77	389,28	389,50	390,17	389,71	390,07	390,23	389,60	390,02	389,44	389,71	388,81	389,48	387,66	387,64	387,00	385,14	385,58	384,14	382,14	381,16	379,25	377,43	376,35	376,12	376,38	376,46	376,72	376,17	375,79
1	386,25	385,56	387,45	388,28	386,70	388,35	389,25	387,85	388,95	388,82	388,35	388,60	387,46	388,35	387,09	386,30	386,63	384,86	383,15	382,79	381,55	380,85	379,45	377,93	376,72	376,24	376,50	376,53	376,60	376,29	375,86
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Tabela AV 7 - Concentrações médias (ppm) no Inverno

31	376,28	376,27	376,29	376,32	376,37	376,46	376,55	376,61	376,63	376,61	376,61	376,60	376,61	376,71	376,86	377,09	376,92	376,85	376,79	376,72	376,66	376,37	376,17	376,10	376,04	375,97	375,92	375,88	375,84	375,82	375,79
30	376,39	376,42	376,44	376,48	376,55	376,67	376,83	377,00	377,13	377,26	377,55	377,74	377,81	378,20	378,90	380,27	378,29	378,08	378,30	378,64	380,09	378,56	376,84	376,63	376,48	376,26	376,15	376,01	375,92	375,86	375,81
29	376,41	376,45	376,47	376,51	376,57	376,67	376,83	377,01	377,18	377,31	377,48	377,69	377,71	377,82	378,04	378,30	377,96	377,78	377,69	377,79	378,01	377,41	377,10	376,94	376,57	376,31	376,16	376,05	375,96	375,90	375,82
28	376,45	376,51	376,54	376,58	376,64	376,73	376,88	377,08	377,29	377,44	377,58	377,87	377,75	377,81	377,87	378,02	378,02	378,05	377,86	377,76	377,72	377,64	377,87	377,64	376,93	376,58	376,34	376,27	376,12	375,98	375,84
27	376,48	376,54	376,60	376,65	376,71	376,80	376,94	377,13	377,36	377,57	377,73	377,94	377,81	377,79	377,89	378,08	378,25	378,50	378,30	378,37	378,48	378,55	378,68	378,49	378,46	376,97	376,80	376,90	376,45	375,98	375,86
26	376,52	376,59	376,66	376,74	376,83	376,92	377,05	377,24	377,49	377,80	378,15	378,47	378,00	378,01	378,15	378,38	378,57	378,96	379,32	379,10	379,43	379,46	379,05	378,68	378,81	377,09	376,75	376,68	376,22	376,02	375,87
25	376,57	376,63	376,71	376,82	376,94	377,05	377,17	377,35	377,62	378,00	378,53	379,32	378,49	378,41	378,50	378,73	379,10	380,05	380,23	379,00	379,16	378,96	378,34	377,80	377,50	376,99	376,69	376,39	376,21	376,02	375,88
24	376,64	376,70	376,78	376,89	377,04	377,19	377,35	377,55	377,86	378,34	379,12	381,12	378,94	378,69	378,61	378,70	378,90	379,10	378,53	378,40	378,27	378,51	378,09	377,65	377,11	377,34	377,22	376,80	376,30	376,04	375,90
23	376,70	376,75	376,79	376,87	376,99	377,13	377,28	377,42	377,62	377,93	378,38	379,47	379,08	378,44	378,37	378,45	378,74	378,73	378,49	377,82	377,35	377,41	377,51	377,33	377,15	377,75	377,74	377,10	376,58	376,17	375,96
22	376,78	376,85	376,89	376,93	377,00	377,12	377,26	377,36	377,45	377,59	377,85	378,30	378,71	378,29	378,23	378,30	378,13	378,11	377,62	377,29	377,04	377,17	377,42	377,37	377,29	377,58	377,52	377,30	376,89	376,42	376,03
21	376,89	376,99	377,06	377,11	377,16	377,25	377,40	377,52	377,60	377,69	377,92	378,37	378,84	378,69	378,55	378,38	378,08	377,55	377,22	377,16	377,23	377,53	377,86	377,78	377,47	377,74	377,57	377,16	376,90	376,44	375,99
20	376,98	377,13	377,23	377,31	377,39	377,48	377,63	377,81	377,96	378,07	378,28	378,74	379,56	379,69	379,72	379,29	378,71	378,34	377,51	377,45	377,74	378,19	378,47	378,30	378,44	377,90	377,36	376,93	376,66	376,33	375,96
19	377,07	377,24	377,37	377,49	377,62	377,76	377,95	378,21	378,52	378,82	379,22	379,92	381,20	382,15	382,46	382,35	381,07	382,53	378,34	377,92	378,34	378,66	378,66	378,41	377,92	377,52	377,37	376,96	376,60	376,21	375,95
18	377,10	377,27	377,40	377,53	377,68	377,85	378,07	378,37	378,73	379,14	379,61	380,34	381,85	383,62	383,86	383,48	381,89	381,37	378,75	378,28	378,51	378,61	378,62	378,42	377,75	377,17	377,14	376,80	376,59	376,17	375,95
17	377,06	377,24	377,36	377,50	377,66	377,86	378,11	378,43	378,83	379,29	379,86	380,63	382,04	385,87	387,18	386,34	383,76	381,13	379,17	378,46	378,37	378,18	377,92	377,78	377,42	377,13	376,96	376,70	376,71	376,20	375,96
16	377,01	377,18	377,31	377,45	377,62	377,83	378,09	378,43	378,84	379,31	379,88	380,65	381,79	384,65	388,64	389,92	385,81	381,18	379,27	378,29	377,89	377,54	377,40	377,48	377,50	377,03	376,76	376,46	376,38	376,15	375,97
15	376,90	377,05	377,17	377,30	377,46	377,65	377,88	378,12	378,40	378,71	379,08	379,57	380,30	381,71	384,90	386,54	383,83	380,78	379,04	377,80	377,32	377,03	376,96	377,00	377,52	377,13	376,65	376,40	376,25	376,14	375,97
14	376,83	376,97	377,07	377,20	377,36	377,55	377,73	377,90	378,06	378,24	378,45	378,75	379,23	380,10	382,03	383,10	381,79	380,18	378,39	377,55	377,31	377,01	376,86	376,92	377,46	377,06	376,63	376,33	376,23	376,11	375,95
13	376,77	376,90	376,99	377,11	377,28	377,45	377,60	377,72	377,84	377,97	378,12	378,34	378,68	379,23	380,42	380,76	380,36	379,99	378,81	377,92	377,71	377,24	377,01	376,96	376,89	376,61	376,33	376,15	376,07	376,00	375,91
12	376,73	376,85	376,95	377,07	377,22	377,34	377,45	377,55	377,67	377,79	377,93	378,11	378,36	378,76	379,71	379,84	379,66	379,56	378,92	378,23	378,19	377,28	377,03	376,68	376,55	376,47	376,23	376,09	376,03	375,98	375,90
11	376,66	376,79	376,89	376,99	377,10	377,18	377,26	377,35	377,46	377,57	377,70	377,86	378,06	378,37	379,15	379,47	379,24	379,38	378,34	377,78	377,48	377,08	376,82	376,58	376,42	376,36	376,21	376,09	376,01	375,96	375,89
10	376,59	376,71	376,81	376,89	376,95	377,01	377,07	377,16	377,28	377,41	377,55	377,71	377,91	378,27	379,33	379,43	379,32	379,19	378,50	377,66	377,34	377,00	376,76	376,51	376,38	376,30	376,21	376,09	376,01	375,95	375,89
9	376,51	376,64	376,71	376,76	376,80	376,84	376,89	376,97	377,08	377,20	377,34	377,49	377,64	377,89	378,59	379,04	378,99	378,75	378,15	377,50	377,15	376,79	376,67	376,48	376,37	376,31	376,23	376,12	376,04	375,97	375,90
8	376,45	376,56	376,61	376,64	376,67	376,70	376,76	376,82	376,91	377,04	377,19	377,36	377,54	377,80	378,48	378,59	378,51	378,29	377,94	377,39	377,04	376,67	376,52	376,40	376,33	376,32	376,23	376,14	376,07	376,00	375,92
7	376,39	376,48	376,52	376,54	376,56	376,59	376,63	376,68	376,75	376,86	377,01	377,21	377,41	377,66	378,12	378,23	378,40	378,58	378,50	377,74	377,03	376,63	376,41	376,32	376,25	376,24	376,16	376,10	376,05	376,00	375,94
6	376,33	376,40	376,43	376,45	376,47	376,49	376,52	376,56	376,62	376,71	376,86	377,07	377,32	377,63	378,07	378,13	378,19	378,42	379,46	378,41	376,87	376,58	376,38	376,27	376,17	376,13	376,09	376,06	376,04	376,00	375,95
5	376,27	376,32	376,35	376,38	376,39	376,40	376,42	376,45	376,48	376,56	376,68	376,88	377,12	377,46	377,76	377,71	377,59	377,55	377,95	377,48	376,78	376,64	376,34	376,23	376,14	376,07	376,04	376,03	376,02	375,99	375,95
4	376,22	376,26	376,29	376,31	376,31	376,32	376,33	376,34	376,36	376,42	376,52	376,68	376,90	377,27	377,41	377,34	377,25	377,23	377,40	377,46	376,57	376,55	376,31	376,21	376,12	376,06	376,01	376,00	375,99	375,98	375,95
3	376,16	376,20	376,22	376,23	376,23	376,24	376,25	376,25	376,27	376,30	376,36	376,47	376,64	376,93	377,08	377,07	377,01	376,92	376,94	376,79	376,50	376,45	376,31	376,19	376,12	376,06	376,01	375,99	375,99	375,99	375,94
2	376,12	376,15	376,16	376,16	376,16	376,17	376,18	376,19	376,20	376,22	376,25	376,31	376,41	376,57	376,74	376,87	376,87	376,80	376,71	376,57	376,42	376,35	376,25	376,20	376,13	376,08	376,03	375,99	376,00	376,00	375,93
1	376,08	376,09	376,09	376,08	376,09	376,09	376,10	376,11	376,12	376,13	376,14	376,18	376,24	376,30	376,40	376,47	376,53	376,51	376,47	376,39	376,30	376,27	376,24	376,21	376,16	376,12	376,05	376,03	376,01	376,00	375,92
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Tabela AV 8 - Concentrações máximas (ppm) no Inverno

31	389,40	388,87	387,33	385,97	385,53	384,54	383,78	385,98	386,79	386,08	384,95	383,79	383,96	385,63	387,01	388,57	383,96	384,42	384,78	384,53	389,61	389,50	384,31	381,51	381,34	380,30	378,83	378,36	378,16	378,01	378,34
30	390,15	390,32	389,70	388,14	386,75	386,55	385,86	386,60	388,05	387,51	388,99	391,21	391,87	392,82	395,20	398,12	391,35	390,87	391,31	391,82	394,83	398,84	390,10	386,20	386,46	383,99	381,82	379,75	378,46	378,22	378,34
29	389,38	390,56	390,88	389,40	388,38	386,98	385,80	386,16	388,54	387,91	387,80	389,27	390,23	391,36	391,15	390,42	388,86	386,67	386,70	388,38	388,82	386,04	386,14	390,14	389,84	385,78	382,77	381,30	379,53	378,54	378,34
28	387,65	390,14	391,52	390,79	390,28	388,95	387,68	387,37	388,60	388,68	389,56	390,59	389,80	389,19	388,08	389,79	390,08	388,58	388,65	389,96	391,65	390,50	389,28	393,48	395,53	389,32	385,32	385,64	382,87	380,35	378,85
27	384,55	388,45	391,15	391,89	391,55	389,77	388,82	388,92	388,83	389,22	389,36	391,02	390,69	390,00	389,29	390,37	390,99	390,21	389,76	391,81	392,98	391,95	390,44	392,69	401,06	392,07	388,22	391,86	385,72	380,46	379,21
26	384,35	384,93	389,34	392,03	392,61	391,62	390,47	391,67	391,63	391,18	391,59	393,08	392,29	392,09	391,35	392,40	393,31	394,75	395,05	393,84	393,10	394,72	393,75	390,93	395,67	391,29	389,22	387,84	382,04	380,21	379,05
25	386,98	387,02	386,81	390,09	392,89	394,61	391,68	392,23	392,47	392,33	392,54	393,68	392,73	394,15	395,31	396,17	396,89	397,12	405,16	393,52	391,77	388,60	388,32	388,96	390,74	383,70	384,70	386,04	384,10	380,98	379,11
24	390,36	389,14	389,84	390,33	391,73	396,64	396,04	392,11	393,27	393,60	396,72	399,69	394,54	394,41	393,83	393,00	391,43	390,85	387,55	386,87	386,74	386,31	386,99	386,36	384,21	387,03	384,53	391,18	388,34	384,87	380,34
23	393,69	392,87	390,18	387,52	389,97	395,46	401,43	395,77	393,53	395,10	396,17	395,42	391,44	390,36	391,77	390,25	389,87	388,20	387,49	385,44	383,53	382,77	383,58	383,25	384,24	393,09	389,30	390,24	391,41	389,21	385,45
22	395,26	395,21	392,49	389,21	390,05	391,23	402,71	401,77	397,32	394,68	391,32	391,57	391,45	392,84	393,73	391,59	387,04	387,58	384,81	382,27	381,27	381,61	383,11	384,07	384,68	393,45	388,25	388,94	392,88	393,78	389,94
21	394,37	395,04	392,55	389,63	393,19	394,16	399,43	406,43	404,70	399,25	396,63	393,29	394,69	396,22	395,50	393,16	390,56	388,31	384,28	382,09	382,14	383,34	386,12	386,50	386,85	395,74	388,09	387,98	390,01	387,14	381,69
20	392,22	392,25	390,58	391,48	396,43	398,81	397,84	407,76	409,51	403,34	401,51	397,93	399,04	400,80	399,96	401,03	395,83	393,64	385,36	383,54	386,89	390,81	392,33	391,03	391,86	388,20	386,76	385,03	386,34	382,55	380,97
19	395,04	395,92	394,82	394,13	396,86	400,74	401,45	404,16	408,47	412,90	406,47	403,45	405,51	406,65	407,25	410,27	402,33	426,96	393,96	385,82	388,57	393,38	395,73	389,62	387,90	387,24	387,50	386,36	384,64	382,95	381,50
18	396,68	397,51	396,84	396,85	398,34	399,30	400,42	403,94	407,71	416,97	414,19	412,16	411,15	414,43	415,77	417,53	407,72	426,06	392,84	387,97	389,34	392,28	391,03	390,46	386,65	385,13	386,21	386,31	386,05	383,10	381,65
17	397,47	398,99	398,96	400,01	400,34	400,81	403,14	405,00	410,54	413,80	418,41	424,02	426,16	442,74	439,73	443,47	420,51	401,96	391,82	388,62	388,10	388,18	387,26	386,61	385,60	385,30	386,05	385,49	386,90	384,74	381,56
16	396,61	399,30	400,59	400,63	401,81	402,12	403,22	413,38	423,52	428,57	432,16	436,46	436,27	454,94	466,08	465,90	423,71	406,76	393,93	388,67	386,49	386,14	385,90	385,78	387,47	385,65	385,97	385,82	385,65	385,40	382,30
15	395,05	397,90	399,68	397,71	398,49	405,27	413,95	420,14	419,59	422,45	421,12	416,95	426,61	427,03	449,89	451,09	432,61	416,74	398,94	392,84	388,73	386,82	386,03	385,55	387,08	387,27	387,11	385,64	385,43	385,35	382,89
14	394,25	397,98	400,84	399,39	399,08	405,82	410,15	414,14	410,09	407,17	407,76	417,31	416,24	427,30	434,85	429,03	419,86	413,96	405,63	394,18	390,29	388,15	386,86	386,11	387,47	387,43	385,87	384,73	383,73	383,36	381,73
13	390,45	394,49	397,94	398,12	404,91	410,04	409,30	401,93	408,36	407,99	405,26	416,42	415,93	419,79	426,84	420,25	412,65	406,74	398,85	391,92	390,30	388,82	388,02	388,13	385,81	384,64	383,17	382,58	382,17	381,76	380,87
12	389,90	392,60	392,93	398,11	402,73	403,54	399,78	394,74	401,87	402,95	398,48	408,78	408,40	408,78	415,28	407,74	402,36	398,91	396,34	392,88	389,89	387,94	385,65	384,69	384,44	383,91	383,06	382,32	381,79	381,42	380,60
11	390,57	393,76	399,08	403,77	404,49	400,09	395,37	393,46	396,22	394,45	395,32	396,18	395,99	396,07	399,69	395,33	395,86	397,20	394,57	394,08	392,84	389,72	390,02	387,90	384,28	384,06	383,33	382,25	381,56	381,20	380,47
10	391,55	397,02	400,79	401,84	398,56	392,76	394,03	392,94	394,28	392,64	393,08	392,89	390,93	393,40	394,07	392,69	393,88	394,81	394,74	393,29	392,80	389,24	391,77	390,46	384,62	383,81	383,58	382,41	381,43	381,02	380,50
9	393,36	399,00	400,59	398,32	393,27	390,89	392,41	391,90	392,53	391,43	391,26	391,14	389,11	390,93	390,03	390,87	391,52	391,79	391,73	393,19	391,70	387,34	388,31	389,24	385,82	383,37	383,42	383,01	381,66	380,83	380,53
8	396,86	399,82	397,38	393,49	390,03	389,44	390,80	390,65	390,99	390,28	389,70	389,67	388,81	388,98	388,55	389,18	389,18	388,75	389,45	391,89	387,15	385,26	385,94	385,98	385,58	384,20	383,82	382,73	382,21	381,10	380,59
7	395,95	396,57	394,25	391,42	388,24	388,18	389,33	389,34	389,56	389,09	388,24	388,17	388,40	388,21	387,58	387,74	387,90	388,61	388,64	388,95	384,51	384,38	384,55	385,95	385,59	384,71	383,42	382,25	382,72	381,82	380,84
6	396,12	394,28	391,43	390,19	387,98	387,71	388,00	388,05	388,18	387,90	386,87	386,75	387,62	389,34	389,52	389,16	388,61	388,12	391,02	388,45	384,29	384,12	384,10	385,87	385,24	384,34	383,43	382,77	382,61	382,40	381,25
5	393,80	392,10	391,80	389,55	387,48	387,03	386,67	386,71	386,80	386,75	386,25	386,44	386,71	386,84	387,01	386,83	386,77	386,62	388,51	386,51	384,30	384,11	384,11	385,57	384,63	384,17	383,36	383,00	382,36	382,61	381,60
4	391,59	392,48	390,62	387,63	386,66	386,49	385,84	385,59	385,59	385,64	385,81	386,12	386,56	387,22	386,64	385,65	386,50	385,52	385,86	385,51	384,29	384,01	384,04	385,01	384,47	383,96	383,11	382,84	382,16	382,56	381,83
3	391,99	390,87	387,99	387,19	386,58	385,47	385,60	385,61	385,56	385,44	385,29	385,53	386,50	386,88	386,64	385,12	385,37	385,04	384,97	385,09	384,17	383,91	383,90	384,35	384,40	383,91	382,95	382,61	382,10	382,48	382,01
2	390,81	387,95	388,45	388,14	386,89	385,40	385,61	385,72	385,73	385,67	385,57	385,47	385,92	386,14	386,18	385,14	384,79	385,15	384,86	384,52	384,11	383,82	383,72	383,88	384,35	384,06	383,00	382,68	382,20	382,40	382,12
1	388,02	389,29	389,00	387,94	386,30	384,99	385,31	385,51	385,61	385,62	385,58	385,52	385,48	385,77	386,12	385,50	384,89	384,01	384,44	383,72	383,78	383,83	383,65	383,62	384,07	384,12	383,43	383,02	382,51	382,26	382,12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	