

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUIZ HENRIQUE ROSA DA SILVA

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE DISPERSÃO DE EMISSÕES
ATMOSFÉRICAS COM MÉTODO DE DIFERENÇAS FINITAS:
ESTUDO DE CASO PARA FONTES PONTUAIS DE EMISSÃO**

CRICIÚMA, DEZEMBRO DE 2011

LUIZ HENRIQUE ROSA DA SILVA

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS COM
DIFERENÇAS FINITAS: ESTUDO DE CASO PARA FONTES PONTUAIS DE
EMISSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de
Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul
Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Erlon Mendes

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2011

LUIZ HENRIQUE ROSA DA SILVA

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS COM
DIFERENÇAS FINITAS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Controle da Qualidade do Ar.

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2011

BANCA EXAMINADORA

Profº. Erlon Mendes – Mestre - (UNESC) - Orientador

Profº Michael Peterson – doutor - (UNESC)

Profº Agenor De Noni Junior– Doutor - (UNESC)

*Amigo e colegas, dedico esse trabalho a vocês
por terem acreditado no aquilo que estava
fazendo. A vocês apenas uma palavra:
- Obrigado!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meus pais Ana aparecida da Rosa e Teonaz da Silva e meus Irmãos Lucas Henrique Rosa da Silva e Mateus da Rosa da Silva, onde encontrei uma bases solida para poder seguir em frente em meus objetivos.

A Maria, Valter e Andreia que me acolheram e foram a minha segunda família durantes os anos de graduação.

A minha namorada Suellen por ter tido ou tentado ter paciência e compreensão durantes os períodos que estava focado no meu trabalho.

Aos meus amigos da turma (Fernando, Ramon, Ranieri, Laise, Silvia, Bruna, Julia, Maiara, Maiára, ...) que por mais que achassem loucura sempre deram uma força na minhas ideias.

Ao meu colega Erilson e Pr^o Erlon pelas horas de trabalho e cooperação para busca de soluções e desenvolvimento.

Aos professores Márcio Sônego pela ajuda dada no melhor entendimento da climatologia

A Indústria Carbonífera Rio Deserto por ter me oportunizado chance de trabalhar e aprender a prática de engenharia ambiental.

A minha supervisora de campo e colega de trabalho Karline Consoni por ter me ensinado parte do que sei hoje.

Os profissionais e colegas do SIG Novo Horizonte, SIG Laboratório, SIG Coqueria por ter me oportunizado grande aprendizado na área ambiental e agregando conhecimento pra a minha formação.

*“Nem tudo que é tudo se torna alguma coisa
devido à existência do nada”.*

(Do autor)

RESUMO

A Indústria de Transformação de Carvão Mineral ou Coqueria apresenta grandes impactos ao meio ambiente e comunidade sendo ambiente de discussões quanto as significâncias das emissões oriundas destas atividades. A adoção de medidas proativas para estar prevendo e agido no controle e redução das emissões torna-se necessário a partir do momento em que a empresa percebe a importância destas ações para um desenvolvimento sustentável. Durante muito tempo a imagem das coquerias assim como da indústria do carvão esteve associada a degradação ambiental e poluição, com o intuito de mudar essa imagem e nesse cenário as empresas buscam alternativas para estarem controlando e conhecendo suas emissões. As técnicas de modelagem numérica são técnicas antigas que tiveram seu crescimento com a evolução e melhoramento dos computadores. Os modelos numéricos permitem ao desenvolvedor estar resolvendo muitos problemas do âmbito da engenharia e aplicação a problemas e sistemas ambientais. Na aplicação do método de diferenças finitas a modelagem de pluma de emissões faz-se a construção de uma malha computacional com determinado numero de pontos, cujo essa quantidade de pontos estará ligada a necessidade e objetivo do modelo. Esses pontos expressão valores de concentração que a cada iteração no tempo servem de condição inicial para a construção da próxima malha. A aplicação de um modelo de emissão atmosférica aplicado a uma Coqueria permitirá avaliar qual o nível de interferência do empreendimento na sua área de influencia. O software desenvolvido juntamente com estudo de dinâmica de ventos permitiu estar modelando o perfil da pluma e seu comportamento no ambiente.

Palavras-chave: Modelagem Numérica. Dispersão de Poluentes Atmosféricos. Coqueria.

Lista de figuras

Figura 1 – Localização do município de Urussanga (em destaque)	17
Figura 2 – Esquema de reações simplificadas para nevoa com smog fotoquímico	22
Figura 3 – Definição dos particulados poluentes por tamanho.	25
Figura 4 – Fluxo mássico através de um volume e controle	30
Figura 5 – Elemento de volume fixo, $\Delta x \Delta y \Delta z$, com seis setas indicando fluxo de fluxo de momento de direção x através das superfícies por todos os mecanismos.	31
Figura 6 – Ferramentas disponíveis para analisar ou resolver problemas.	36
Figura 7 – Direção e velocidade do vento no mês Fevereiro de 2011.	42
Figura 8 – Direção e velocidade do vento no mês Marco de 2011.	42
Figura 9 – Direção e velocidade do vento no mês Abril de 2011.	43
Figura 10 – Direção e velocidade do vento no mês Maio de 2011.	43
Figura 11 – Direção e velocidade do vento no mês Junho de 2011.	44
Figura 12 – Direção e velocidade do vento no mês Julho de 2011.	44
Figura 13 – Direção e velocidade do vento no mês Agosto de 2011.	45
Figura 14 – Direção e velocidade do vento no mês Outubro de 2011.	46
Figura 15 – Rosa dos ventos sobre imagem aérea da região de entorno do empreendimento.	47
Figura 16 – Funcionamento essencial de um programa.	48
Figura 17 – Interface do Software Pluma21	49
Figura 18 - menu para manipulação de arquivo.	50
Figura 19 - menu sobre.	50
Figura 20 - aba de especificação de malha	51
Figura 21 - Campo de dados relacionado ao vento.	52
Figura 22 - Estrutura de angulo para rosa dos ventos.	52
Figura 23- Aba de difusão	53
Figura 24- Aba da fonte de emissão	53
Figura 25 - Tela de log.	54
Figura 26 - Aba de resultados.	55
Figura 27 - Equação sincretizada implementada no software.	56
Figura 28 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 0h.	58
Figura 29 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 3h.	58
Figura 30 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 6h.	59

Figura 31 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 9h.	59
Figura 32 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 12h.	60
Figura 33 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 15h.	60
Figura 34 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 18h.	61
Figura 35 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 21h.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poluentes que não possuem característica química definida estão apresentas.	27
Tabela 2 – Tabela com padrões de qualidade do ar.	28
Tabela 3 - Classes de estabilidade da atmosfera.	35
Tabela 4 - Valores para a e b da Equação (17).	36
Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade.	36
Tabela 6 – Resultado de amostragem de fonte estacionaria para SO ₂ e NO _X para o lavador N° 3	40
Tabela 7- equivalência entre direções e ângulos na rosa dos ventos.	47
Tabela 8 - Dados para modelagem da o mês de setembro.	57

SUMÁRIO

1 Introdução.....	12
2 Objetivos.....	14
2.1 Objetivos específicos.....	14
3 Justificativa.....	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1 Histórico.....	15
4.1.1 Histórico da modelagem.....	15
4.1.2 Importantes fatos envolvendo poluição atmosférica.....	15
4.2 Caracterização da área de influencia.....	16
4.2.1 Caracterização econômica.....	17
4.2.2 Caracterização climática.....	17
4.2.3 Geomorfologia.....	18
4.2.4 Vegetação.....	18
4.2.5 Fauna.....	19
4.3 Indústria de transformação de carvão mineral.....	20
4.4 Atmosfera.....	20
4.4.1 Smog fotoquímico.....	21
4.4.2 Monóxido de carbono.....	22
4.4.3 Emissões gasosas ácidas e oxidantes.....	23
4.4.4 Materiais particulados.....	25
4.5 Legislação vigente.....	26
4.5.1 Padrões de emissões.....	26
4.5.2 Padrões de qualidade do ar.....	27
4.6 Fenômenos de transporte.....	29
4.6.1 Equação da continuidade.....	29
4.6.2 Equação da quantidade de movimento.....	30
4.6.3 Equação da energia mecânica.....	32
4.6.4 Difusão.....	33
4.6.5 Equação advectivo-difusiva.....	34
4.6.6 Estabilidade atmosférica.....	34
4.7 Modelagem de emissões atmosférica.....	36

4.7.1 Método Analítico.....	37
4.7.2 Método numérico.....	38
4.8 Linguagem de programação Object Pascal	39
5 METODOLOGIA.....	40
5.1 Levantamento bibliográfico.....	40
5.2 Coleta e análise de dados.....	40
5.3 Caracterização da dinâmica dos ventos	40
5.3.1 Materiais e métodos.....	41
5.3.2 Resultados.....	41
5.3.3 Análise de resultados	46
5.4 Desenvolvimento de software	47
5.4.1 Especificações do Pluma21	48
5.5 Descretização das Equações	55
5.6 RESULTADOS	57
5.7 Análise de resultados	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
7 REFERÊNCIAS	65

1 Introdução

Emissões atmosféricas é um tema que vem sendo bastante estudado nas últimas décadas, sendo de grande importância para a proteção do meio ambiente e na obtenção de um desenvolvimento sustentável conciliando aspectos econômicos e ambientais. Os impactos ao meio antrópico, meio biótico e abiótico estão diretamente ligados às emissões atmosféricas e a sua qualidade, sendo os processos industriais muitas vezes responsáveis pelas suas condições.

Processos industriais agregam mão-de-obra, matérias-primas, energia com a finalidade de obter produtos. As indústrias desempenham importante papel para o desenvolvimento econômico e social de uma região, oferecendo empregos, ofertando produtos para uso direto ou aplicado em outros processos, disponibilizando serviços e gerando impostos, que se forem bem administrados, retornam para a sociedade através de serviços públicos.

Além dos impactos positivos as indústrias geram impactos negativos ao meio ambiente onde estão inseridas. Os processos industriais geram resíduos e rejeitos nos seus processos e emitem matéria e energia para o ambiente. Essas perturbações caracterizam aspectos que se não forem tratados de forma adequada provocam impactos negativos aos diversos compartimentos ambientais (ar, água, solo, fauna, flora, meio antrópico).

Para que as indústrias e organizações possam atuar na redução e eliminação de emissões é necessário conhecer os aspectos de sua geração, os fenômenos de transporte envolvidos nessa emissão, os impactos dentro de cada compartimento ambiental e a forma como essas emissões são consumidas, degradadas ou transformadas pelo ambiente. Os métodos de modelagem vêm ao encontro a essas necessidades permitindo prever as características de determinadas emissões em um tempo ou espaço não amostrado, com base nas suas características iniciais do ambiente e condições de contorno.

As indústrias de transformação de carvão mineral e/ ou coquearias agregam valor ao carvão mineral permitindo um melhor aproveitamento como recurso energético ou matéria-prima para processos industriais. Nas coquearias o carvão sofre processo de pirolise provocando a perda de material volátil gerando o coque. O coque possui grande aplicação nas metalúrgicas, entrando no beneficiamento do ferro como um redutor. Durante o processo de produção de coque grande quantidade de gases é gerada devendo ser devidamente tratada e avaliada o seu grau de impacto.

O presente trabalho envolverá aspectos relacionados às emissões atmosféricas, seus impactos no ambiente e abordará uma metodologia de modelagem para previsão do comportamento das emissões. Serão caracterizadas as emissões, os processos e etapas na qual às originam, bem como caracterização do estado do ambiente onde está inserido. Será apresentado o desenvolvimento de um software para modelagem das emissões atmosféricas.

2 Objetivos

Aplicar metodologia para modelagem numérica de emissões atmosféricas oriundas das atividades de indústrias de transformação de carvão mineral.

2.1 Objetivos específicos

1. Fazer mapeamento de direções e velocidade de vento na área de estudo interferente nas emissões do empreendimento;
2. Identificar pontos de emissões dentro do empreendimento;
3. Caracterizar propriedades físicas das emissões a fim de inseri-la no modelo;
4. Identificar principais interferências do relevo e clima no comportamento das emissões;
5. Elaborar modelo numérico de emissões atmosféricas para gases;
6. Desenvolver software para elaboração de modelos numéricos de emissões atmosféricas;

3 Justificativa

É crescente a preocupação com a qualidade ambiental, levando as indústrias a buscarem alternativas tecnológicas com menor impacto ambiental. Tais alternativas e tecnologias podem ser melhorias no processo produtivo e matérias-primas, tratamento das emissões ou, quando não for possível, medidas de compensação ambiental.

O conhecimento da forma como as emissões se comportam no ambiente e o afeta é importante para que empresas e organizações possam tomar decisões adequadas quanto à forma como irão agir sobre a emissão.

A modelagem matemática torna-se uma importante ferramenta na previsão do comportamento das emissões, podendo ser aplicada tanto à empreendimentos em operação quanto empreendimentos que ainda estão em fase de implantação.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial trará informações para contextualização do trabalho com definições da área de estudo, metodologia e deduções matemáticas a respeito dos fenômenos relacionados com o trabalho.

4.1 Histórico

Questões referentes à poluição, emissões atmosféricas e seus impactos no meio ambiente não são recentes, sendo de preocupação e interesse da sociedade ao longo da história.

4.1.1 Histórico da modelagem

Os primeiros trabalhos sobre dispersão de substâncias na atmosfera datam de 1925 e 1926, como os trabalhos de Richardson, 1921 e 1960 com Taylor, 1932 com Rossby, 1936 com Bosanquet e Pearson, 1945, Hewson e 1949, Baron et al. Em 1932 foi apresentada uma teoria para difusão turbulenta na atmosfera por Sutton (BOÇON, 1998).

Sutton (1947a, 1947, 1950) estudou a difusão na baixa atmosfera a partir de fontes contínuas pontuais (chaminés), considerando também emissões quentes, em que era assumida uma distribuição gaussiana da concentração a partir da linha de centro da pluma (BOÇON, 1998). O primeiro a apresentar equação para as concentrações $C=C(x,y,z,t)$ para uma fonte pontual instantânea (“puff”), assumindo distribuição gaussiana na direção do vento, parece ter sido feito por Frenkiel (1952) (Pasquill, 1062 apud BOÇON, 1998).

4.1.2 Importantes fatos envolvendo poluição atmosférica

A poluição atmosférica não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem podendo vir a ser desencadeada por processos naturais. Durante milhares de anos a natureza participou ativamente com emissões oriundas das atividades vulcânicas lançando gases e matérias particulados (VELLOSO, 2007). A atividade antrópica, por sua vez, acaba por intensificar a poluição do ar com as emissões contínuas de grandes quantidades de substâncias poluentes (OLIVEIRA, 1997 apud VELLOSO, 2007).

Com o passar dos anos, muitos casos famosos, de eventos de poluição foram registrados, dentre os quais podemos citar:

Meuse Valley, 1930 – Bélgica; onde a ocorrência de uma condição meteorológica atípica com uma forte inversão térmica perdurando por uma semana, ocasionou um aumento da concentração de poluentes. Já no terceiro dia de inversão, o número de internações de pessoas com problemas respiratórios foi elevadíssimo. O número de óbitos superou 60 pessoas e em sua maioria idosas (VELLOSO, 2007);

Donora, 1948 – Pensilvânia; inversão térmica associada a um forte nevoeiro causou danos gravíssimos à população. Após seis dias de duração, 43 % da população de 14.000 pessoas apresentaram sintomas de irritação das mucosas, dor de cabeça, vômitos e náuseas. A severidade das doenças acarretava maiores danos em idosos e, já no terceiro dia, ocorreu o óbito de vinte pessoas (VELLOSO, 2007);

Poza Rica, 1950 – México; em 24 de novembro uma fábrica que utilizava compostos de enxofre deixou escapar hidrogênio nas proximidades da cidade. Diversas pessoas ficaram doentes, algumas inclusive com edema pulmonar. Trezentas e vinte pessoas foram hospitalizadas, das quais 22 morreram (VELLOSO, 2007);

Nova York, 1953 – EUA; durante o período compreendido entre 18 e 22 de novembro foi registrado um aumento no nível de Óxido de Enxofre causado por forte estagnação atmosférica. Estudos indicaram que, em comparação com anos anteriores nesta mesma época, houve um aumento no número de óbitos (VELLOSO, 2007);

Roterdã, 1962 – Holanda em dezembro entre os dias 2 e 7, verificou-se um aumento de até cinco vezes, em relação ao normal, no nível de óxido de enxofre. No mesmo período houve um aumento significativo de óbitos nos hospitais da região, especialmente em pessoas com mais de 50 anos (VELLOSO, 2007);

Cubatão, 1984/1985 – Brasil a intensa atividade industrial da cidade da Baixada Santista chegou ao auge da crise quando foram registrados nascimentos de bebês acéfalos devido à grande emissão de poluentes associada a condições meteorológicas que não permitiram sua dispersão. (VELLOSO, 2007);

4.2 Caracterização da área de influencia

O projeto de modelagem foi desenvolvido no município de Urussanga, fundada em 26 de maio de 1878, município de colonização italiana. Localizada no Sul do Estado de

Santa Catarina, a 24km do início da Serra do Rastro (Figura 1). Apresenta área territorial de 237,1 km², altitude de 49 m acima do nível do mar, fazendo divisa com os municípios de Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Lauro Müller, Orleans (CIASC, 2011).

Figura 1 – Localização do município de Urussanga (em destaque)



Fonte: CIASC, 2011, Adaptado.

4.2.1 Caracterização econômica

O município de Urussanga possui uma economia diversificada, destacando-se a indústria cerâmica, moveleira, derivados plásticos, esquadrias de alumínio, agropecuária, vitivinicultura, comércio e outros. No setor primário, apresenta culturas do milho, feijão, arroz e fumo, viticultura, fruticultura e a criação de aves e suínos (REDIVO et al., 2009).

4.2.2 Caracterização climática

Vento são movimentações de correntes de ar em relação à superfície terrestre devido a gradientes de pressões atmosféricas, sofrendo influencia da rotação da Terra e do atrito com a superfície. As características dos ventos variam bastante de local para local devido às condições topográficas (BACK, 2009).

Os processos climáticos da região sul do Brasil sofrem influências de ordem estática e ordem dinâmica. Fatores de ordem estática são compreendidos por componentes geográficos como relevo e localização. Fatores de ordem dinâmica são compreendidas por centro de ações e correntes de circulações (NIMER, 1989).

O clima no município de Urussanga é classificado como mesotérmico úmido com verão quente. Os dados obtidos através da estação meteorológica de Urussanga, levantados pela Epagri, indicam temperaturas médias anuais entorno de 19,2°C. A umidade relativa média anual é de 81,7% e a precipitação média anual varia em torno dos 1500 mm (BIAVA, 2003).

4.2.3 Geomorfologia

No estado de Santa Catarina existe o estabelecimento de quatro domínios morfológicos, vinculados às grandes províncias geológicas (REDIVO et al., 2009) :

Litoral – abrange formas de modelado continental-marinho;

Embasamento Cristalino exposto – representado por terrenos arqueanos proterozóicos e eopaleozóicos, situado no bordo oriental da Bacia do Paraná, no qual antigas estruturas orogênicas, estabilizadas, exibem feições derivadas de sucessivos períodos de denudação, basculamentos e falhamentos;

Cobertura Sedimentar de Plataforma – constituída de feições do tipo platôs, "cuestas" e formas tabulares esculpidas sobre as rochas da sequencia gondwânica inferior por processos de desnudação periférica;

Caapeamento ou Planalto Basáltico - Arenítico – envolvendo os arenitos eólicos da Formação Botucatu e as eruptivas da Formação Serra Geral, sobre as quais se desenvolveu um relevo planáltico cujos limites orientais, escarpados e fortemente dissecados por uma drenagem obsequente, constituem a Serra Geral.

4.2.4 Vegetação

A formação de florestas presente no sul de Santa Catarina é classificada como Floresta Ombrófila Densa estando inserida dentro do Bioma Mata Atlântica (TEXEIRA et al., 1986 apud REDIVO et al., 2009). A formação apresenta elevada densidade de arvores e arbustos e grande diversidade de espécies. Apresentam também grande número de epífitas,

destacando-se bromélias, aráceas, orquidáceas, piperáceas e diversas famílias de pteridófitas (Klein, 1980 apud REDIVO et al., 2009).

Atualmente a formação vegetal da região apresenta-se bastante descaracterizada sendo constituída principalmente por fragmentos da formação original. Esse processo de redução e isolamento das comunidades florísticas gera impacto direto sobre a estrutura e os processos nas comunidades vegetais (SCARIOT et al., 2003 apud REDIVO et al., 2009).

Não só a atividade mineira, mas também outros fatores vêm colocando em risco a dinâmica natural das vegetações na região carbonífera. As atividades de reflorestamento por espécies exóticas (*Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. e *Hovenia dulcis*), tem por consequência a redução de áreas florestadas provocando a perda de habitats da fauna regional (MARTINS, 2005 apud REDIVO et al., 2009).

Na área de entorno são identificados cerca de 29 espécies distribuídas entre 21 famílias botânicas. Entre as famílias existentes, Rubiaceae apresentou o maior número de espécies, seguida por Meliaceae e por Lauraceae, Myrtaceae e Sapindaceae (REDIVO et al., 2009).

4.2.5 Fauna

A caracterização da fauna local foi feita através de levantamento de bibliografia que caracterizam a avifauna (Aves), a mastofauna (mamíferos de médio e grande porte) e a anurofauna (anfíbios) local.

Na avaliação da avifauna local foram identificadas 61 espécies distribuídas em 28 famílias da avifauna regional. Apresentam nos remanescentes florestais maiores incidências de espécies como o arapaçu-verde (*Sittasomus griseicapillus*) e o Pica-pau-de-cabeça-amarela (*Celeus flavescens*) (REDIVO et al., 2009).

A Mastofauna local apresenta registros de cinco espécies divididas em cinco famílias do grupo da mastofauna de médio e grande porte (Tabela 06). Na área foram registradas e observadas pegadas de Mão-pelada (*Procyon cancrivorus*), Lebre (*Lepus europaeus*) Tatu-galinha (*Dasyus cf. novemcinctus*) (REDIVO et al., 2009).

A Anurofauna local é registrada espécies de Anuros, sendo Leptodactylidae a família mais representativa (REDIVO et al., 2009).

A região sofre forte influência de antigas áreas mineradas para extração de carvão, sendo a população de anfíbios um dos grupos mais afetados pela poluição de corpos hídricos,

pois maioria a das espécies de anuros têm uma parte do seu ciclo de vida (fase larval) em um ecossistema aquático (DUELLMAN; TRUEB, 1994 apud REDIVO et al., 2009).

.A mineração do carvão ocasiona a acidificação das águas superficiais e contaminação por metais pesados. As alterações provocadas pela contaminação da água provocam mudanças morfológicas, fisiológicas e comportamentais interferindo nos processos vitais dos anfíbios diminuindo ou até levando a extinção determinadas espécies (DI BERNARDO; KWET, 2002 apud REDIVO et al., 2009).

4.3 Indústria de transformação de carvão mineral

Quando o carvão mineral sofre pirolise ou é destilado por aquecimento na ausência de ar converte-se em diversos produtos sólidos líquidos e gasosos. A quantidade e qualidade de cada um deles dependem da temperatura da espécie do carvão. Na prática a temperatura dos fornos de coque é mantida acima de 899° C, mas a faixa de operação pode estar entre 454°C a 704°C (SHEREVE; BRINK JR, 1997).

A fabricação de coque tem como matéria prima principal o carvão coqueificável. O coque origina da destilação do carvão em fornos, em ausência de ar. O resultado é um material duro, poroso e carbonoso. Suas aplicações e funções estão em combustível gerador de gás, redutor ou elemento ativo direto na redução e assegura elevada permeabilidade à solução de carga (MURTA, 1987).

Existem dos tipos básicos de processo de coqueificação, retortas em colméias e as retortas de recuperação. Método mais antigo e primitivo é a retorta em colmeias. Fornos colmeia são constituídos por uma câmara de tijolo com uma abertura de carga na parte superior e outra de espalhamento na soleira.

4.4 Atmosfera

As primeiras análises definitivas da composição da atmosfera forma realizadas em 1780 por Cavendish, não incluindo todos os gases raros, em especial o argônio cujo foi registrado seu isolamento em 1896 por Rayleigh e Ransay (GOMES, 2001).

A composição do ar atmosférico considerado “puro” apresenta 78,084% de nitrogênio, 20,946% de oxigênio, 0,934% de argônio e demais gases somam 0,036% (GOMES, 2001).

Em química atmosférica as unidades de concentração podem ser expressas em volume de substâncias por volume de ar ou massa de substâncias por volume de ar. As mais usuais estão expressas no Quadro 1.

Quadro 1 – Unidades usuais para concentração de ar atmosféricos.

Unidade	Definição
%	Porcentual
ppm	Particular por Milhão
cm ³ /m ³	Centímetro cubico por metro cubico
mg/m ³	Miligrama por metro cubico
µm/m ³	Micrograma por metro cubico

Unidades de medidas que trabalham com unidades de massa são unidades fáceis de estar representando as unidades de concentração sendo que cada molécula tem seu peso molecular próprio. A conversão é feita por meio da equação do gás perfeito conforme Equação (1) e Equação (2).

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (1)$$

Onde:

P = Pressão

V = Volume

n = Número de mol

T = Temperatura

R = Constante dos gases

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \quad (2)$$

Onde:

ρ = Densidade;

P = Pressão;

M = Massa molar (g/mol);

R = Constante dos gases;

T = Temperatura;

4.4.1 Smog fotoquímico

A sequência das reações (Figura 2) como os óxidos de nitrogênio formado na combustão da gasolina e demais combustíveis emitidos na atmosfera reagem sob a luz solar

mais afetados. Porém os ambientes internos, como residências e escritórios podem vir a sofrer os efeitos do CO proveniente do ambiente externo que entra pelo sistema de ventilação, ou que é produzido localmente por aquecedores a óleo, fumantes, churrasqueiras e fogão a gás (BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2011).

A determinação dos níveis de carboxihemoglobina no sangue pode servir para avaliar exposição individual, uma vez que pessoas saudáveis e não fumantes residentes em áreas de grande concentração de CO apresentam um aumento de até 100% nos níveis de carboxihemoglobina, quando comparados a pessoas saudáveis e não fumantes que não estão expostas aos níveis de CO dos grandes centros urbanos (BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2011).

O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que o oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue de transportar O₂ (BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2011).

4.4.3 Emissões gasosas ácidas e oxidantes

O conceito emissões gasosas ácidas engloba emissões capazes de formar ácidos, e por consequência a geração de chuvas ácidas. Enquadram-se como emissões ácidas características os gases dióxido de enxofre (SO₂), fluoreto de hidrogênio (HF) e cloreto de hidrogênio (HCl) (FELLENBERG, 1980; SHEREVE; BRINK JR, 1997).

Emissões gasosas oxidantes são contempladas por gases cuja ação fisiológica principal se baseia numa reação de oxidação como ocorre com os óxidos de nitrogênio: monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) (FELLENBERG, 1980).

O termo chuva ácida refere-se às precipitações de componentes ácidos comumente encontrados em chuvas, neves e neblinas. O termo mais adequado é precipitação ácida (MACÊDO, 2002).

De forma natural as chuvas apresentam pH próximo a 5, ligeiramente ácida, devido a presença de dióxido de carbono atmosférico dissolvido, que forma ácido carbônico, equação (3). Em seguida o ácido carbônico ioniza-se parcialmente liberando um íon de hidrogênio, equação (4), resultando na redução do pH do meio (BAIRD, 2002).





Dos ácidos predominantes nas chuvas ácidas são o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3). Em termos gerais as chuvas ácidas devido a direção e velocidade do vento precipitam em local distante da fonte primária de emissão (BAIRD, 2002).

O fenômeno de precipitação remove gases e partículas da atmosfera através dois processos, Rainout e Washout, sendo que o processo de Rainout é incorporação dos materiais em gotas de nuvem até o ponto de precipitarem e o processo de Washout é o arraste de material presente na atmosfera durante a precipitação (PASH, 1982 apud MACÊDO, 2002).

As principais fontes de emissão provêm de fontes geradoras antrópicas e naturais dentre as fontes antrópicas estão os processos industriais de processos que ocorrem queima de combustíveis fósseis ou derivados USGS, 1998 apud MACÊDO, 2002 e os processos naturais que contribuem para formação de precipitações ácidas está os óxidos de nitrogênio emitido pelas erupções vulcânicas (WETZEL, LIKENS, 1991 apud MACÊDO, 2002).

As precipitações ácidas implicam em impactos ao meio físico, biológico e antrópico afetando diretamente seres vivos e atividades econômicas conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Impactos Gerados pelas precipitações ácidas.

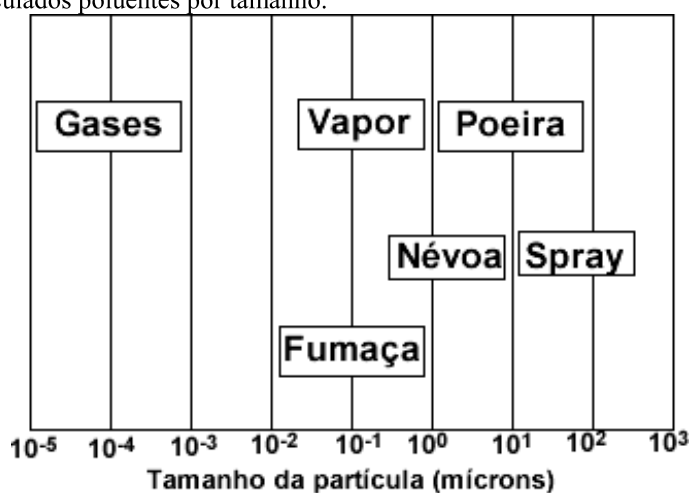
Meio / Atividade	Impacto
Pesca	<ul style="list-style-type: none"> ○ A brusca alteração de pH leva a uma alta mortalidade de dos peixes (MACÊDO, 2002). ○ A permanência da acidez no corpo hídrico por longo período leva a esterilidade da ictiofauna e mortandade dos indivíduos menores e/ ou mais jovens impedindo a renovação da população (USGS, 1998 apud MACÊDO, 2002).
Cadeia alimentar	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alteração da composição e estrutura da flora aquática relacionadas com a produção primária. Mudança na composição de espécies e produção de fitoplânctons e diminuição na flora de algas. Redução dos nutrientes de fosforo e nitrogênio (USGS, 1998 apud MACÊDO, 2002).
Microrganismos e decomposição	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redução da taxa de decomposição dentro dos meios aquáticos e aumento e posterior acumulação de matéria orgânica afetando as relações tróficas dentro do ecossistema (USGS, 1998 apud MACÊDO, 2002).

Meio / Atividade	Impacto
Saúde humana	○ Metais tóxicos e demais substâncias presente no solo podem sofrer processo de lixiviação pelas precipitações ácidas e serem arrastadas para corpos hídricos gerando efeito bioacumulativo nos peixes e conseqüentemente às pessoas que consumirem esses peixes (MACÊDO, 2002).
Atividades antrópicas	Aumento do fenômeno de deterioração natural de pedras e monumentos. Danificação de estruturas de ferro, aço, zinco e pinturas (MACÊDO, 2002).

4.4.4 Materiais particulados

Emissões particuladas podem ser classificada como poeira, vapor, nevoa, fumaça ou spray (VESILIND; MORGAN, 2011). As faixas de tamanhos aproximados das partículas estão representadas na Figura 3.

Figura 3 – Definição dos particulados poluentes por tamanho.



Fonte: VESILIND; MORGAN, 2011, adaptado.

Poeira é definida como partícula sólida que são carregadas por gases de processos provenientes de materiais sendo manipulado ou processado, como carvão, cinzas e cimento. Produtos diretos de um material básico que tenha passado por operações mecânicas como a

serragem de um trabalho com madeira. Materiais carregados após utilização em operações mecânicas como a areia utilizada no processo de jateamento (VESILIND; MORGAN, 2011).

O vapor é frequentemente um óxido metálico, formado pela condensação de vapores por sublimação, destilação, calcinação ou processos de reações químicas. Como exemplo pode ser citado os óxidos de zinco e chumbo resultante da condensação e oxidação de metal volatilizado em um processo em alta temperatura (VESILIND; MORGAN, 2011).

Fumaça é gerada pela combustão incompleta de materiais carbonáceos. Névoa consiste de partículas líquidas formada pela condensação de um vapor e/ ou reação química. Spray são partículas líquidas formada pela atomização de um líquido base e sedimenta sob efeito da gravidade (VESILIND; MORGAN, 2011).

4.5 Legislação vigente

Esta previsto na Constituição da República de 1988, em seu art. 23, VI, a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas, sendo competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Estabelece como competências dos estados e do distrito federal legislar sobre a proteção do meio ambiente e controle da poluição (BRASIL, 1988).

Está previsto no art. 225 que todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, sendo de responsabilidade do poder publico e da coletividade defende-lo (BRASIL, 1988).

Os padrões de qualidade do ar e emissões são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), sendo instituído pela Lei 6.938/1981 (CONAMA, 2011).

4.5.1 Padrões de emissões

Define-se como emissão atmosférica lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa. As emissões podem ocorrer de forma pontual ou fugitiva onde: emissão fugitiva é lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo; emissão pontual é lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria

sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar seu fluxo, como dutos e chaminés (CONAMA, 2006).

Definições referentes aos poluentes que não possuem característica química definida estão apresentadas na Tabela 1

Tabela 1 – Poluentes que não possuem característica química definida estão apresentadas.

Substâncias	Descrição
Compostos orgânicos voláteis	Compostos orgânicos que possuem ponto ebulição de até 130°C na pressão atmosférica e podem contribuir na formação dos oxidantes fotoquímicos
Enxofre reduzido total-ERT	Compostos de enxofre reduzido, medidos como um todo, referindo-se principalmente ao gás sulfídrico e às mercaptanas, expresso como dióxido de enxofre (SO ₂)
Material particulado-MP	Todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado;
NO _x	Refere-se à soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO ₂), sendo expresso como (NO ₂); e
SO _x	Refere-se à soma das concentrações de dióxido de enxofre (SO ₂) e trióxido de enxofre (SO ₃), sendo expresso como (SO ₂).

CONAMA, 2006

4.5.2 Padrões de qualidade do ar

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que possam passar ao ar características impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990).

Os padrões de qualidade do ar são divididos em padrões primários de qualidade do ar e padrões secundários de qualidade do ar. Padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

A Tabela 2 apresenta os limites e parâmetros de qualidade do ar bem como as condições não quais devem se avaliada as medições e as tolerâncias quanto o extrapolação do limite.

Tabela 2 – Tabela com padrões de qualidade do ar.

Parâmetro	Condição	Padrões primários		Padrões secundários	
		Limite	Tolerância	Limite	Tolerância
Partículas totais em suspensão	Concentração média geométrica anual	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentração média de 24 horas	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 Vez por ano
Fumaça	Concentração média aritmética anual	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentração média de 24 Horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
Partículas inaláveis	Concentração média aritmética anual	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentração média de 24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
Dióxido de enxofre	Concentração média aritmética anual	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentração média de 24 horas	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
Monóxido de carbono	Concentração média de 8 horas	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
	Concentração média de 1 hora	40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
Ozônio	concentração média de 1 (uma) hora	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 vez por ano
Dióxido de nitrogênio	Concentração média aritmética anual	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentração média de 1 hora	320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Fonte : CONAMA, 1990

4.6 Fenômenos de transporte

O processo de transporte é caracterizado pela tendência natural de equilíbrio. O movimento em sentido ao equilíbrio e o transporte de alguma quantidade são fatos comuns a todos os processos de transferências (SISSOM; PITTS, 1988).

Fenômenos de transporte incluem três tópicos intimamente relacionados: Dinâmica de fluidos; Transferência de calor; Transferência de massa. Tais tópicos devem ser trabalhados juntos, pois (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004):

1. Geralmente ocorrem simultaneamente em problemas indústrias, biológicos, agrícolas ou meteorológicos;
2. As equações básicas que descrevem os três fenômenos estão intimamente relacionadas;
3. As ferramentas matemáticas para descreverem esses fenômenos são similares;
4. Os mecanismos moleculares por trás dos vários fenômenos de transportes estão bastante relacionados.

4.6.1 Equação da continuidade

As equações da continuidade permitem analisar pontualmente o fenômeno de transferência de massa por intermédio de conhecimento da concentração de soluto no espaço e tempo sujeito ou não a transformações (CREMASCO, 1998).

A equação da continuidade mássica de um certo volume nasce através do balanço de taxa de material que flui através das fronteiras de um elemento de volume definido no meio contínuo (CREMASCO, 1998).

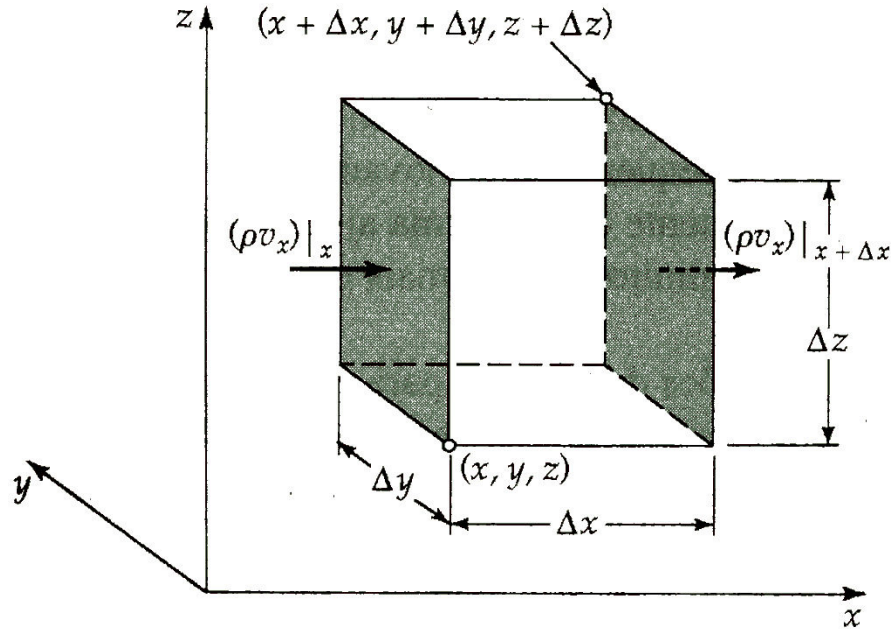
O balanço material para uma certa espécie química através de um volume de controle é dada pela equação (5) (CREMASCO, 1998).

$$\left[\begin{array}{c} \text{Taxa de massa} \\ \text{que entra no} \\ \text{volume de controle} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de massa} \\ \text{que sai do} \\ \text{volume de controle} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de produção} \\ \text{de massa no} \\ \text{volume de controle} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de Acumulo} \\ \text{de massa no} \\ \text{volume de controle} \end{array} \right] \quad (5)$$

A taxa de entrada de massa no volume através da face EFGH Figura 4, correspondente ao eixo x é dada por $(\rho v_x)|_x \Delta y \Delta z$ e a taxa de saída em $x + \Delta x$ é dada por $(\rho v_x)|_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z$, expressão similar pode ser aplicada as demais faces. A taxa de aumento de

massa no interior é dada por $\Delta x \Delta y \Delta z (\partial \rho / \partial t)$, ficando portanto o balanço de massa conforme equação (6) (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

Figura 4 – Fluxo mássico através de um volume e controle



Fonte: BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004

$$\Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial \rho}{\partial t} = \Delta y \Delta z [(\rho v_x)|_x - (\rho v_x)|_{x+\Delta x}] + \Delta z \Delta x [(\rho v_y)|_y - (\rho v_y)|_{y+\Delta y}] + \Delta x \Delta y [(\rho v_z)|_z - (\rho v_z)|_{z+\Delta z}] \quad (6)$$

Dividindo a equação (6) por $\Delta x \Delta y \Delta z$ e tomando o limite quando Δx , Δy e Δz tendem a zero, e usando as definições de derivadas parciais obtém-se a equação (7). Equação que descreve a taxa de variação de densidade do fluido em uma posição fixa do espaço (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left(\frac{\partial}{\partial x} \rho v_x + \frac{\partial}{\partial y} \rho v_y + \frac{\partial}{\partial z} \rho v_z \right) \quad (7)$$

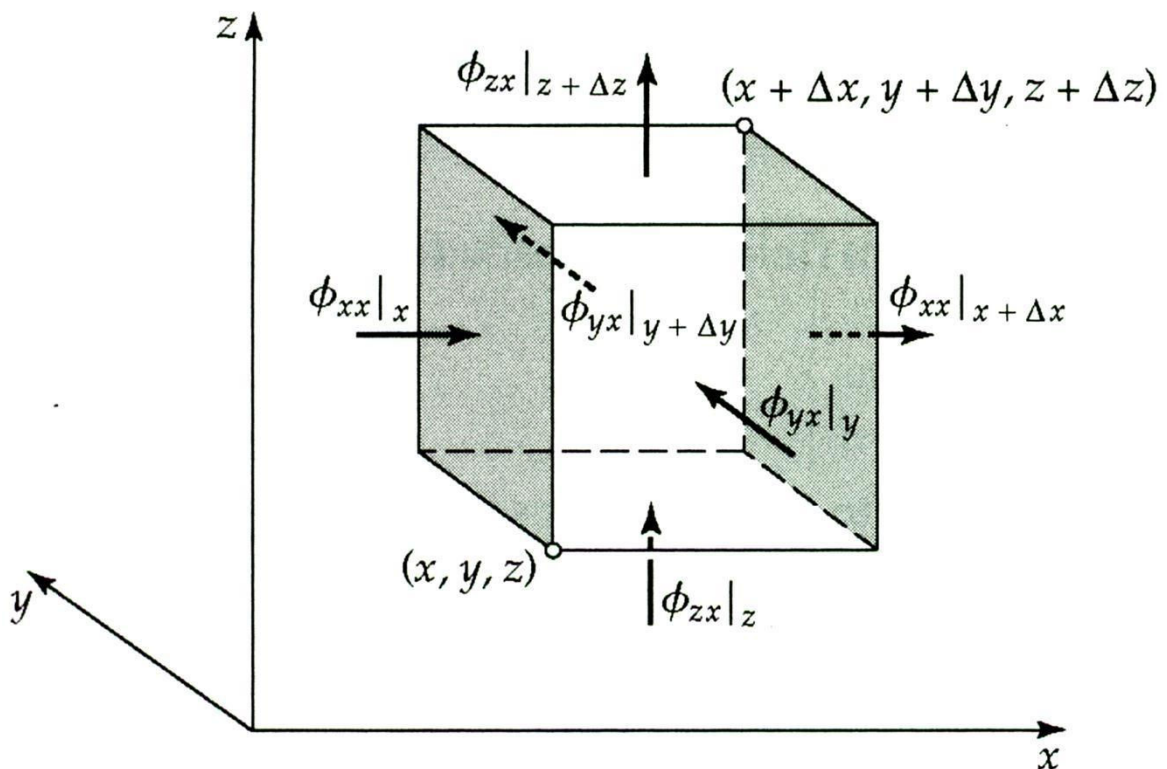
4.6.2 Equação da quantidade de movimento

Para se estar definindo a equação de quantidade de movimento é necessários avaliar o balanço de momento sobre o elemento de volume $\Delta x \Delta y \Delta z$ conforme demonstrado na Equação (8) (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

$$\left[\begin{array}{c} \text{Taxa de} \\ \text{aumento de} \\ \text{momento} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de} \\ \text{entrada de} \\ \text{momento} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de} \\ \text{saída de} \\ \text{momento} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Taxa externa} \\ \text{sobre o} \\ \text{fluido} \end{array} \right] \quad (8)$$

A aplicação da Equação (8) permite estar resolvendo o sistema representado na Figura 5.

Figura 5 – Elemento de volume fixo, $\Delta x \Delta y \Delta z$, com seis setas indicando fluxo de momento de direção x através das superfícies por todos os mecanismos.



Fonte: BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004

A Equação (8) é para ser aplicada a problema de regime não permanente. Além de incluir o termo de regime não permanente deve ser considerado que o fluido se move em todas as 6 faces do elemento de volume (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

A taxa com que a componente de momento na direção x entra através da face por todos os mecanismos convectivo e molecular é $(\phi_{xx})|_x \Delta y \Delta z$ e a taxa com que ela sai em $x + \Delta x$ é $(\phi_{xx})|_{x + \Delta x} \Delta y \Delta z$. A taxa com que x entra na face em y é $(\phi_{yx})|_y \Delta z \Delta x$, a taxa com que sai na face $y + \Delta y$ é $(\phi_{yx})|_{y + \Delta y} \Delta z \Delta x$. A taxa com que x entra na face em z é $(\phi_{zx})|_z \Delta x \Delta y$, a taxa com que sai na face $z + \Delta z$ é $(\phi_{zx})|_{z + \Delta z} \Delta x \Delta y$. A Equação (9) apresenta a soma das

contribuições para obtenção da taxa líquida de adição de momento na direção x BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004.

$$\Delta y \Delta z (\phi_{xx}|_x - \phi_{xx}|_{x+\Delta x}) + \Delta z \Delta x (\phi_{yx}|_y - \phi_{yx}|_{y+\Delta y}) + \Delta x \Delta y (\phi_{zx}|_z - \phi_{zx}|_{z+\Delta z}) \quad (9)$$

A força externa que age sobre o fluido, sendo tipicamente a gravidade. A Equação (10) apresenta a componente x desta força (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

$$\rho g_x \Delta x \Delta y \Delta z \quad (10)$$

A Equação (9) e Equação (10) correspondem aos termos presente no lado direito da Equação (8), portanto a soma dessas duas equações é igual a taxa aumento de momento na direção x no interior do elemento de volume $-\Delta x \Delta y \Delta z \partial(\rho v_x)/\partial t$. Isso resulta o balanço da componente de momento na direção x. Dividendo a equação por $\Delta x \Delta y \Delta z$ e toma-se limite quando Δx , Δy e Δz tendem zero resulta na seguinte equação,

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho v_x = - \left(\frac{\partial}{\partial x} \phi_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \phi_{yx} + \frac{\partial}{\partial z} \phi_{zx} \right) + \rho g_x \quad (11)$$

usando as definições de derivadas parciais obtém-se equações similares para o balanço de momento na direção y e z (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho v_y = - \left(\frac{\partial}{\partial x} \phi_{xy} + \frac{\partial}{\partial y} \phi_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \phi_{zy} \right) + \rho g_y \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho v_z = - \left(\frac{\partial}{\partial x} \phi_{xz} + \frac{\partial}{\partial y} \phi_{yz} + \frac{\partial}{\partial z} \phi_{zz} \right) + \rho g_z \quad (13)$$

4.6.3 Equação da energia mecânica

A energia mecânica não se conserva em um sistema com escoamento, porem isso não impede de se estar fazendo uma equação de balanço para essa grandeza. Tomando o produto escalar envolvendo o vetor velocidade v que aparece na equação de movimento, efetuando alguns rearranjos, fazendo uso da equação da continuidade e separando ρ e τ e duas partes obtém-se uma equação para balanço de energia cinética (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2004).

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) & (14) \\
 & \text{taxa de aumento da} \\
 & \text{energia cinética} \\
 & \text{por unidade} \\
 & \text{de volume} \\
 & = - \underbrace{\left(\nabla \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 V \right)}_{\text{Taxa de adição}} - \underbrace{(\nabla \cdot pV)}_{\text{taxa de trabalho}} - \underbrace{p(-\nabla \cdot V)}_{\text{taxa de conversão}} \\
 & \quad \text{de energia cinética} \quad \text{realizado pela pressão} \quad \text{reversível de} \\
 & \quad \text{por convecção por} \quad \text{das vizinhanças} \quad \text{energia cinética em} \\
 & \quad \text{unidade de volume} \quad \text{sobre o fluido} \quad \text{energia interna} \\
 & - \underbrace{(\nabla \cdot [\tau \cdot V])}_{\text{taxa de trabalho}} - \underbrace{(-\tau - \nabla V)}_{\text{taxa de conversão}} + \underbrace{\rho(V \cdot g)}_{\text{taxa de trabalho}} \\
 & \quad \text{realizado pelas forças} \quad \text{universal de} \quad \text{realizado por forças} \\
 & \quad \text{viscosas sobre o fluido} \quad \text{energia cinética} \quad \text{externas sobre o fluido} \\
 & \quad \text{em energia interna}
 \end{aligned}$$

4.6.4 Difusão

Existem diversos tipos de mecanismos de transferência de massa, abrangendo 8 tipos (SISSOM; PITTS, 1988):

1. Difusão molecular, resultante de uma gradiente concentração;
2. Difusão térmica, resultante de uma gradiente de temperatura;
3. Difusão devido a pressão, resultante de uma gradiente de pressão;
4. Difusão forçada, resultantes de forças externas além da gravidade;
5. Transferência de massa por convecção forçada;
6. Transferência de massa por convecção natural;
7. Transferência de massa turbulenta resultante das correntes de remoinho existente num fluido.
8. Transferência de massa entre fases, que ocorre pelo não equilíbrio através da interface.

Esses tipos de transferência de massa se agrupam em dois grupos distintos – Os quatro primeiros são transferências de massa molecular ou difusão e os quatro últimos são transferência de massa por convecção (SISSOM; PITTS, 1988).

Na difusão térmica as moléculas de um componente se dirigem para a região mais quente ao passo que as moléculas do outro componente tendem a dirigir para a região mais

fria. A difusão sob pressão os componentes mais leves tendem a migrarem para região com menor pressão dentro de uma gradiente de pressão. Difusão forçada resulta da ação de forças externas, além da gravidade, sobre os componentes (SISSOM; PITTS, 1988).

Para a difusão de um soluto gasoso A em um meio também gasoso B a primeira lei de Fick é posta segundo a Equação,

$$J_{A,Z} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \quad (15)$$

Em que D_{AB} indica a difusão do soluto A no meio B. Esse coeficiente é conhecido como coeficiente de difusão mútua, pois B difunde em A assim como A difunde em B (CREMASCO, 1998).

4.6.5 Equação advectivo-difusiva

A equação advectivo-difusiva descreve a propagação de emissões conservativas em um meio,

$$\underbrace{\frac{\partial C}{\partial t}}_{\substack{\text{Variação da} \\ \text{Concentração} \\ \text{em relação} \\ \text{ao tempo}}} = \underbrace{-V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y}}_{\substack{\text{Termo} \\ \text{convectivo}}} + \underbrace{E \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right)}_{\substack{\text{Termo} \\ \text{Dispersivo}}} \quad (16)$$

Onde:

C = concentração;

V_x e V_y = Velocidade na direção X e Y

E = Coeficiente de dispersão;

Sendo dividida em duas partes: termo convectivo e termo dispersivo. Termo convectivo ou termo advectivo dependendo do objetivo do autor é influenciado pela velocidade do meio. Termos difusivo ou termo dispersivo dependendo do objetivo do autor é definido pelo coeficiente de difusão.

4.6.6 Estabilidade atmosférica

A condição de estabilidade atmosférica é determinada pelo gradiente vertical de temperatura. Seria então ideal para um modelo de dispersão que se dispusesse de valores do perfil de temperatura medidos em campo para se conhecer as condições de estabilidade reais.

Entretanto, na maioria dos casos não se dispõe dessa informação. Nos casos onde não se dispõe dessas informações deve-se estimar esse gradiente (Pasquill, 1961 apud BOÇON, 1998). A Tabela 1 apresenta as classes de estabilidade atmosféricas.

Tabela 3 - Classes de estabilidade da atmosfera.

Velocidade do vento a 10 m do solo (m/s)	Radiação solar (W/m ²)			Cobertura de nuvens	
	>700	350 a 700	<300	>50%	<50%
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Fonte: BOÇON, 1998

As classificações de estabilidade variam de A até F indicando:

- A - extremamente instável;
- B - moderadamente instável;
- C - fracamente instável;
- D - neutra
- E - fracamente estável
- F - moderadamente estável

A relação entre as estabilidades de o coeficiente de difusão pode ser expresso pela Equação (1), na qual as variáveis a e b são dispostas na Tabela 4 e as variável Z_0 esta expresso na Tabela 5.

$$E = \frac{1}{a \cdot z_0^b} \quad (17)$$

Tabela 4 - Valores para a e b da Equação (17).

Classe de estabilidade	a	b
A	-0,0875	-0,1029
B	-0,03849	0,1714
C	-0,00807	0,3049
D	0	0
E	0,00807	0,3049
D	0,03849	0,1714

Fonte: MOREIRA; TIRABASSI, 2004

Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade.

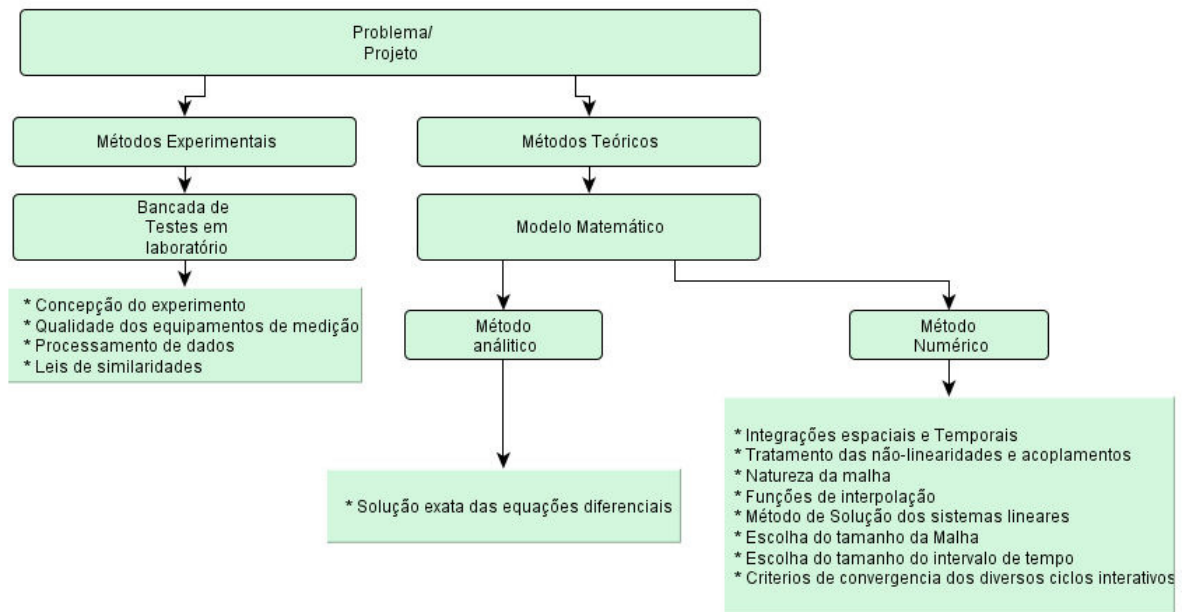
Superfície	Z₀ (m)
Lisa (gelo)	10 ⁻⁵
Neve	10 ⁻⁴
Mar calmo	10 ⁻³
Deserto plano	10 ⁻³
Gramma baixa (3 cm)	10 ⁻²
Gramma alta, pasto (60 cm)	0,05
Plantações desenvolvidas	0,1
Cobertura de árvores	1
Áreas residenciais baixas	2
Centros urbanos	5 a 10

Fonte: BOÇON, 1998

4.7 Modelagem de emissões atmosférica

Fundamentalmente existem três ferramentas (Figura 6) para desenvolver projetos e/ ou analisar problema Métodos analíticos, Métodos Numéricos e Ensaio de laboratório (MALISKA, 2004).

Figura 6 – Ferramentas disponíveis para analisar ou resolver problemas.



Fonte: MALISKA, 2004.

Métodos analíticos e métodos numéricos formam a classe dos métodos teóricos, para ambos objetivam resolver as equações diferenciais que formam o modelo matemático, apresentando como diferença a complexidade das equações. Soluções analíticas são aplicadas apenas a problemas de geometria simples de condições de contorno simples, uma das suas aplicações é permitir validar modelos numéricos e auxiliar no desenvolvimento de modelos robustos. Vantagens dos métodos analíticos estão no seu baixo custo e baixo tempo para se obter a solução (MALISKA, 2004).

A grande vantagem com relação a experimentação de laboratório é o fato de se trabalhar com a configuração real do problema. Apresenta por desvantagem seu alto-custo e em muitas vezes pode ser inviável a sua execução por motivo de segurança (SHEREVE; BRINK JR, 1997).

Experimentações numéricas (simulações numéricas), praticamente não apresentam restrições podendo resolver problemas complexo com condições de contorno gerais definidos em geometrias complexa apresentado resultados rápidos (MALISKA, 2004).

4.7.1 Método Analítico

Os fenômenos de difusão foram amplamente estudados por diversos autores como Pearson, Pasquill e Sutton dando origem a series expressões de cálculo e modelos de difusão. Diversos desses modelos baseiam-se na difusão transversal da pluma que corresponde a

repartição das concentrações em um campo gaussiano seguindo o eixo determinado pela direção do vento (GOMES, 2001).

$$C(x, y, z) = \frac{\Delta M}{(\sqrt{4\pi t})^3 \sqrt{D_x D_y D_z}} \exp\left(-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x - ux)^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) - \lambda t\right) \quad (18)$$

Para aplicação de modelo gaussiano considera-se como válido os seguintes pressupostos:

- 1) A taxa de emissão é constante desprezando a concentração que existe contrária a direção do vento (GOMES, 2001).
- 2) As emissões são transportadas na direção predominante do vento em uma determinada velocidade média. Considera que o campo horizontal do vento é homogêneo e as tensões direcionais são desprezáveis (GOMES, 2001).
- 3) Não existem tensões direcionais do vento segundo o seu componente vertical (GOMES, 2001).
- 4) Efeito de uma variação brusca na direção do vento é ignorado (GOMES, 2001).
- 5) As emissões são aerossóis ou gases não reativos que permanecem suspensos no ar (GOMES, 2001).
- 6) A pluma na superfície é refletida não havendo deposição e ne reações (GOMES, 2001).

4.7.2 Método numérico

Os métodos tradicionais para resolução de equações diferenciais são os Métodos de Diferença Finitas (MDF), Métodos de Volumes Finitos (MVF) e Método de elementos Finitos (MEF).

O método das diferenças finitas aproxima as derivadas parciais das equações diferenciais por quocientes de diferenças de valores das variáveis incógnitas escolhidos em pontos discretos do domínio de cálculo. Variando da forma como são obtidas as equações de diferenças finitas, o esquema numérico pode ser explícito ou implícito. No esquema explícito, as variáveis incógnitas têm seus valores definidos, em cada ponto do espaço, em função dos valores conhecidos dos intervalos de tempos anteriores. Quando isto não acontece, o esquema é implícito e resultam sistemas de equações algébricas onde as variáveis incógnitas são

resolvidas simultaneamente a cada intervalo de tempo, geralmente em uma linha de espaço com condições de contorno definidas (GARCIA, 2009).

4.8 Linguagem de programação Object Pascal

Até final de 1950 a programação consistia em longas sequencias de instruções com codificações minuciosas em forma binária, octal e hexadecimal. A deficiência desse processo tornou-se evidente com aparecimento de computadores com maior eficiência, processamento e memória (FARRER, 1990).

A linguagem pascal foi desenvolvida em 1968 pelo professor Niklaus Wirth, do instituto de informática da Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), em Zurique, Suíça. Recebeu essa denominação como homenagem a Blaise Pascal (1623-1662), inventor da primeira calculadora mecânica (FARRER, 1990).

O objetivo original da linguagem pascal era dispor uma linguagem para ensino de programação, de uma nova linguagem que fosse simples, coerente e capaz de incentivar a confecção de programas claros (FARRER, 1990).

5 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi dividida em cinco partes:

- 1 – Pesquisa bibliográfica;
- 2 – Coletada de dados experimentais;
- 3 – Análise e interpretação de dados;
- 4 – Desenvolvimentos de software de modelagem
- 5 – Elaborações de modelo matemático

5.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi feito de forma a obter subsídio para elaboração do modelo matemático de dispersão de emissões atmosféricas. Portanto foram pesquisados dados sobre as emissões, caracterizações da dinâmica de ventos da região, elaboração e otimização de softwares.

5.2 Coleta e análise de dados

Para elaboração do modelo é necessário saber qual o nível de emissão do empreendimento e a caracterização da dinâmica de ventos.

As medições das emissões foram feitas por meio de laudos de amostragens isocinéticas gerando como resultado as Tabela 6, na qual estão expressos os valores de SO₂ e NO_x emitido para atmosfera após o tratamento para o ponto de emissão lavador N° 03.

Tabela 6 – Resultado de amostragem de fonte estacionária para SO₂ e NO_x para o lavador N° 3

Lavador N° 03	
SO ₂ (mg/Nm ³) com conc. a 7% O ₂	355,03
NO _x (mg/Nm ³) com conc. a 7% O ₂	22,28

FONTE: Indústria Carbonífera Rio Deserto

5.3 Caracterização da dinâmica dos ventos

A diferença de gradiente de pressão atmosférica gera o deslocamento do ar, ou seja, origina os ventos. Estes, partindo de zonas de maior para as de menor pressão, sofrem

influências também do movimento de rotação da terra, da força centrífuga ao seu movimento, bem como da topografia e conseqüente atrito com a superfície terrestre.

A caracterização da direção e velocidade predominante do vento em determinada região é uma variável importante para identificação dos comportamentos das emissões e quais impactos sobre a área de influencia. O conhecimento quanto característica de velocidade influencia no transporte de emissão e na taxa de suspensão, onde particular presente no solo ou folhagem podem retornar a atmosfera e impactando a ambiente.

5.3.1 Materiais e métodos

Foram utilizados dados de monitoramento de direção e velocidade do vento no período de fevereiro a outubro de 2011. Dados foram coletados em uma estação meteorológica automática localizada no pátio operacional da Coqueria Rio Deserto. As coordenadas UTM são: Zona 22, 661595.30 m E e 6848061.82 m S.

Foi utilizada uma estação modelo WMR928NX – Estação Meteorológica Sem-Fio e Link com PC, com capacidade para verificação dos parâmetros de temperatura do ar, humidade relativa, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação.

Foi executado o cálculo da velocidade média vetorial do vento e em cada horário dentro de cada mês. Para efetuar o cálculo da velocidade e direção média foi feito a decomposição da velocidade (V) nas direções V_x e V_y através do ângulo ρ , onde:

$$V_x = V \cdot \cos(\rho)$$

$$V_y = V \cdot \sin(\rho)$$

Através das velocidades decompostas foi efetuado cálculo da média aritmética dos valores obtidos e calculado o valor da velocidade e direção média onde:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\rho = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$$

5.3.2 Resultados

Os resultados médios foram expressos numa série de gráficos (Figura 7 até Figura 14) para cada mês. Os gráficos apresentam dados de velocidade média (barras) e direção (linha)

Figura 7 – Direção e velocidade do vento no mês Fevereiro de 2011.

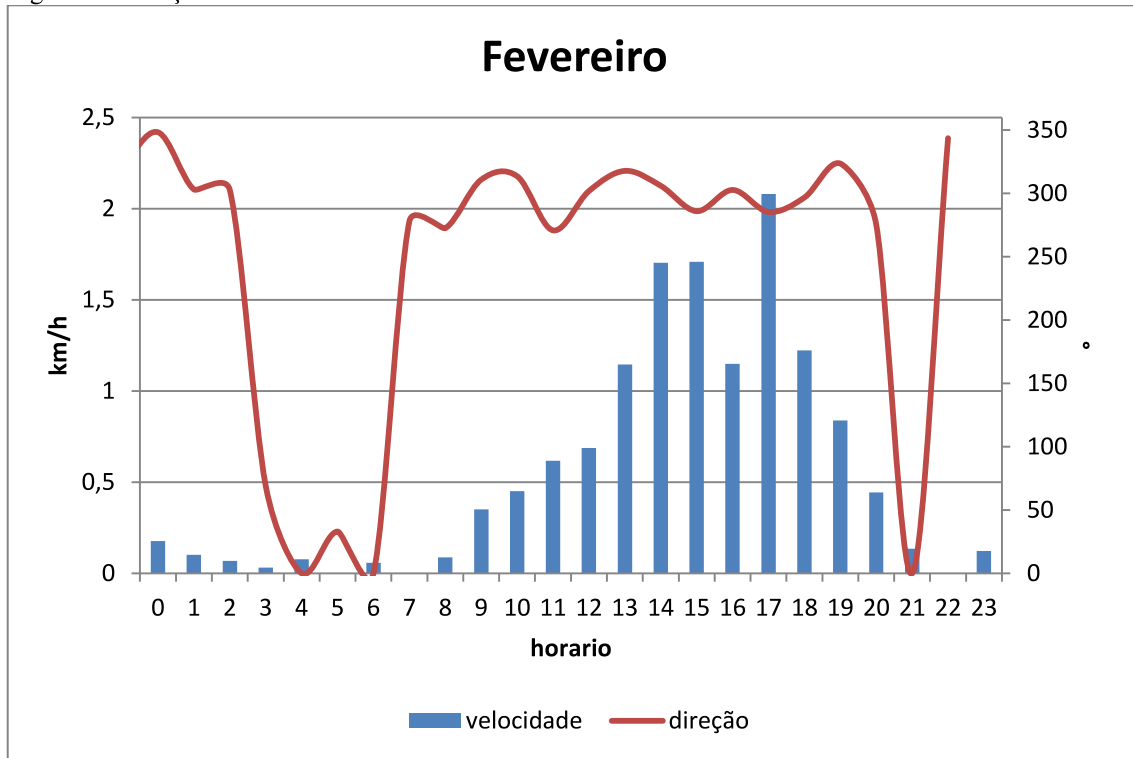


Figura 8 – Direção e velocidade do vento no mês Março de 2011.

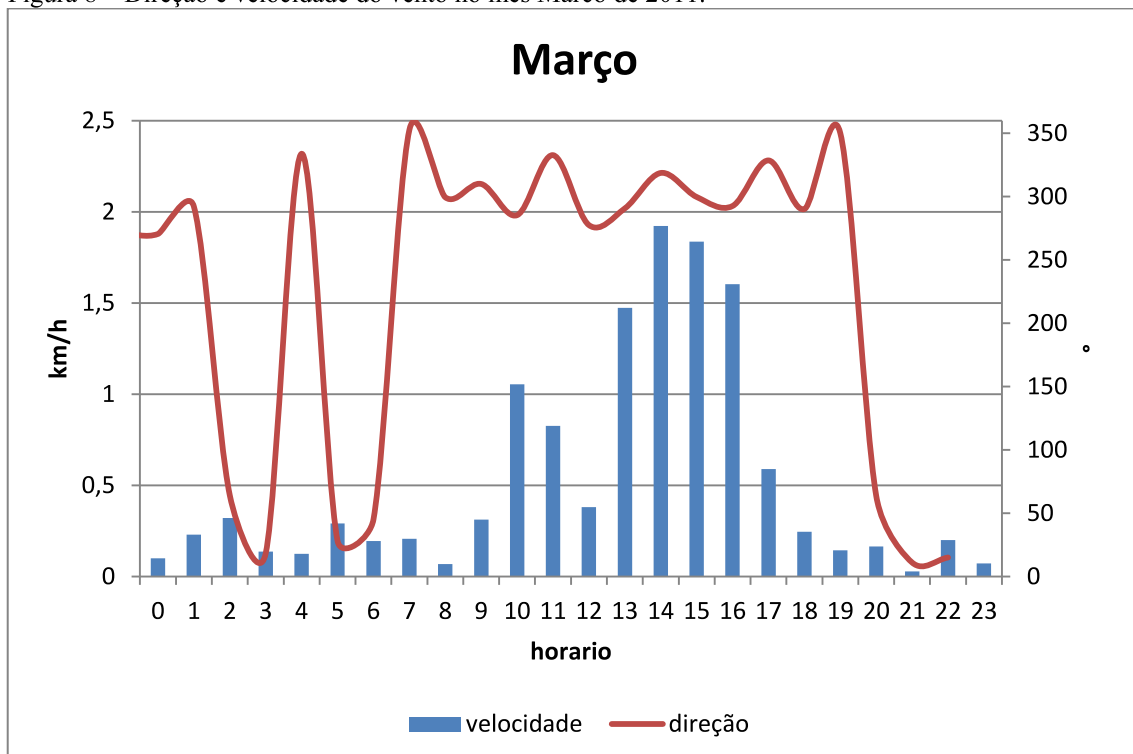


Figura 9 – Direção e velocidade do vento no mês Abril de 2011.

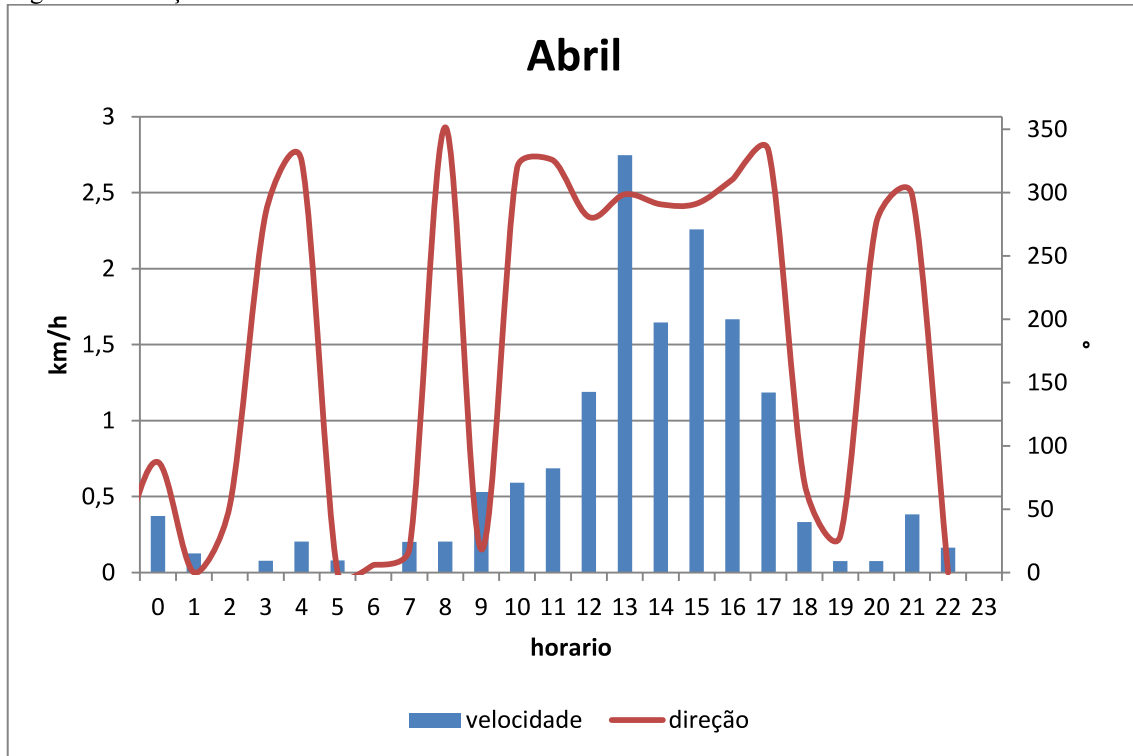


Figura 10 – Direção e velocidade do vento no mês Maio de 2011.

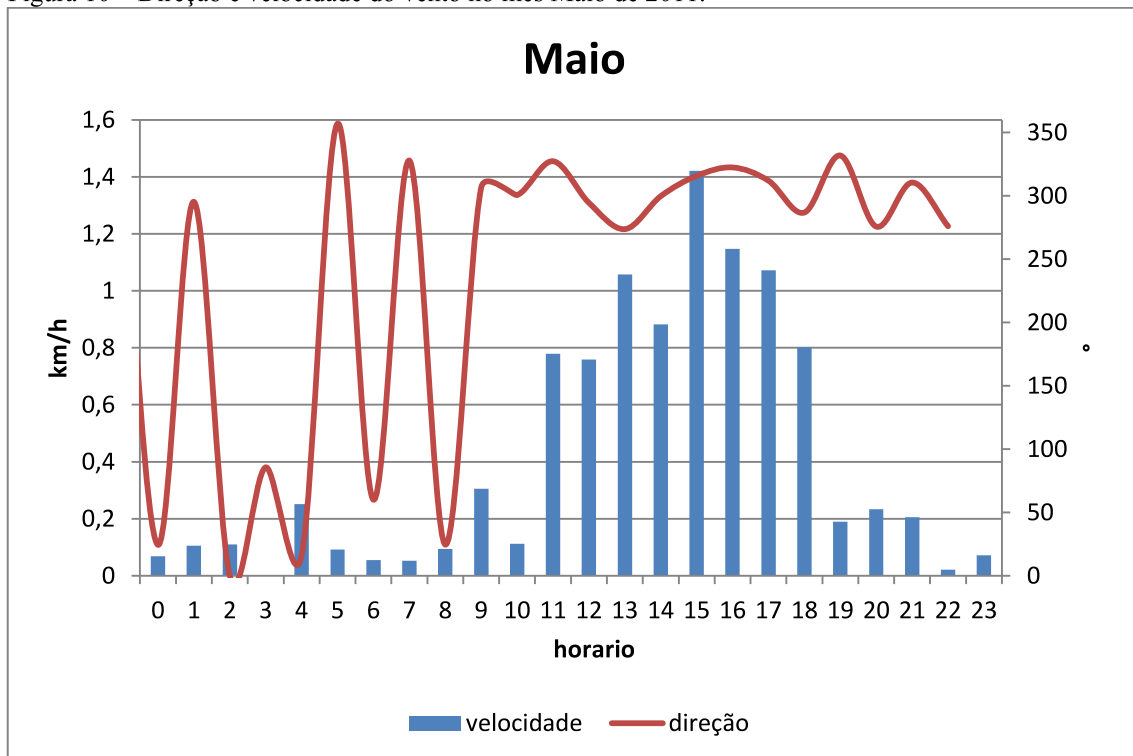


Figura 11 – Direção e velocidade do vento no mês Junho de 2011.

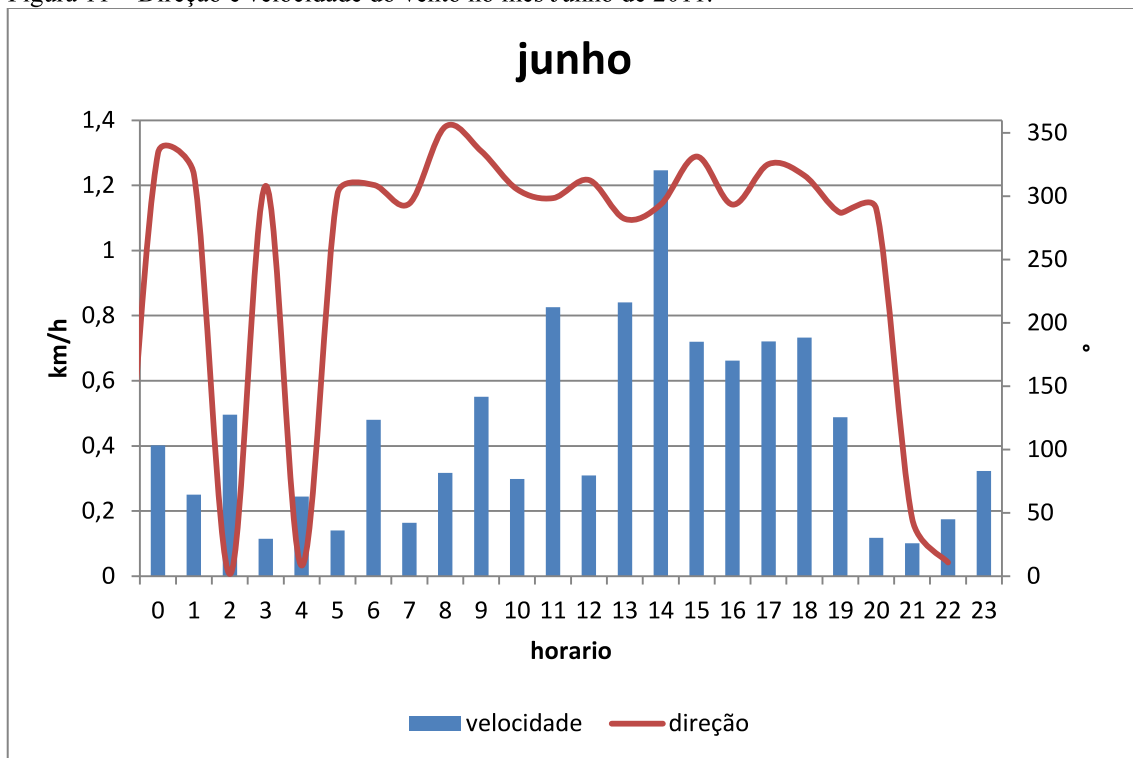


Figura 12 – Direção e velocidade do vento no mês Julho de 2011.

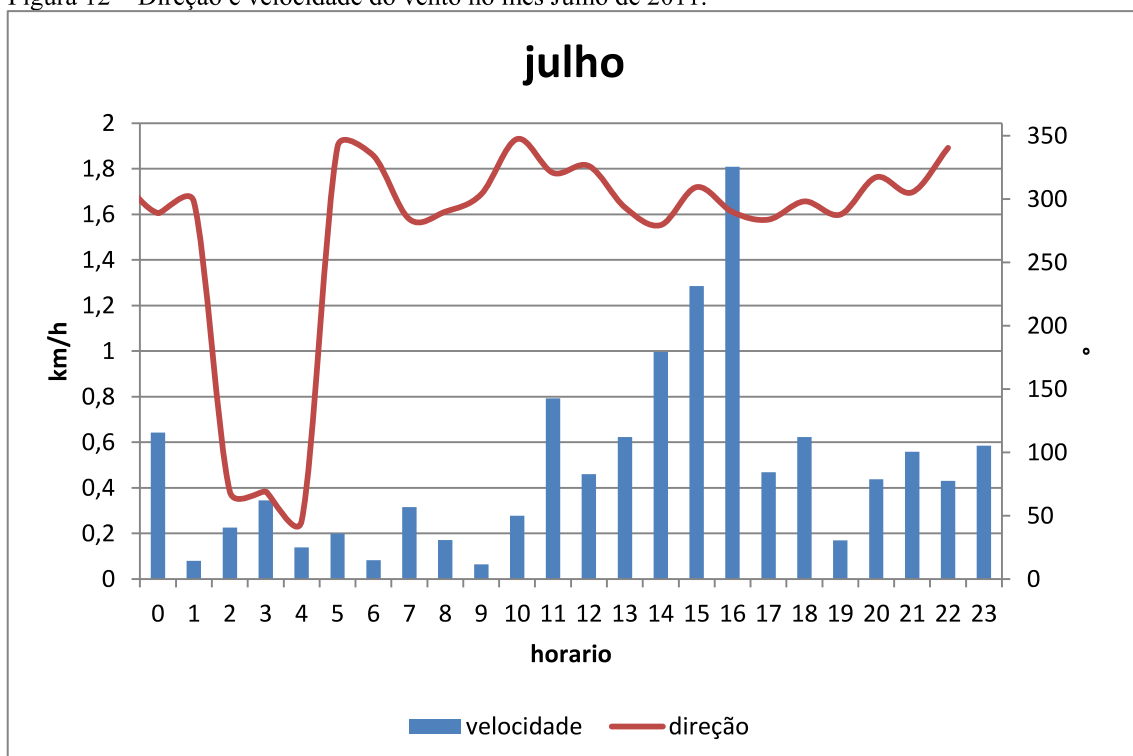


Figura 13 – Direção e velocidade do vento no mês Agosto de 2011.

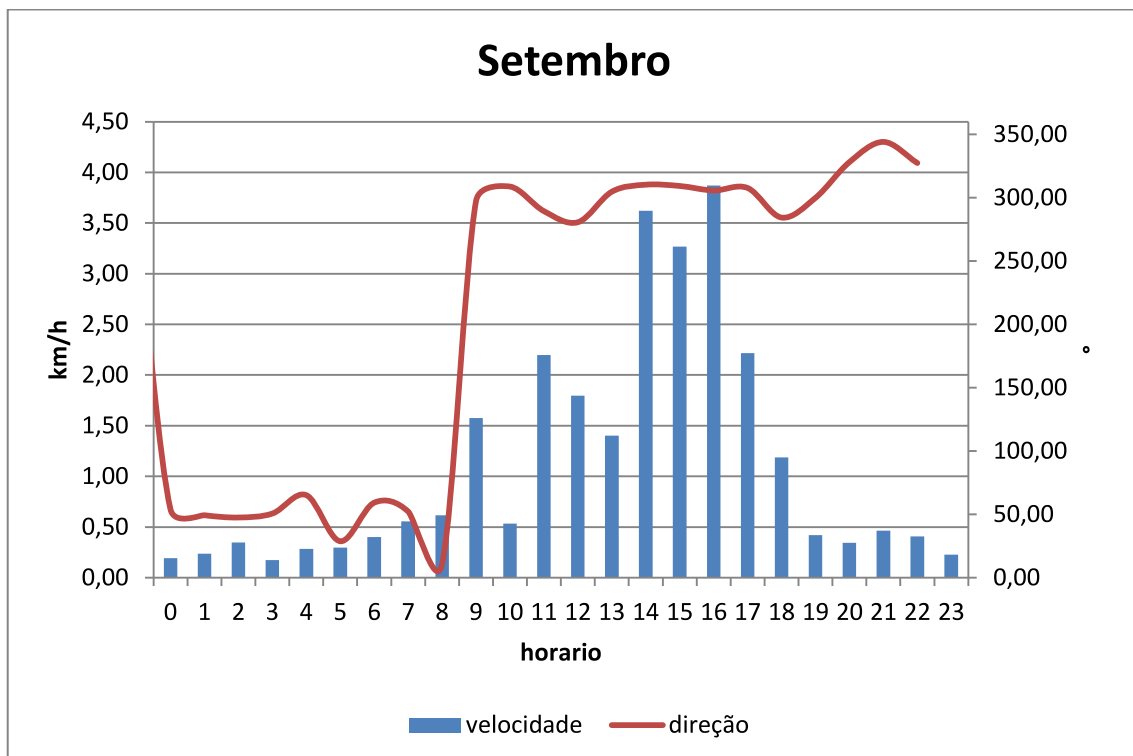
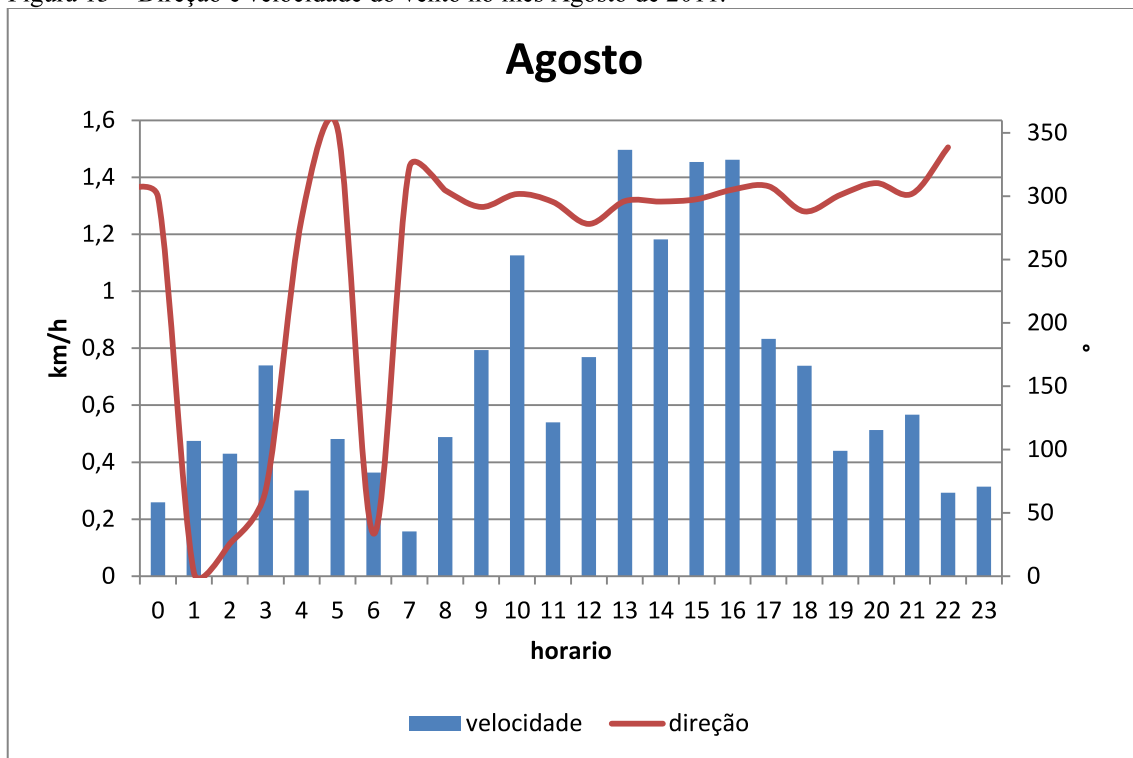
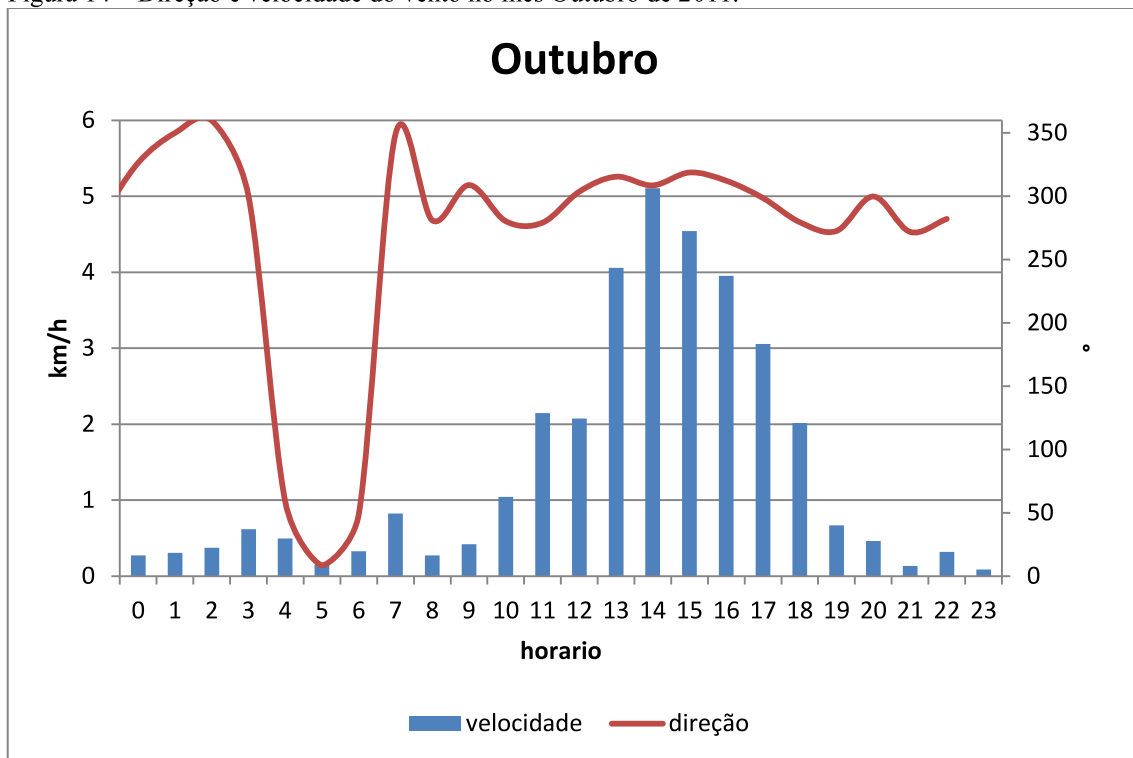


Figura 14 – Direção e velocidade do vento no mês Outubro de 2011.



5.3.3 Analise de resultados

Seguindo a configuração da rosa dos ventos (Figura 15) onde as direções N, E, S e O são equivalente aos ângulos 0° , 90° , 180° e 270° respectivamente, demais equivalências de direções estão na Tabela 7. A análise dos gráficos mostrou que a direção do vento segue uma tendência na qual durante do período das 8 às 0 horas, começo da manhã até meia noite a direção padrão entre ONO e OSO e entre 1 e 7 horas direção é entre NE e SE. Esse comportamento se justifica pela ocorrência de massas de ar seguindo do litoral para o continente ao longo do dia e invertendo esse fluxo à noite onde as massas de ar seguem do continente para o litoral.

Figura 15 – Rosa dos ventos sobre imagem aérea da região de entorno do empreendimento.



Fonte: Google Inc, 2011.

Tabela 7- equivalência entre direções e ângulos na rosa dos ventos.

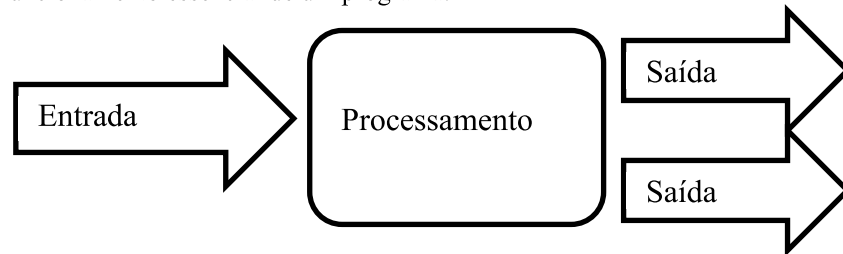
Direção	Ângulo (°)	Direção	Ângulo (°)
N	0	S	180
NNE	22,5	SSO	202,5
NE	45	SO	225
ENE	67,5	OSO	247,5
E	90	O	270
ESE	112,5	ONO	292,5
SE	135	NO	315
SSE	157,5	NNO	337,5

Conforme podem ser observado nos gráficos de dinâmica dos ventos eles apresentam maior velocidade durante o período das 13 às 19 horas e mais acentuada nos meses de setembro o outubro chegando a uma media de 4 km/h. Salienta-se que a alta velocidade do vento é um fator determinante na taxa de suspensão de material particulados presente no solo, portanto durante o período da tarde o nível de influencia de matérias presente nos solo são mais impactantes na qualidade do ar.

5.4 Desenvolvimento de software

Essencialmente, um programa de computador recebe dado (entrada), processa dos dados (processamento) e retorna respostas (Figura 16).

Figura 16 – Funcionamento essencial de um programa.



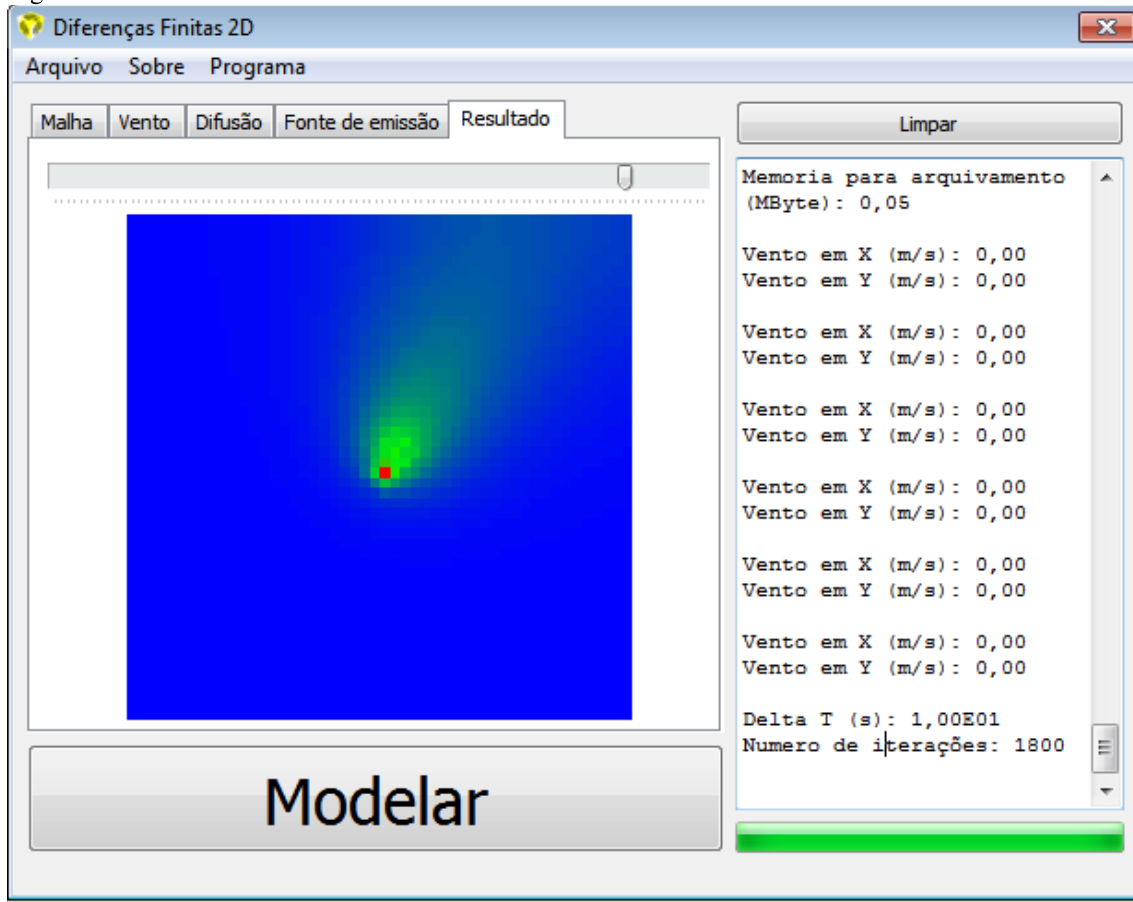
Para estar aplicando o modelo de diferenças finitas foi desenvolvido um software para modelagem, o programa recebeu de denominação Pluma21, as principais Units do Software constam no Apêndice A..

A proposta seria de desenvolver um sistema leve com pouca exigência de configuração e sistema em nível de usuário. Em nível de criação e atualização teria que de rápido desenvolvimento permitindo imediata resposta para possíveis necessidades do desenvolvimento. Para manter essas características foi optado pela Linguagem Object Pascal e compilador Delphi.

5.4.1 Especificações do Pluma21

Pluma 21 é composto em sua interface (Figura 17) por um menu contendo Arquivo, Sobre, e Programa, conjunto de abas contendo Malha, Vento, Difusão, Fonte de Emissão e resultado, botão para iniciais o modelo e log de ações do programa.

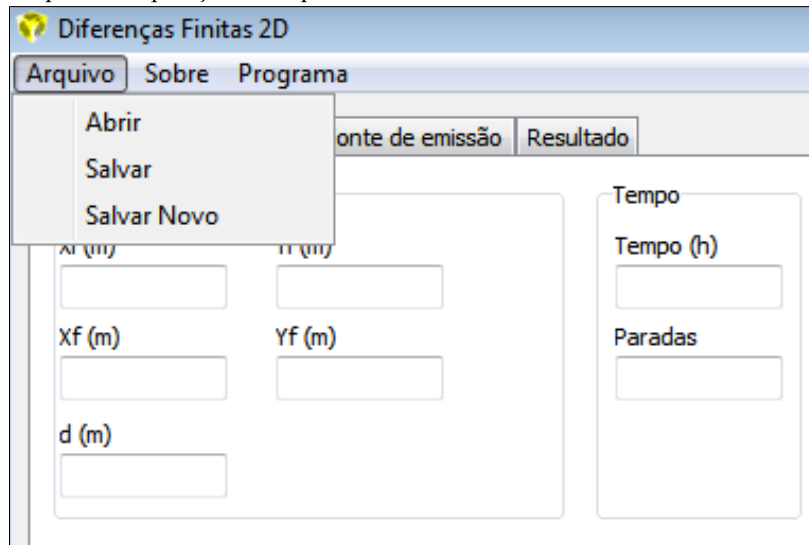
Figura 17 – Interface do Software Pluma21



5.4.1.1 Menu

O menu Arquivo (Figura 18) apresenta opção para manipulação de projetos de modelagem, foi desenvolvido junto ao Pluma21 estrutura de arquivo binário com especificação própria para o programa com extensão “*.lh” .

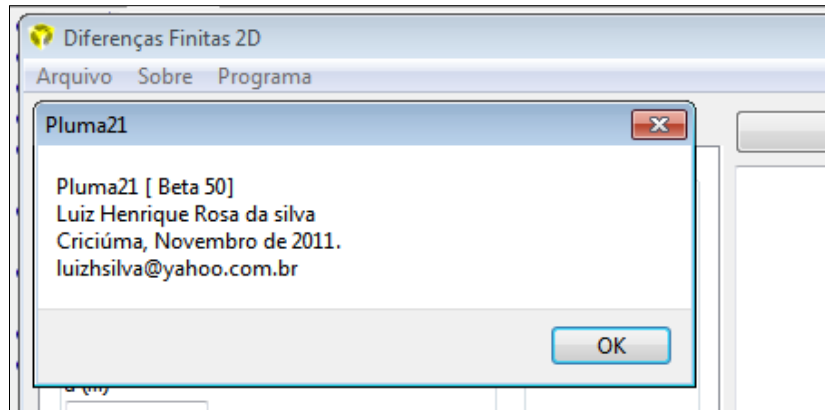
Figura 18 - menu para manipulação de arquivo.



Botão “abrir” – permite estar abrindo um projeto de modelagem, botão “salvar” – salva as alterações no arquivo e botão “Salvar Novo” salva estrutura de dados atual em novo arquivo.

Menu “Sobre” (Figura 19) apresenta dados quanto o autor, versão do programa, contado e local

Figura 19 - menu sobre.



Menu “programa” e botão “Ativar Botão de Modelagem” tem a função de liberar o programa para modelagem cada execução tenha gerado resultado inesperado.

5.4.1.2 Malha

Possui campos para inserção de dados quanto a malha () apresentando seu X inicial e final e Y inicial e final, estrutura de coordenadas cartesianas permitindo trabalhar com coordenadas UTM. O campo d (delta) é inserido o tamanho de cada parte dentro da malha, neste campo o usuário terá que cadenciar entre precisão e esforço computacional, quanto menor for o delta maior será a precisão, porem terá um maior esforço computacional, porem trabalhando com um delta maior tende a ficar menos preciso e mais rápido.

Figura 20 - aba de especificação de malha

A imagem mostra a interface de usuário do software 'Diferenças Finitas 2D'. No topo, há uma barra de menu com 'Arquivo', 'Sobre' e 'Programa'. Abaixo, há uma barra de abas com 'Malha', 'Vento', 'Difusão', 'Fonte de emissão' e 'Resultado'. A aba 'Malha' está selecionada e contém dois painéis de entrada de dados. O painel 'Malha' à esquerda possui campos para 'Xi (m)', 'Yi (m)', 'Xf (m)', 'Yf (m)' e 'd (m)'. O painel 'Tempo' à direita possui campos para 'Tempo (h)' e 'Paradas'.

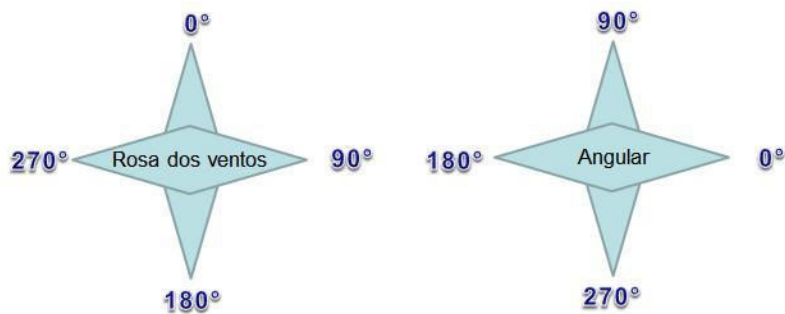
5.4.1.3 Vento

Aba vento é campo destinado à inserção de dados para caracterização do vento podendo entrar a velocidade decomposta em X e Y, velocidade média e inclinação e velocidade média direção pela rosa dos ventos.

Figura 21 - Campo de dados relacionado ao vento.

A diferença em se estar trabalhando com a forma convencional de ângulos e rosa dos ventos esta na sua estruturam de ângulo (Figura 22). Conversão entre os ângulos é dada pela expressão (19).

Figura 22 - Estrutura de angulo para rosa dos ventos.

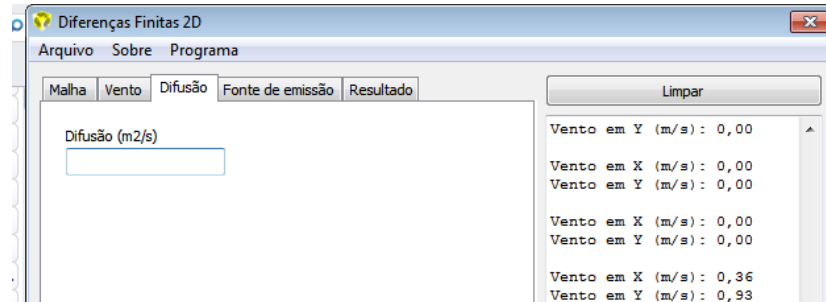


$$\begin{aligned}
 & \text{se } \rho \leq 90 \\
 & \{\rho_2 = 90 - \rho\} \\
 & \text{Se não} \\
 & \{\rho_2 = 450 - \rho\}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

5.4.1.4 Difusão

Aba de difusão é inserido o coeficiente de difusão que pode ser calculado pela estabilidade atmosférica (Figura 23).

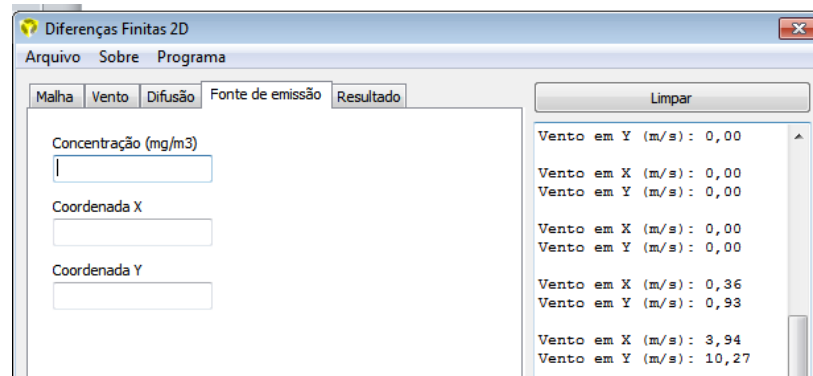
Figura 23- Aba de difusão



5.4.1.5 Fonte de emissão

Aba de difusão é inserido a localização da fonte de emissão e a concentração da emissão (Figura 24).

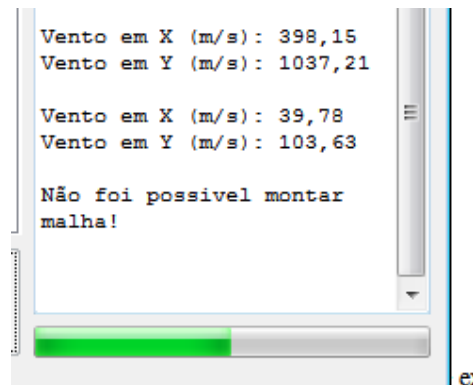
Figura 24- Aba da fonte de emissão



5.4.1.6 Tela de Log

Tela de log (Figura 25) permite que o programa possa se comunicar com o usuário passando algumas informações quanto ao uso de memória no processamento, tamanho de malha, quantidade de iterações e erros detectados.

Figura 25 - Tela de log.



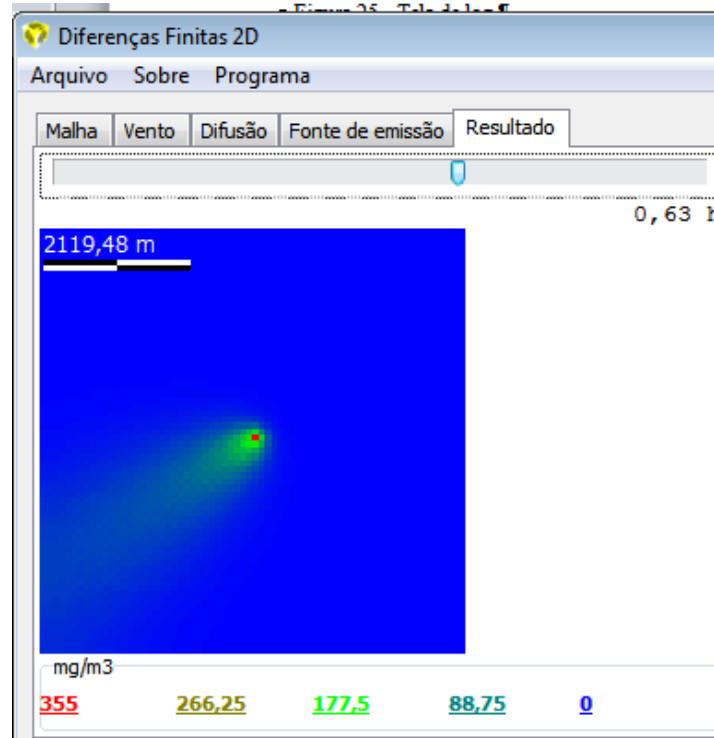
5.4.1.7 Botão de modela

Botão que dá início ao processo de modelagem. O procedimento que executa o modelo é executado em um “Thread”, que são classes cuja execução é realizada numa instância separada do programa na qual ela é gerada. Esse tipo de classe permite a execução de procedimentos demorados sem provocar o travamento do programa. Foi implementada alteração na forma como a Thread é executada em relação ao acesso ao processador da máquina, saindo de uma execução normal para uma execução em Tempo real, a desvantagem é que tira um pouco do desempenho do sistema operacional e dos programas em execução e a vantagem é a aceleração do tempo de execução do modelo, após o término do modelo o sistema retorna à condição normal.

5.4.1.8 Resultado

A aba resultado apresenta o resultado final da modelagem, sendo apresentado o perfil da pluma, tempo de modelagem, escala gráfica e escala colorimétrica.

Figura 26 - Aba de resultados.



5.5 Descretização das Equações

A equação dominante do modelo e a equação advectivo-difusivo expressa na Equação (16). Adotando diferenças frontais para o tempo, diferenças centrais para o termo difusivo e diferenças traseiras para o termo advectivo obtém-se a equação (20).

$$C_{i,j,n+1} = -u_x \frac{\Delta t}{\Delta x} (C_{i,j,n} - C_{i-1,j,n}) - u_y \frac{\Delta t}{\Delta y} (C_{i,j,n} - C_{i,j-1,n}) + \quad (20)$$

$$+ E \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1,j,n} - 2 \cdot C_{i,j,n} + C_{i-1,j,n}) + E \frac{\Delta t}{\Delta y^2} (C_{i,j+1,n} - 2 \cdot C_{i,j,n} + C_{i,j-1,n}) + C_{i,j,n}$$

Para Estabilizar a malha foi adotado o esquema da equação (21) onde são calculados o valor de Δt para ter situações e adotado o menor valor diferente de 0.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Adotar} \\ \text{Menor } \Delta t \\ \text{diferente de 0} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} \Delta t = \frac{1}{8} \cdot \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{E} \\ \Delta t = \frac{\Delta x}{|U_x|} \\ \Delta t = \frac{\Delta y}{|U_y|} \end{array} \right\} \quad (21)$$

A equação desratizada devidamente ajustada foi implementada em uma rotina de programação e Object Pascal (Figura 27). As principais units que compõem do software estão no Apêndice A.

Figura 27 - Equação sincretizada implementada no software.

```

fi1 := 1;
while fi1 < self.cx-1 do begin
  fi2 := 1;
  while fi2<self.cy-1 do begin

    mt[n1,fi1,fi2] := (-v.ux*(dt/v.d)*(mt[n,fi1+sx,fi2]-mt[n,fi1-1+sx,fi2]))
                    -(v.uy*(dt/v.d)*(mt[n,fi1,fi2+sy]-mt[n,fi1,fi2-1+sy]))
                    +v.dif*(dt/power(v.d,2))*
                    (mt[n,fi1+1,fi2]+mt[n,fi1-1,fi2]
                    -(4*mt[n,fi1,fi2])+
                    mt[n,fi1,fi2+1]+mt[n,fi1,fi2-1]))
                    +mt[n,fi1,fi2];

    inc(fi2);
  end;
  inc(fi1);
end;

```

5.6 RESULTADOS

Foi usado como dados de modelagem os dados climáticos do mês de setembro (Tabela 8) e os laudos de emissões de SO₂.

Tabela 8 - Dados para modelagem da o mês de setembro.

Hora	Velocidade (m/s)	Direção (°)	Classe de estabilidade
0	0,684	281,83	F
1	0,864	53,83	F
2	1,26	49,3	F
3	0,612	47,5	F
4	1,008	50,61	F
5	1,08	65,18	F
6	1,44	28,76	F
7	2,016	59,2	A
8	2,232	52,22	A
9	5,688	10,6	A
10	1,908	297,49	A
11	7,92	308,82	B
12	6,48	289,41	A
13	5,04	280,66	B
14	13,032	304,77	C
15	11,772	310,31	C
16	13,932	309,29	C
17	7,992	305,74	C
18	4,284	307,7	C
19	1,512	284,34	E
20	1,224	299,94	E
21	1,656	328,16	E
22	1,476	344,07	E
23	0,828	327,4	E

Da Figura 28 até a Figura 35 estão expostos os resultados obtidos com o modelo de diferenças finitas para dispersão de gases. O modelo foi executado em intervalo de 3 horas.

Figura 28 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 0h.

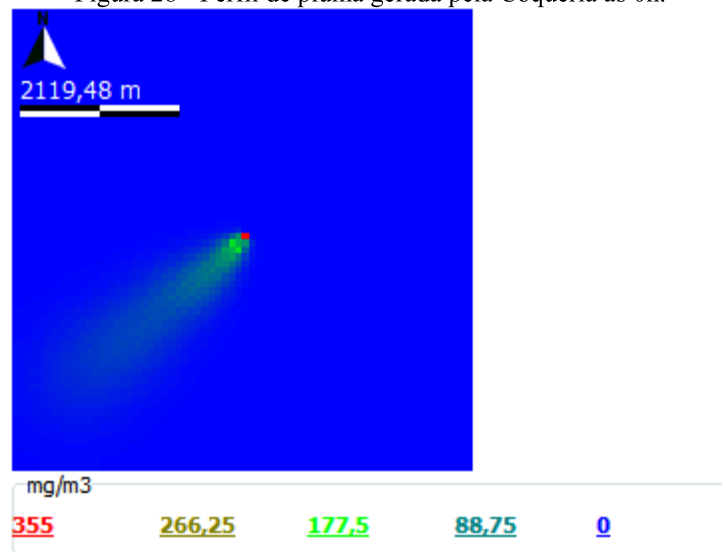


Figura 29 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 3h.

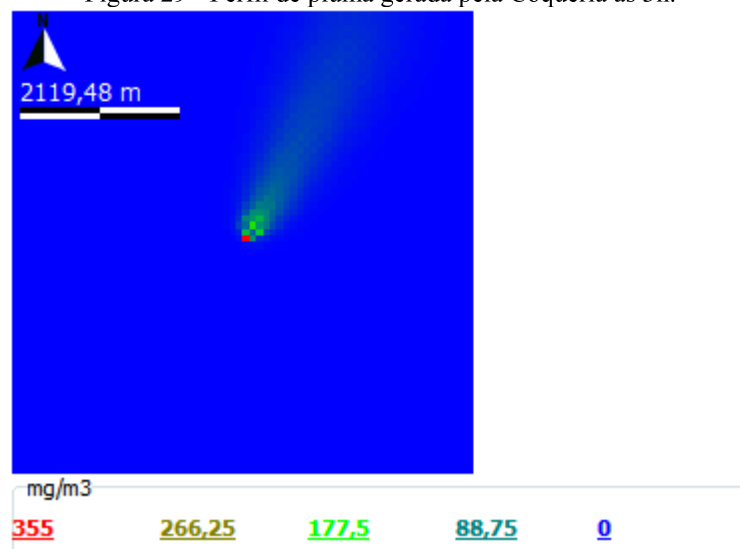


Figura 30 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 6h.

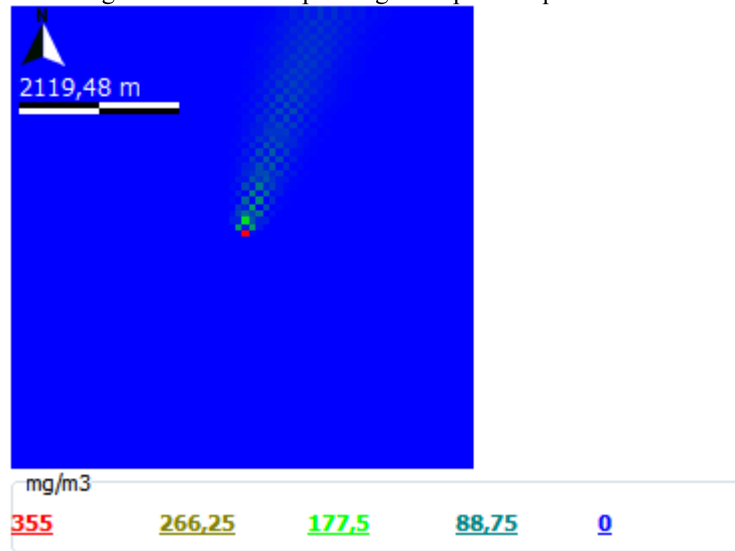


Figura 31 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 9h.

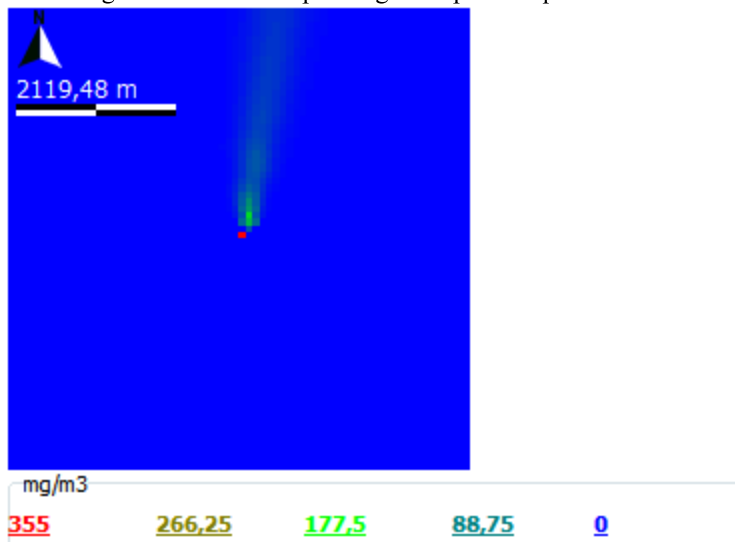


Figura 32 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 12h.

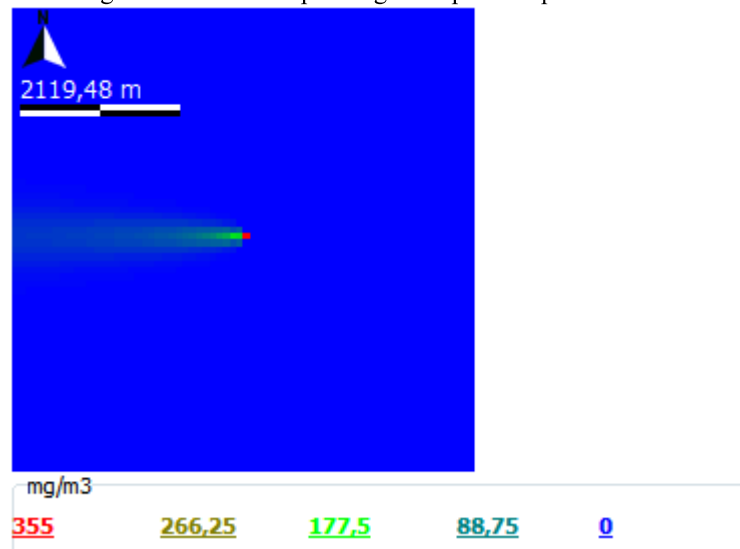


Figura 33 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 15h.

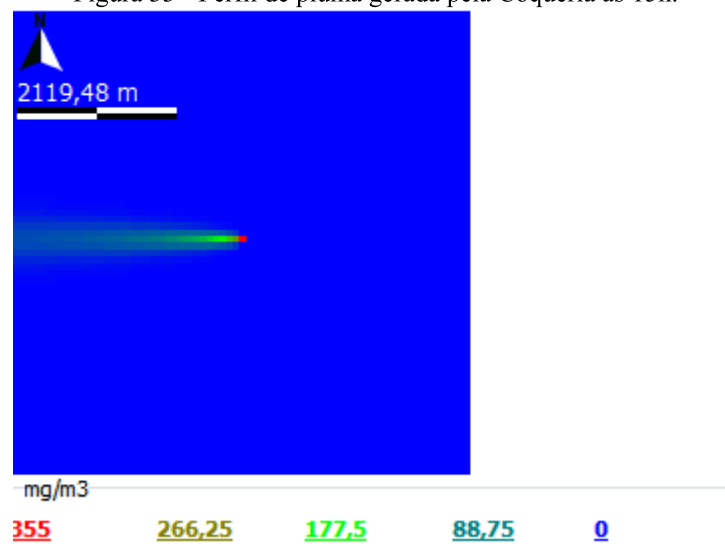


Figura 34 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 18h.

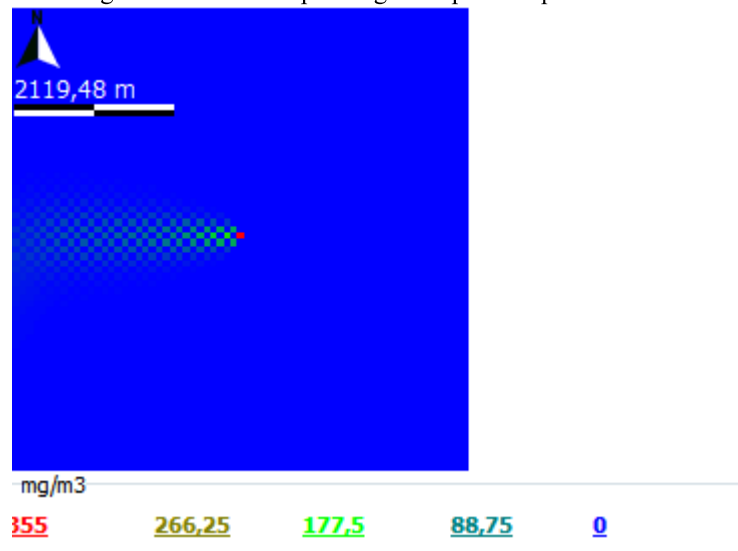
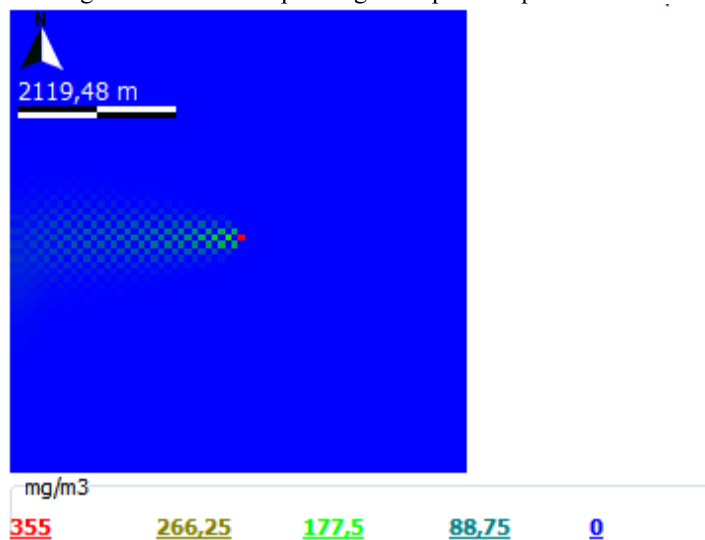


Figura 35 - Perfil de pluma gerada pela Coqueria às 21h.



5.7 Análise de resultados

Comparando a espessura da pluma com a escala gráfica percebe-se que durante o período da tarde onde a intensidade do vento é maior a formação de uma pluma menos espessa, chegando a 500 m após 1 km do ponto de emissão, no entanto por estar menos espessa apresenta nível de concentração mais elevado. No período da noite e início da noite a pluma gerada apresenta maior espessura, porém a pluma gerada apresenta concentração de emissão menos.

Os impactos mais significativos das emissões estão na direção O do empreendimento por receber maiores concentrações da emissão, no entanto esse nível de

concentração está numa faixa menos espessa. Esse nível de concentração fica condicionado às condições climatológicas, a simulação foi feita com base na media geométrica do vento, no entanto em condições diferentes torna-se necessário a aplicação de nova simulação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao mapeamento de direção do vento conclui-se que as atividades desempenhadas pelo empreendimento no período das 0 às 8 horas tonam-se mais impactantes na direção NE e SE, sendo que nessa direção tem-se um grande adensamento populacional e a cidade de Urussanga. Na direção entre ONO e OSO na qual é o padrão de direção durante maior período do dia apresenta um menor adensamento populacional e poucas áreas com florestas.

Com relação à velocidade predominante durante o período da tarde apresenta maior significância contribuída para a suspensão de material presente no solo, estrada e pátio operacional. Como forma de estar reduzindo o impacto desses materiais na qualidade do ar da comunidade recomenda-se a intensificação das mediadas para batimento e poeiras e materiais em durante o período da tarde.

Com relação ao software Pluma21 apresentou ser uma ferramenta adequada para a gestão das emissões na qual é possível estar caracterizando o fluxo das emissões, níveis de concentração e espessura de pluma. A execução dos modelos foi possível em poucos segundo permitindo ganho de tempo para o usuário. A metodologia desenvolvimento aplicado ao programa permitiu ganho de desempenho na sua execução mesmo em computadores com capacidade mais limitada.

O estudo de mapeamento de vento juto o modelo matemático podem ser inserido dentro dos sistemas de gestão ambiental das empresas já que com essa ferramentas é possível estar direcionando os processos críticos ou que exijam maior cuidado para os períodos cujo os efeitos climáticos provoque menor interferência.

Recomenda-se que em trabalhos posteriores seja abordado em outra metodologias de modelagem uma vez que este trabalho foi desenvolvido como diferenças finitas há a possibilidade de se estar trabalhado com elementos finitos e volumes finitos. Recomenda-se também um estudo sobre a estabilidade de atmosfera para a região local, pois os dados existentes são de locais distantes onde as condições climáticas são diferentes das presentes nesse sistema.

Não foi possível estar atingindo o objetivo 4, inserir a interferência do relevo. Mesmo não sendo atingindo esse objetivo destacasse a grande importância do relevo nos fluxos atmosférico. Recomenda-se que me trabalhos posteriores faça-se a aplicação das variáveis de relevo no método de diferenças finitas.

Considerações finais

7 REFERÊNCIAS

- BACK, Á. J. Caracterização climática. In: (Ed.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina :uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 17-33.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. p.
- BIAVA, T. M. **CONTRIBUIÇÃO À CONSTRUÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DO IRSURES, A REMEDIAÇÃO E ENCERRAMENTO DO ATUAL LIXÃO DE URUSSANGA, SC**. f. – Departamento de Engenharia Ambiental, UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE, Criciúma, 2003.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de Transporte**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2004. p.
- BOÇON, F. T. **MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO E DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA MICROESCALA ATMOSFÉRICA**. À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1998. 387 p. Disponível em: <http://www.sinmec.ufsc.br/sinmec/artigos/bocon_tese.pdf>. Acesso em: 10 de Ago. de 2011.
- BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana Faculdade de Medicina da USP**, p. 20, 2011.
- BRASIL. Senado. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL** Brasília, 1988. p. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 09 de Nov. de 2011.
- CIASC. **Urussanga**. 2011. Disponível em: <<http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/sc.phtml>>. Acesso em: 01 de Nov. de 2011.
- CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 03** Dispõe sobre a Qualidade do Ar, definições e padrões. 1990. p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 08 de Nov. de 2011.
- _____. **RESOLUÇÃO Nº 382** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília, 2006. p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 09 de Nov. 2011.
- _____. **O que é o CONAMA?** Brasília: CONAMA, 2011. p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>. Acesso em: 02 de Nov. de 2011.
- CREMASCO, M. A. **Fundamentos de Transferência de Massa**. Campinas: Editora da Unicamp, 1998. 741 p.
- FARRER, H. **Pascal Estruturado**. Rio de Janeiro: LTC, 1990. p.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 1980. p.

GARCIA, R. L. **SOLUÇÕES EXATAS PARA PROBLEMAS DE DISPERSÃO DE POLUENTES – MODELO DIFUSIVO BASEADO NA EQUAÇÃO KDV**. 133 f. – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL Porto Alegre, 2009.

GOMES, J. **Poluição Atmosférica: um Manual Universitário**. Porto: Publindústria, 2001. 176 p.

MACÊDO, J. A. B. D. **Introdução a química ambiental : química & meio ambiente & sociedade**. Juiz de Fora: Jorge Macêdo, 2002. p.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004. 453 p.

MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. **MODELO MATEMÁTICO DE DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA NA ATMOSFERA: UM INSTRUMENTO TÉCNICO PARA A GESTÃO AMBIENTAL**. *Ambiente & Sociedade*, v. VII, p. 15, 2004.

MURTA, J. L. B. **Metodologia para solução do problema de abastecimento do carvão mineral para a siderurgia**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1987. p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1989. p.

REDIVO, R. V. et al. **Estudo Ambiental Simplificado: Coqueria Rio Carvão, Urussanga-SC**. Criciúma: Indústria Carbonífera Rio Deserto, 2009. 64 p.

SHEREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. **Indústria de Processos Químicos**. 1997. p.

SISSOM, L. E.; PITTS, D. R. **Fenômenos de transporte**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988. p.

VELLOSO, M. F. A. **AVALIAÇÃO DE MODELOS GAUSSIANOS PARA FINS REGULATÓRIOS – UM ESTUDO PARA A BACIA AÉREA III DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO** Rio Janeiro: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2007. 210 p.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 438 p.

Apêndice A – Código fonte do programa Pluma21

```
1  unit aqDF2D;
2
3  interface
4
5  uses
6    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
7    Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, ValidaNumeros, VarTemp, pngimage, Buttons,
8    ComCtrls, BibliAng, Menus, math, ButtonGroup, CategoryButtons, TeCanvas,
9    ShellAnimations, XPMAN, Keyboard;
10
11 type
12   TjDF2D = class(TForm)
13     Mem01: TMemo;
14     Page: TPageControl;
15     TabSheet1: TTabSheet;
16     TabSheet2: TTabSheet;
17     GroupBox1: TGroupBox;
18     xi: TLabelledEdit;
19     xf: TLabelledEdit;
20     d: TLabelledEdit;
21     GroupBox2: TGroupBox;
22     Tempo: TLabelledEdit;
23     Para: TLabelledEdit;
24     yi: TLabelledEdit;
25     yf: TLabelledEdit;
26     RadioVelo: TRadioGroup;
27     p3: TPanel;
28     Label25: TLabel;
29     Label26: TLabel;
30     Image4: TImage;
31     cg2: TEdit;
32     cu2: TEdit;
33     p2: TPanel;
34     Label21: TLabel;
35     Label22: TLabel;
36     Image2: TImage;
37     cg1: TEdit;
38     cu1: TEdit;
39     p1: TPanel;
40     Label23: TLabel;
41     Label24: TLabel;
42     Image3: TImage;
43     cux: TEdit;
44     cuy: TEdit;
45     TabSheet3: TTabSheet;
46     btmd: TBitBtn;
47     Button1: TButton;
48     TabSheet4: TTabSheet;
49     Cemi: TLabelledEdit;
50     xemi: TLabelledEdit;
51     yemi: TLabelledEdit;
52     Dif: TLabelledEdit;
53     MainMenu1: TMainMenu;
54     Arquiv01: TMenuItem;
55     Abrir1: TMenuItem;
56     Salvar1: TMenuItem;
57     SalvarNovo1: TMenuItem;
```

```
58     Sobre1: TMenuItem;
59     Barra: TProgressBar;
60     TabSheet5: TTabSheet;
61     fig: TImage;
62     lTempo: TTrackBar;
63     PopMenu: TPopupMenu;
64     Ativarbotol: TMenuItem;
65     Programal: TMenuItem;
66     AtivarbotodeModelagem1: TMenuItem;
67     PopupMenu1: TPopupMenu;
68     SalvarImagem1: TMenuItem;
69     Salvar: TSaveDialog;
70     hora: TLabel;
71     Imagem1: TImage;
72     escala: TLabel;
73     GroupBox3: TGroupBox;
74     e0: TLabel;
75     e25: TLabel;
76     e50: TLabel;
77     e75: TLabel;
78     e100: TLabel;
79     Image5: TImage;
80     procedure xiChange(Sender: TObject);
81     procedure xfChange(Sender: TObject);
82     procedure dChange(Sender: TObject);
83     procedure yiChange(Sender: TObject);
84     procedure yfChange(Sender: TObject);
85     procedure TempoChange(Sender: TObject);
86     procedure ParaChange(Sender: TObject);
87     procedure FormShow(Sender: TObject);
88     procedure Button1Click(Sender: TObject);
89     procedure Abrir1Click(Sender: TObject);
90     procedure Salvar1Click(Sender: TObject);
91     procedure SalvarNovo1Click(Sender: TObject);
92     procedure Sobre1Click(Sender: TObject);
93     procedure RadioVeloClick(Sender: TObject);
94     procedure DifChange(Sender: TObject);
95     procedure CemiChange(Sender: TObject);
96     procedure xemiChange(Sender: TObject);
97     procedure yemiChange(Sender: TObject);
98     procedure btmdClick(Sender: TObject);
99     procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
100    procedure lTempoChange(Sender: TObject);
101    procedure lTempoEnter(Sender: TObject);
102    procedure AtivarbotodeModelagem1Click(Sender: TObject);
103    procedure SalvarImagem1Click(Sender: TObject);
104    procedure Button2Click(Sender: TObject);
105    private
106        { Private declarations }
107    public
108        { Public declarations }
109        procedure vermalha;
110
111    end;
112
113    type
114    v2d=record
```

```
115     xi,xf,yi,yf,d:double;
116     tempo:double;
117     Para:integer;
118     ux,uy:double;
119     dif:double;
120     cc,cx,cy:double;
121
122
123     end;
124
125     procedure evento(ev1:string; ev2:double; notaçao:boolean=false); overload;
126     procedure evento; overload;
127     procedure evento(ev1:string; ev2:integer); overload;
128     procedure evento(ev1:string); overload;
129
130
131     function criatemp:boolean;
132     procedure apagatemp;
133
134
135     var
136         jDF2D: TjDF2D;
137         v:v2d;
138         eTemp:string;
139         imagens:tstringlist;
140
141     implementation
142
143     uses aqInicio, Mod2d, funcoes;
144
145     {$R *.dfm}
146
147     function criatemp:boolean;
148     var
149         teste:tstringstream;
150     begin
151         result := true;
152         etemp := toaqui()+'\Temp\';
153         teste := tstringstream.Create('21');
154     try
155         forcedirectories(etemp);
156         // teste.SaveToFile(etemp+'21.txt');
157         deletefile(etemp+'21.txt');
158     except
159         etemp := 'C:\Mod21\';
160         try
161             forcedirectories(etemp);
162
163         finally
164             result := false;
165             showmessage('Não foi possível criar pasta de arquivos temporarios!');
166         end;
167     end;
168     teste.Create;
169     end;
170
171     procedure apagatemp;
```

```
172     var
173     v:tpicture;
174     begin
175
176
177
178         apagapasta(etemp);
179     end;
180
181     procedure evento(ev1:string; ev2:double; notação:boolean=false); overload;
182     var
183     ft:string;
184     begin
185         if notação then begin
186             ft := formatfloat('0.00E-00',ev2);
187         end else begin
188             ft := formatfloat('0.00',ev2);
189         end;
190
191         jdf2d.memo1.Lines.Add(ev1+ft);
192     end;
193
194     procedure evento; overload;
195     begin
196         jdf2d.memo1.Lines.Add(' ');
197     end;
198
199     procedure evento(ev1:string; ev2:integer); overload;
200     begin
201         jdf2d.memo1.Lines.Add(ev1+inttostr(ev2));
202     end;
203     procedure evento(ev1:string);
204     begin
205         jdf2d.memo1.Lines.Add(ev1);
206     end;
207
208     procedure TjDF2D.Abrir1Click(Sender: TObject);
209     begin
210         jinicio.abrir1.Click;
211     end;
212
213     procedure TjDF2D.AtivarbotodeModelagem1Click(Sender: TObject);
214     begin
215         btmd.Enabled := true;
216     end;
217
218     procedure TjDF2D.btmdClick(Sender: TObject);
219     var
220     mode:tmod2d;
221     begin
222         apagatemp;
223         if not(criatemp) then exit;
224
225         mode := tmod2d.Create(true);
226         mode.FreeOnTerminate := true;
227         // mode.Priority := tpNormal;
228         mode.Priority := tpTimeCritical;
```

```
229     mode.Resume;
230
231     // (tpIdle, tpLowest, tpLower, tpNormal, tpHigher, tpHighest, tpTimeCritical):
232
233
234     end;
235
236     procedure TjDF2D.Button1Click(Sender: TObject);
237     begin
238         mem01.Clear;
239     end;
240
241     procedure TjDF2D.Button2Click(Sender: TObject);
242     begin
243         showmessage (
244             inttostr(fig.Picture.Height)
245             );
246
247         showmessage (
248             inttostr(fig.Width)
249             );
250
251
252     end;
253
254     procedure TjDF2D.CemiChange(Sender: TObject);
255     begin
256         v.cc := editnn(cEmi,false)
257     end;
258
259     procedure TjDF2D.dChange(Sender: TObject);
260     begin
261
262         v.d := editnn(d,false)/1000;
263
264         vermalha;
265     end;
266
267     procedure TjDF2D.DifChange(Sender: TObject);
268     begin
269         v.dif := editnn(dif,false)*power(0.001,2)*1000;
270     end;
271
272     procedure TjDF2D.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
273     begin
274         apagatemp;
275     end;
276
277     procedure TjDF2D.FormShow(Sender: TObject);
278
279     begin
280         page.ActivePageIndex := 0;
281         imagens := tstringlist.Create;
282
283
284     end;
285
```

```
286 procedure TjDF2D.ParaChange(Sender: TObject);
287 begin
288 v.Para := editint(para,false);
289 end;
290
291 procedure TjDF2D.RadioVeloClick(Sender: TObject);
292 begin
293
294 //calcular vento
295 case radiovelo.ItemIndex of
296 0:Begin
297     v.ux := editnn(cux);
298     v.uy := editnn(cuy);
299 End;
300
301 1:begin
302     v.ux := editnn(cu1)*mcos(editnn(cg1));
303     v.uy := editnn(cu1)*msen(editnn(cg1));
304 end;
305
306 2:begin
307     v.ux := editnn(cu2)*mcos(angulo2(editnn(cg2)));
308     v.uy := editnn(cu2)*msen(angulo2(editnn(cg2)));
309 end;
310 end;
311
312 evento('Vento em X (m/s): ', v.ux);
313 evento('Vento em Y (m/s): ', v.uy);
314 evento;
315
316 v.ux := v.ux/1000;
317 v.uy := v.uy/1000;
318
319 end;
320
321 procedure TjDF2D.Salvar1Click(Sender: TObject);
322 begin
323 jinicio.Salvar1.Click;
324 end;
325
326 procedure TjDF2D.SalvarImagem1Click(Sender: TObject);
327 begin
328 if salvar.Execute then begin
329     fig.Picture.SaveToFile(salvar.FileName);
330
331 end;
332
333 end;
334
335 procedure TjDF2D.SalvarNovo1Click(Sender: TObject);
336 begin
337 jinicio.SalvarNovo2.Click;
338 end;
339
340 procedure TjDF2D.Sobre1Click(Sender: TObject);
341 begin
342 showmessage('Pluma21 [ Beta 50]'+#13#10+
```

```
343         'Luiz Henrique Rosa da silva'+#13#10+
344         'Criciúma, Novembro de 2011.'+#13#10+
345         'luizhsilva@yahoo.com.br');
346
347
348
349
350 end;
351
352 procedure TjDF2D.TempoChange (Sender: TObject);
353 begin
354     v.tempo := editnn(tempo,false);
355
356 end;
357
358 procedure TjDF2D.lTempoChange (Sender: TObject);
359 var
360     fft,fft1:string;
361
362 begin
363
364     try
365         fft1 := (imagens[ltempo.Position]);
366         fig.Picture.Graphic.LoadFromFile(etemp+fft1);
367         fft := copy(fft1,12,length(fft1)-11-4);
368         fft := formatfloat('#0.00',(strtofloat(fft)/3600))+ ' h';
369         hora.Caption := fft;
370
371         //ajustar escala
372         vd1 := fig.Picture.Width/fig.Width;
373         vd2 := fig.Picture.Height/fig.Height;
374
375         if vd1<vd2 then vd1:= vd2;
376
377         escala.Caption := formatfloat('#0.00',vd1*80*1000*v.d)+' m';
378
379         e100.Caption := floattostr(v.cc*1);
380         e75.Caption := floattostr(v.cc*0.75);
381         e50.Caption := floattostr(v.cc*0.5);
382         e25.Caption := floattostr(v.cc*0.25);
383         e0.Caption := floattostr(v.cc*0);
384
385
386         //0000000000A_526,110678098207.bmp
387     except
388
389     end;
390
391 end;
392
393 procedure TjDF2D.lTempoEnter (Sender: TObject);
394 begin
395     imagens.Clear;
396     try
397         listararquivos (eTemp,imagens);
398         ltempo.Max := imagens.Count;
399     except
```

```
400
401  end;
402
403
404  end;
405
406  procedure TjDF2D.vermalha;
407  begin
408    if editnn(xf)-editnn(xi)<=0 then exit;
409    if editnn(yf)-editnn(yi)<=0 then exit;
410    if editnn(d,false)=0 then exit;
411
412    i1 := trunc(2+(v.xf-v.xi)/v.d);
413    i2 := trunc(2+(v.yf-v.yi)/v.d);
414
415    memol.Lines.Add('Malha');
416    memol.Lines.Add('Linhas: '+inttostr(i1));
417    memol.Lines.Add('Colunas: '+inttostr(i2));
418    memol.Lines.Add('Pontos: '+inttostr(i1*i2));
419    memol.Lines.Add('Memoria para processo (MByte): '+formatfloat('0.00',((i1*i2*8*2)/(
420      1024*1024))));
421    memol.Lines.Add('Memoria para arquivamento (MByte): '+formatfloat('0.00',((i1*i2*8*
422      2)/(1024*1024))+(((i1*i2*4)+54)/(1024*1024))));
423
424    memol.Lines.Add(' ');
425
426  end;
427
428  procedure TjDF2D.xemiChange(Sender: TObject);
429  begin
430    v.cx := editnn(xEmi)/1000;
431  end;
432
433  procedure TjDF2D.xfChange(Sender: TObject);
434  begin
435    v.xf := editnn(xf)/1000;
436    vermalha;
437  end;
438
439  procedure TjDF2D.xiChange(Sender: TObject);
440  begin
441    v.xi := editnn(xi)/1000;
442    vermalha;
443  end;
444
445  procedure TjDF2D.yemiChange(Sender: TObject);
446  begin
447    v.cy := editnn(yEmi)/1000;
448  end;
449
450  procedure TjDF2D.yfChange(Sender: TObject);
451  begin
452    v.yf := editnn(yf)/1000;
453    vermalha;
454  end;
```

```
455 procedure TjDF2D.yiChange(Sender: TObject);  
456 begin  
457   v.yi := editnn(yi)/1000;  
458   vermelha;  
459 end;  
460  
461 end.  
462
```

```
1  unit Mod2d;
2
3  interface
4
5  uses aqMat, aqDF2D, math, SysUtils, Windows,
6       funcoes, ExtCtrls, classes;
7
8
9  type
10 tmod2d=class(TThread)
11     private
12         cx,cy:integer;
13         emix,emiy:integer;
14         vd:double;
15         Degrade :array of integer;
16         mt:array[0..1] of array of array of double;
17         plx,ply:double;
18
19         function criarmalha:boolean;
20         function contorna(id:integer):boolean;
21         procedure CriaDegrade(Cr0,cr50,cr100:integer);
22         constructor MontaMalha (fx,fy:integer); overload;
23         constructor MontaMalha (fx,fy:integer;Inicial:double); overload;
24
25         function Surf(id:integer;flocal:string;fmax,fmin:double;cor0,cor50,cor100:integer):
26             boolean;
27     public
28         procedure Execute; override;
29
30 end;
31
32 implementation
33
34     function tmod2d.criarmalha:boolean;
35     begin
36         try
37             self.cx := trunc((v.xf-v.xi)/v.d)+2;
38             self.cy := trunc((v.yf-v.yi)/v.d)+2;
39             self.montamalha(self.cx,self.cy);
40             result := true;
41         except
42             evento('Não foi possível montar malha!');
43             evento;
44             result := false;
45         end;
46     end;
47
48     function tmod2d.contorna(id:integer):boolean;
49     var
50         fi:integer;
51     begin
52         fi := 0;
53         while fi<self.cx do begin
54             self.mt[id,fi,0] := self.mt[id,fi,1];
55             self.mt[id,fi,self.cy-1] := self.mt[id,fi,self.cy-2];
56             inc(fi);
```

```
57     end;
58
59     fi := 0;
60     while fi<self.cy do begin
61         self.mt[id,0,fi] := self.mt[id,1,fi];
62         self.mt[id,self.cx-1,fi] := self.mt[id,self.cx-2,fi];
63     inc(fi);
64     end;
65
66     try
67         self.mt[id,self.emix,self.emiy] := v.cc;
68     except
69
70     end;
71
72
73 end;
74
75 //===== [ modelo
76     procedure tmod2d.Execute;
77     var
78         dt,dt1,dt2,dt3:double;
79         nt,dbar,dpr,rbar,rpr:integer;
80         fi,fi1,fi2,fi3:integer;
81         n,n1:integer;
82         px,py:integer;
83         dcux,dcuy:double;
84         vdd:integer;
85         sx,sy:integer;
86     begin
87         jdf2d.btmd.Enabled := false;
88
89         if not(self.criarmalha) then exit;
90
91         //criar dt
92         try
93             dt1 := (1/8)*(power(v.d,2)/v.dif);
94         except
95             dt1 := 0;
96         end;
97
98         try
99             dt2 := abs(v.d/v.ux);
100     except
101         dt2 := 0;
102     end;
103
104     try
105         dt3 := abs(v.d/v.uy);
106     except
107         dt3 := 0;
108     end;
109
110     if dt1<>0 then begin
111         dt := dt1;
112     end else begin
113         if dt2<>0 then begin
```

```
114         dt:= dt2;
115     end else begin
116         dt := dt3;
117     end;
118 end;
119
120
121 if (dt1<dt) and (dt1<>0) then dt:=dt1;
122 if (dt2<dt) and (dt2<>0) then dt:=dt2;
123 if (dt3<dt) and (dt3<>0) then dt:=dt3;
124
125 evento('Delta T (s): ',dt,true);
126 if dt=0 then exit;
127
128 nt := trunc((v.tempo*3600)/dt);
129 evento('Numero de iterações: ',nt);
130
131 dbar := nt div 10;
132 rbar := nt mod 10;
133
134 try
135     if nt<v.Para then v.Para := nt;
136
137     dpr := nt div v.Para;
138     rpr := nt mod v.Para;
139 except
140     v.Para := nt;
141     dpr := nt div v.Para;
142     rpr := nt mod v.Para;
143 end;
144
145 self.emix := trunc(((v.cx-v.xi)/(v.xf-v.xi))*self.cx);
146 self.emiy := trunc(((v.cy-v.yi)/(v.yf-v.yi))*self.cy);
147
148 self.contorna(0);
149 jdf2d.Barra.Position := 0;
150
151
152 plx := 0;
153 ply := 0;
154
155 fi := 0;
156 vdd := 0;
157
158
159 //inversão de de trazeira e frontais
160 try
161     sx := trunc(((v.ux/abs(v.ux))+1)) div 2;
162 except
163     sx := 0;
164 end;
165
166 try
167     sy := trunc(((v.uy/abs(v.uy))+1)) div 2;
168 except
169     sy := 0;
170 end;
```

```

171
172
173   while fi<=nt do begin
174
175     //inverte malha
176     n := vdd mod 2;
177     n1 := (vdd+1) mod 2;
178     inc(vdd);
179     //inverte malha
180
181
182
183     fil := 1;
184     while fil < self.cx-1 do begin
185       fi2 := 1;
186       while fi2<self.cy-1 do begin
187
188         mt[n1,fil,fi2] := (- (v.ux*(dt/v.d)*(mt[n,fil+sx,fi2]-mt[n,fil-1+sx,fi2]))
189           - (v.uy*(dt/v.d)*(mt[n,fil,fi2+sy]-mt[n,fil,fi2-1+sy]))
190           + v.dif*(dt/power(v.d,2))*
191           (mt[n,fil+1,fi2]+mt[n,fil-1,fi2]
192           - (4*mt[n,fil,fi2])+
193           mt[n,fil,fi2+1]+mt[n,fil,fi2-1]))
194           +mt[n,fil,fi2];
195
196         inc(fi2);
197       end;
198     inc(fil);
199   end;
200
201
202   self.contorna(n1);
203
204   if (fi-rbar)mod dbar = 0 then jdf2d.Barra.Position := (fi-rbar)div dbar;
205   if (fi-rpr)mod dpr = 0 then self.Surf(n1,inttohex(fi,10)+'_'+floattostr(dt*fi)+
206     '.bmp',
207
208
209
210
211
212
213   inc(fi);
214   end;
215
216
217
218
219   jdf2d.btmd.Enabled := true;
220
221   end;
222 //===== [ modelo
223
224 //===== [ Criar degrade
225   procedure tMod2d.CriaDegrade(Cr0,cr50,cr100:integer);

```

```

226     var
227     mestra:array[1..3] of array[1..3] of byte;
228     ft:string;
229     fi:integer;
230     begin
231     finalize(self.Degrade);
232     setlength(self.Degrade,101);
233
234     ft := inttohex(cr0,6);
235     mestra[1,1] := hexpoint(ft[1]+ft[2]);
236     mestra[1,2] := hexpoint(ft[3]+ft[4]);
237     mestra[1,3] := hexpoint(ft[5]+ft[6]);
238
239     ft := inttohex(cr50,6);
240     mestra[2,1] := hexpoint(ft[1]+ft[2]);
241     mestra[2,2] := hexpoint(ft[3]+ft[4]);
242     mestra[2,3] := hexpoint(ft[5]+ft[6]);
243
244     ft := inttohex(cr100,6);
245     mestra[3,1] := hexpoint(ft[1]+ft[2]);
246     mestra[3,2] := hexpoint(ft[3]+ft[4]);
247     mestra[3,3] := hexpoint(ft[5]+ft[6]);
248
249     //de 0 a 50
250     fi := 0;
251     while fi<50 do begin
252     self.Degrade[fi] := rgb(((mestra[2,1]-mestra[1,1])*fi div 50)+mestra[1,1],
253     ((mestra[2,2]-mestra[1,2])*fi div 50)+mestra[1,2],
254     ((mestra[2,3]-mestra[1,3])*fi div 50)+mestra[1,3]);
255     inc(fi);
256     end;
257
258     while fi<=100 do begin
259     self.Degrade[fi] := rgb(((mestra[3,1]-mestra[2,1])*(fi-50) div 50)+mestra[2,1],
260     ((mestra[3,2]-mestra[2,2])*(fi-50) div 50)+mestra[2,2],
261     ((mestra[3,3]-mestra[2,3])*(fi-50) div 50)+mestra[2,3
262     ]);
263     inc(fi);
264     end;
265     end;
266     //=====
267
268
269     //=====[surf
270     function tMod2d.Surf(id:integer;flocal:string;fmax,fmin:double;cor0,cor50,cor100:
integer):boolean;
271     var
272     fig :tImage;
273     cw,ch:integer;
274     fi1,fi2,fi3:integer;
275     begin
276     fig := tImage.Create(nil);
277
278
279     cw := self.cx;
280     ch := self.cy;

```

```
281
282
283   self.CriaDegrade(cor0,cor50,cor100);
284
285   fig.Width := cw;
286   fig.Height := ch;
287
288   fi1 := 1;
289   while fi1<=cw do begin
290     fi2 := 1;
291     while fi2<=ch do begin
292       fi3 := round((self.mt[id,fi1-1,fi2-1]-fmin)/(fmax-fmin)*100);
293       if fi3<0 then fi3 := 0;
294       if fi2>100 then fi3 := 100;
295       fig.Canvas.Pixels[fi1,1+ch-fi2] := self.Degrade[fi3];
296       inc(fi2);
297     end;
298     inc(fi1);
299   end;
300
301   fig.Picture.SaveToFile(etemp+flocal);
302
303   fig.Free;
304 end;
305 //===== [surf
306
307
308 //===== Criar
309 constructor tMod2d.MontaMalha (fx,fy:integer);
310 begin
311   finalize(self.mt[0]);
312   finalize(self.mt[1]);
313
314   setlength(self.mt[0],fx,fy);
315   setlength(self.mt[1],fx,fy);
316 end;
317
318
319
320 constructor tMod2d.MontaMalha (fx,fy:integer;Inicial:double);
321 var
322   fi1,fi2:integer;
323 begin
324   setlength(self.mt[0],fx,fy);
325   setlength(self.mt[1],fx,fy);
326
327   fi1 := 0;
328   while fi1<fx do begin
329     fi2 := 0;
330     while fi2<fy do begin
331       self.mt[0,fi1,fi2] := inicial;
332       inc(fi2);
333     end;
334     inc(fi1);
335   end;
336
337   fi1 := 0;
```

```
338  while fi1<fx do begin
339      fi2 := 0;
340      while fi2<fy do begin
341          self.mt[1,fi1,fi2] := inicial;
342          inc(fi2);
343      end;
344      inc(fi1);
345  end;
346
347  end;
348  //=====
349  end.
350
```