



**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**PMC 580/581
PROJETO MECÂNICO I/II**

Professor Orientador: Marcelo Massarani

*Marcel Utimura Sampy
Mauricio Monteiro da Rocha*

-1998-

APLICAÇÕES DE TURBINAS EÓLICAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM AGROINDÚSTRIAS



*São Paulo
Dezembro de 1998*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos de forma geral todos os que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho. Agradecimentos especiais à D. Ivone da Silva Leme e à D. Elza da Silva Leme pela atenção a nós dispensada durante as visitas técnicas realizadas em suas propriedades; aos engenheiros da CESP Reinaldo Alves Almança e Luís Tadeo Siqueira Prado pelas informações e materiais a nós disponibilizados; ao colega Jones Wen Shu da UNICAMP que muito nos ajudou na pesquisa de materiais bibliográficos; ao Engenheiro Eduardo Libreti de Almeida da General Motors do Brasil pelas sugestões fornecidas para o projeto estrutural; ao Engenheiro Renato Monteiro da Rocha pelo grande auxílio no levantamento de informações para o estudo de viabilidade e ao Professor Marcelo Massarani que como nosso orientador, nos acompanhou e forneceu diversas sugestões e diretrizes para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O presente relatório é a dissertação elaborada por Marcel Utimura Sampy e Mauricio Monteiro da Rocha ao longo do ano de 1998, como trabalho de graduação para a obtenção do título de Engenheiros Mecânicos.

Na primeira parte, é apresentado o estudo de viabilidade para a aplicação de turbinas eólicas como fonte alternativa de geração de energia elétrica para agroindústrias. Este estudo de viabilidade é iniciado por um levantamento dos potenciais agroindustrial e eólico nas cinco regiões brasileiras para a obtenção de locais onde se justifique o emprego de turbinas eólicas em agroindústrias. Estabelecida a necessidade, foram propostas quatro soluções diferentes de turbinas eólicas das quais uma foi a escolhida como mais adequada para suprir as necessidades de demanda energética de agroindústrias brasileiras. Concluindo o estudo, tem-se a análise do valor econômico da solução e alguns comentários a respeito do estudo desenvolvido.

Na segunda parte, tem-se o projeto básico da solução escolhida, no qual são dimensionados os principais sistemas que compõem um equipamento de geração de energia elétrica a partir da energia eólica: rotor, conjunto de potência, leme, estrutura e baterias. São ainda feitas considerações a respeito das interferências acústicas e eletromagnéticas que podem ocorrer nestes equipamentos. Finalizando o relatório, são realizados alguns comentários a respeito do projeto como um todo.

*Dedicamos este trabalho
aos nossos pais
por todo incentivo
e apoio que nos
foram dispensados nestes
difíceis anos de Universidade;
e aos nossos amigos que
nos acompanharam nesta
longa e árdua jornada.*

*Marcel Utimura Sampa
Mauricio Monteiro da Rocha*

**APLICAÇÕES DE TURBINAS EÓLICAS COMO FONTE
ALTERNATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
EM AGROINDÚSTRIAS**

**São Paulo
1998**

*Marcel Utimura Sampy
Maurício Monteiro da Rocha*

APLICAÇÕES DE TURBINAS EÓLICAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM AGROINDÚSTRIAS

*Dissertação Apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
a Obtenção do Título de
Engenheiros Mecânicos*

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica - Projeto e Fabricação**

**Orientador:
Professor Marcelo Massarani**

**São Paulo
1998**

ÍNDICE

1ª PARTE - ESTUDO DE VIABILIDADE

1. INTRODUÇÃO	5
2. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE	9
2.1 - O CONCEITO DE "AGRIBUSINESS".....	9
2.2 - O POTENCIAL AGROINDUSTRIAL NO BRASIL	11
2.2.1 <i>Introdução.....</i>	<i>11</i>
2.2.2 <i>O Potencial Agroindustrial das Regiões Brasileiras.....</i>	<i>13</i>
2.3 - A ENERGIA EÓLICA NA AGROINDÚSTRIA.....	29
2.4 - O POTENCIAL EÓLICO NO BRASIL	32
2.5 - VISITAS TÉCNICAS A AGROINDÚSTRIAS	56
2.5.1 <i>Introdução.....</i>	<i>56</i>
2.5.2 <i>Fazenda Harmonia.....</i>	<i>56</i>
2.5.3 <i>Fazenda São Judas.....</i>	<i>58</i>
2.5.4 <i>Fotos das instalações.....</i>	<i>62</i>
2.5 - CONCLUSÕES.....	72
2.5.1 <i>Áreas com altos potenciais agroindustrial e eólico.....</i>	<i>72</i>
2.5.2 <i>Escolha preliminar do tamanho da turbina eólica.....</i>	<i>79</i>
3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	80
3.1 - INTRODUÇÃO.....	80
3.2 - ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS.....	80
3.1.1 <i>De desempenho.....</i>	<i>80</i>
3.1.2 <i>De conforto.....</i>	<i>81</i>
3.1.3 <i>De segurança.....</i>	<i>81</i>
3.2 - ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS.....	82
3.2.1 <i>De durabilidade.....</i>	<i>82</i>
3.2.2 <i>De confiabilidade.....</i>	<i>82</i>
3.2.3 <i>De operação.....</i>	<i>82</i>
3.3 - ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS.....	83
3.3.1 <i>Da torre.....</i>	<i>83</i>
3.3.2 <i>Das pás.....</i>	<i>83</i>
3.3.3 <i>Do rotor.....</i>	<i>83</i>
4. PROPOSTA DAS SOLUÇÕES	84
4.1 - MATRIZ DE SOLUÇÕES.....	84
4.2 - ESTABELECIMENTO DAS POSSÍVEIS SOLUÇÕES	85

5. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES E EXEQUIBILIDADE FÍSICA.....	86
5.1 - SOLUÇÃO 1	86
5.2 - SOLUÇÃO 2	87
5.3 - SOLUÇÃO 3	88
5.4 - SOLUÇÃO 4	89
 6. VIABILIDADE ECONÔMICA DAS SOLUÇÕES	 90
6.1 - ESTABELECIMENTO DOS CRITÉRIOS	90
6.2 - ANÁLISE DAS SOLUÇÕES SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA	91
 7. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO	 93
7.1 - ESTABELECIMENTO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	93
7.2 - CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO	94
7.3 - DESCRIÇÃO DETALHADA DA SOLUÇÃO	95

2ª PARTE - PROJETO BÁSICO

8. PRINCÍPIOS DE PROJETO DE TURBINAS EÓLICAS.....	97
 9. PROJETO DO ROTOR.....	 99
9.1 PROJETO AERODINÂMICO.....	99
9.2 PROJETO ESTRUTURAL	120
9.2.1 Cálculo dos Esforços Solicitantes na Pá.....	120
9.2.1.1 Forças de ação aerodinâmica.....	120
9.2.1.2 Força centrífuga.....	132
9.2.1.3 Torque no eixo	137
9.2.1.4 Momento fletor na raiz da pá.....	138
9.2.2 Dimensionamento da Estrutura.....	139
9.2.2.1 Apresentação da Estrutura.....	139
9.2.2.2 Cálculo da Estrutura.....	142
9.2.3 Dimensionamento da Flange.....	148
9.2.4 Dimensionamento do Cubo.....	151
 10. PROJETO DO CONJUNTO DE POTÊNCIA	 154
10.1 SELEÇÃO DO MULTIPLICADOR DE ROTAÇÕES.....	154
10.1.1 Introdução.....	154

10.1.2 Procedimento de Seleção.....	155
10.2 DIMENSIONAMENTO DO MANCAL DE ESCORA DO EIXO.....	157
10.2.1 Seleção do Rolamento.....	157
10.2.2 Dimensionamento do Alojamento do Rolamento.....	161
10.2.2.1 Dimensionamento à força radial F_r	162
10.2.2.2 Dimensionamento à força axial F_a	163
10.3 ACOPLAMENTOS ELÁSTICOS	165
10.3.1 Introdução.....	165
10.3.2 Seleção do acoplamento.....	166
10.4 FREIO.....	168
10.4.1 Introdução.....	168
10.4.2 Dimensionamento do freio	169
10.4.2.1 Considerações preliminares.....	169
10.4.2.2 Conceitos básicos.....	171
10.4.2.3 Dimensionamento.....	174
10.4.3 Molas de Retorno.....	177
10.5 GERADOR	185
 11. PROJETO DO LEME	 186
 12. PROJETO ESTRUTURAL.....	 190
12.1 BASE	190
12.2 ACOPLAMENTO BASE-TORRE	196
12.3 TORRE.....	197
12.4 ESCADA E GUARDA CORPO	203
12.5 PLATAFORMA.....	205
 13. BATERIAS.....	 208
 14. CONSIDERAÇÕES SOBRE INTERFERÊNCIA ACÚSTICA E ELETROMAGNÉTICA.....	 211
14.1 INTRODUÇÃO.....	211
14.2 INTERFERÊNCIA ACÚSTICA	211
14.3 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA	214
 15. CONCLUSÕES FINAIS	 217
 16. BIBLIOGRAFIA.....	 218

- 1ª PARTE -
ESTUDO DE VIABILIDADE

1. INTRODUÇÃO

Estudos constataam que a mais primitiva utilização da **energia eólica**¹ foi a vela para a propulsão de barcos. Posteriormente, surgiram na Idade Média os moinhos de vento para moer grãos e produzir farinha, que até hoje são muito utilizados na Europa.

Na Idade Contemporânea, as formas renováveis de energia passaram por um período de grande interesse e estímulo entre o final dos anos 70 e início dos 80, quando várias instituições e grupos de pesquisa colocaram em prática diversos projetos nessa área. Este surto de tentativas no sentido de montar equipamentos capazes de gerar energia elétrica a partir do vento e outras formas não convencionais iniciou-se com a elevação dos preços do petróleo com a crise de 1973, quando diversos países passaram a adotar políticas de conservação de energia e de desenvolvimento de novas tecnologias para o aproveitamento de fontes de energia alternativas ao petróleo. No entanto, com o desaquecimento de estudos sobre o assunto e a posterior redução dos preços internacionais do petróleo, houve uma certa retração nas expectativas sobre tais fontes.

¹ de *EOLOS*: Deus do Vento do Pantheon da Grécia Antiga

Durante a ECO 92, no Rio de Janeiro, o Capítulo 9 da Agenda 21, estabeleceu por consenso ser insustentável a maneira pela qual a energia é atualmente produzida e consumida, tendo sido fortemente recomendado o uso eficiente de recursos energéticos renováveis.

O Brasil até cerca de duas décadas atrás, esteve afastado destas tecnologias em função da abundância de potencial hidrelétrico a ser explorado nas suas diversas bacias hidrográficas, como a do Rio Paraná e a do Rio São Francisco. Tal fato permitiu que a nossa matriz energética fosse estruturada na sua maior parte em torno deste potencial hidrelétrico e que a distribuição da energia elétrica fosse feita através de um sistema interligado, permitindo estender tal distribuição até locais muito distantes das usinas geradoras.

A existência destes grandes potenciais hidrelétricos permitiu o desenvolvimento mais acelerado dos estados da Região Sudeste em especial do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, os quais são servidos por um complexo sistema de transmissão e distribuição, reunido em uma grande rede estável e controlada.

Durante os governos militares, iniciou-se a busca de alternativas tendo em vista o esgotamento da maior parte destes potenciais hidrelétricos, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Uma das iniciativas

desenvolvidas pelos governos militares foi utilização da energia nuclear para fins pacíficos, dentre os quais se inclui a geração de energia elétrica. Esta opção se justificava pela grande reserva de minerais radioativos mapeados no território, principalmente de urânio e tório. Infelizmente, o programa não teve o sucesso esperado, e das oito usinas previstas para serem construídas como parte do Acordo Brasil-Alemanha, nenhuma chegou a ser construída. A única usina nuclear construída que se encontra em operação, a Usina Nuclear de Angra I, no município de Angra dos Reis (RJ), foi montada com equipamentos americanos, sendo anterior ao acordo Brasil-Alemanha. Há ainda mais duas usinas nucleares em Angra dos Reis (Angra II e Angra III), cujas obras encontram-se paralisadas. Talvez ainda seja cedo para afirmar que a energia atômica deixará de ser utilizada em definitivo no Brasil. O que ocorre é que existe atualmente uma forte tendência por buscas de fontes alternativas de energia que não causem tantos danos ao meio ambiente e riscos de acidente.

As forças políticas organizadas em torno da conservação do meio ambiente adquiriram tal importância que, em todo mundo, qualquer projeto de instalação industrial de grande porte será objeto de minuciosas investigações para assegurar a proteção ao meio ambiente e a utilização dos recursos naturais renováveis. Sendo a energia a base de

todo sistema industrial, o seu aproveitamento e consumo será um dos aspectos mais importantes dentro destas investigações.

Dentre as formas alternativas de geração de energia elétrica (solar, eólica, marés), a eólica é uma das que produzem um dos menores impactos ambientais. O mesmo pode ser dito quando a energia eólica é comparada com as formas convencionais de geração: a queima de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão, xisto betuminoso, ou gás natural, por aumentarem a emissão de gases poluentes para a atmosfera; as hidrelétricas, por causarem o alagamento de imensas áreas, e a nuclear, por riscos de vazamentos, acidentes e armazenamento de lixo atômico.

A tecnologia empregada nos equipamentos de geração eólica vem evoluindo muito nos últimos anos a ponto de atualmente atingir uma escala mundial de produção, tendo se destacado neste mercado empresas da Dinamarca, Alemanha, Inglaterra, Holanda, Austrália e Estados Unidos, estando situado neste último o maior parque gerador de energia elétrica a partir do vento.

2. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

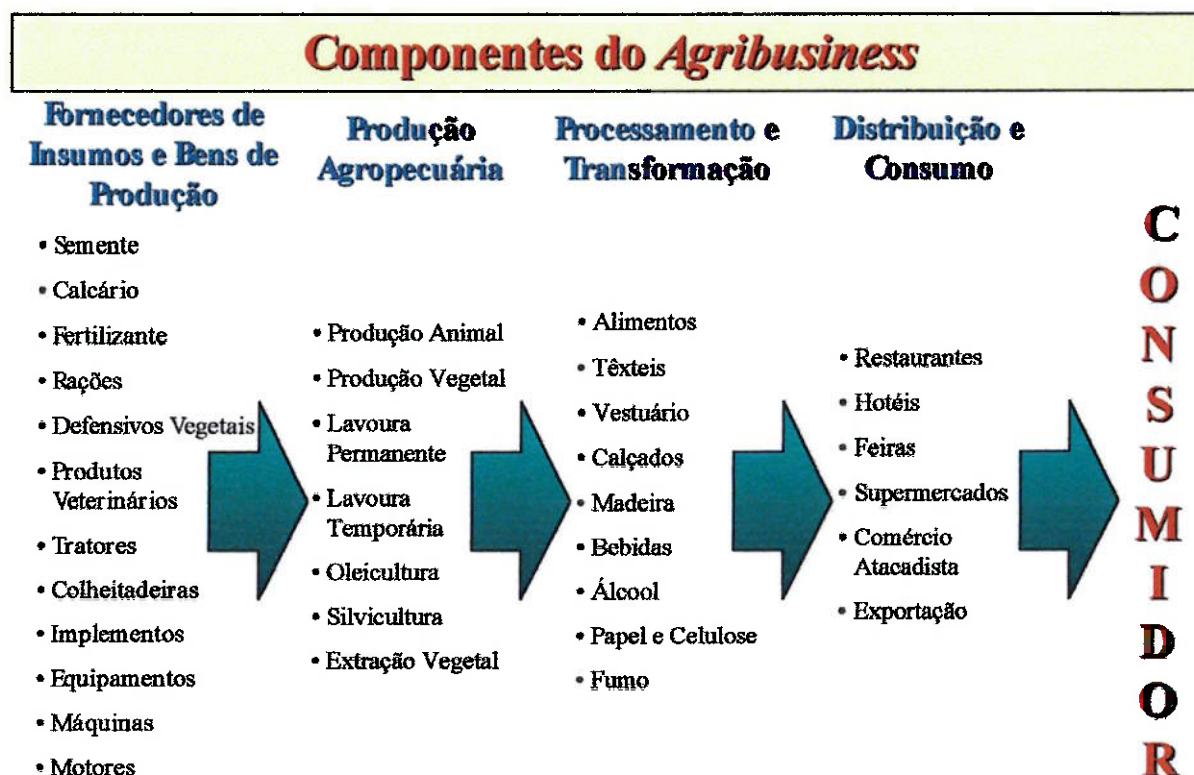
2.1 - O CONCEITO DE "AGRIBUSINESS"

Foi estudando as transformações e a reestruturação da agricultura que os economistas norte-americanos Ray Goldberg e John H. Davis, em 1957 cunharam o termo **agribusiness**, internacionalmente conhecido e aceito. Resultado do esforço para definir os novos sistemas de produção que chegavam ao campo, o neologismo incorpora em seu conceito os agentes que imprimem dinâmica a cada elo da cadeia que sai do mercado de insumos e fatores de produção ("antes da porteira"); passa pela unidade rural produtiva ("dentro da porteira"); e vai até o processamento, transformação e distribuição ("depois da porteira"). Portanto, pela conceituação de Goldberg e Davis, o *agribusiness* é **"a soma total das operações de produção e distribuição de suprimentos agropecuários; as operações de produção nas unidades rurais (sítios e fazendas); e o armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agropecuários e itens produzidos por eles"**. Dessa forma, o *agribusiness* engloba os fornecedores de bens e serviços à agricultura, aos produtores rurais (sitiantes, fazendeiros, parceiros, meeiros etc.), aos processadores, transformadores (indústrias) e distribuidores (supermercados e

varejistas em geral) envolvidos na geração e no fluxo dos produtos agropecuários até o consumidor final. Participam também neste complexo os agentes que afetam e coordenam o fluxo dos produtos, tais como o governo, os mercados, as entidades financeiras e de serviços. Com base na conceituação acima, pode-se classificar as funções do *agribusiness* em sete níveis, a saber:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1. Suprimentos à produção | 5. Armazenamento |
| 2. Produção | 6. Distribuição |
| 3. Transformação | 7. Consumo |
| 4. Acondicionamento | |

Os três segmentos do *agribusiness* ("antes, dentro e fora da porteira") são compostos dos seguintes elementos:



O *agribusiness* é desta forma, uma corrente onde cada componente é um elo e tem sua importância relativa e sem sua participação a corrente se rompe. O *agribusiness* pode ser comparado a uma fábrica, cujo gerente é o mercado e o dono é o consumidor.

2.2 - O POTENCIAL AGROINDUSTRIAL NO BRASIL

2.2.1 Introdução

Há aproximadamente trinta e sete anos, ou seja, desde 1961, o *agribusiness* brasileiro vem apresentando um desempenho notadamente excepcional, gerando consideráveis saldos para a balança comercial, através da exportação de produtos básicos e semi-manufaturados (derivados de soja, carne de frango, fumo, café, açúcar e suco de laranja, entre outros), superando de forma substancial as importações de produtos agropecuários e agro-industriais.

No período 1961-71, o superávit comercial do *agribusiness* cresceu de três bilhões para cerca de cinco bilhões de dólares ao ano, enquanto as atividades não agropecuárias, sempre apresentaram o registro de um déficit anual que oscilou entre três e onze bilhões de dólares. Logo, o resultado da balança comercial foi negativo no final do período. Entre

os anos de 1971-83, o setor produtivo brasileiro não vinculado às diversas atividades agropecuárias, continuaram apresentando saldo negativo, enquanto que o *agribusiness* seguiu firmemente a rota de saldos anuais positivos na balança comercial, alcançando somente no exercício de 1983, mais de nove bilhões de dólares de superávit.

Posteriormente, de 1984-94, graças à inúmeras medidas de política econômica, as atividades não integrantes do bloco agropecuário, passaram a apresentar um certo superávit. Isso entretanto não veio a influenciar o desempenho do *agribusiness* que por sua vez continuou a gerar saldos positivos, em média de nove bilhões de dólares anuais.

De 1994 até o presente momento, apesar da forte concorrência internacional, o *agribusiness* brasileiro vem revelando ser extremamente competitivo e eficiente, gerando saldos da ordem dos dez bilhões de dólares por exercício.

2.2.2 O Potencial Agroindustrial das Regiões Brasileiras

REGIÃO SUDESTE

A região Sudeste detém a maior variedade de agroindústrias no Brasil e é responsável por boa parte de tudo o que é produzido pelo setor agroindustrial no País. Dentre as principais agroindústrias existentes na Região Sudeste, podem ser destacadas:

Cana de açúcar

- Tipo de agroindústria: usinas para a produção de açúcar e álcool
- Regiões de maior concentração: Centro-Norte de São Paulo e Centro-Leste de Minas Gerais.
- Porcentagem na produção nacional: 55,9%.

Café

- Tipo de agroindústria: torrefação, moagem e empacotamento
- Regiões de maior concentração: interior de São Paulo, Centro-Sul de Minas Gerais e Noroeste do Espírito Santo
- Porcentagem na produção nacional: 66,7%

Algodão

- Tipo de agroindústria: descaroçamento e beneficiamento de algodão
- Regiões de maior concentração: Noroeste de São Paulo e Triângulo Mineiro
- Porcentagem na produção nacional: 39,7%

Trigo

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de trigo
- Regiões de maior concentração: Centro do Estado de São Paulo
- Porcentagem na produção nacional: 5,5%.

Milho

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de milho
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul e Noroeste de São Paulo e Centro-Norte de Minas Gerais
- Porcentagem na produção nacional: 31,0%.

Laranja

- Tipo de agroindústria: produção de suco de laranja
- Regiões de maior concentração: Centro-Norte de São Paulo e de Minas Gerais e Região Serrana do Rio de Janeiro
- Porcentagem na produção nacional: 83,4%.

Feijão

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul e Noroeste de São Paulo e Centro-Norte de Minas Gerais
- Porcentagem na produção nacional: 24,0%.

Arroz

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Triângulo Mineiro
- Porcentagem na produção nacional: 9,0%.

Pecuária Leiteira

- Tipo de agroindústria: laticínios de pequeno e médio porte
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste de São Paulo, Vale do Paraíba, Centro-Sul de Minas Gerais, todo o Estado do Rio de Janeiro e Sul do Espírito Santo
- Porcentagem na produção nacional: não se aplica, pois foram levados em conta apenas laticínios voltados à produção para o consumo regional.

Avicultura

- Tipo de agroindústria: granjas
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais
- Porcentagem na produção nacional: 36,0%

REGIÃO SUL

A Região Sul destaca-se pelo seu grande potencial agroindustrial, sendo líder em diversos segmentos desta indústria. Dentre as principais agroindústrias existentes na Região Sul, podem ser destacadas:

Café

- Tipo de agroindústria: torrefação, moagem e empacotamento
- Regiões de maior concentração: Norte do Paraná
- Porcentagem na produção nacional: 13,5%

Algodão

- Tipo de agroindústria: descaroçamento e beneficiamento de algodão
- Regiões de maior concentração: Norte do Paraná
- Porcentagem na produção nacional: 34,9%

Trigo

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de trigo
- Regiões de maior concentração: Centro do Paraná, Centro-Oeste de Santa Catarina e todo o Estado do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 84,0%.

Soja

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de soja
- Regiões de maior concentração: Centro do Paraná, Centro-Oeste de Santa Catarina e Centro-Sul do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 44,00%

Milho

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de milho
- Regiões de maior concentração: Centro-Norte do Paraná, Sul de Santa Catarina e Centro do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 39,9%.

Fumo

- Tipo de agroindústria: secagem e beneficiamento das folhas de tabaco
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul do Paraná, Centro de Santa Catarina e Centro-Leste do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 81,90%.

Feijão

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Sul do Paraná, Leste e Oeste de Santa Catarina e Noroeste do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 16,7%.

Arroz

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Sul do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 29,0%.

Erva Mate

- Tipo de agroindústria: beneficiamento de folhas de erva mate
- Regiões de maior concentração: espalhadas por todos os estados da Região
- Porcentagem na produção nacional: 97,0%.

Pecuária Leiteira

- Tipo de agroindústria: laticínios de pequeno e médio
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul do Paraná, Oeste e Leste de Santa Catarina e Nordeste do Rio Grande do Sul
- Porcentagem na produção nacional: não se aplica, pois foram levados em conta apenas laticínios voltados à produção para o consumo regional.

Avicultura

- Tipo de agroindústria: granjas
- Regiões de maior concentração: Centro-Norte de Santa Catarina
- Porcentagem na produção nacional: 29,0%

Madeira

- Tipo de agroindústria: madeireiras
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul do Paraná e Centro-Norte de Santa Catarina
- Porcentagem na produção nacional: 10,0%

REGIÃO NORDESTE

A região Nordeste já provou com algumas experiências isoladas de sucesso que, com modernas técnicas de irrigação, pode-se transformar o sertão semi-árido em áreas férteis e altamente produtivas. A solução da maior parte dos graves problemas sócio-econômicos da região podem ser encontradas em incentivos governamentais e programas de desenvolvimento neste sentido. No setor agroindustrial, podem ser destacadas as seguintes culturas na Região Nordeste:

Cana de açúcar

- Tipo de agroindústria: usinas para a produção de açúcar e álcool
- Regiões de maior concentração: região litorânea desde o norte da Bahia até a Paraíba.
- Porcentagem na produção nacional: 22,3%.

Cacau

- Tipo de agroindústria: produção de derivados de cacau
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul da Bahia
- Porcentagem na produção nacional: 86,00%.

Café

- Tipo de agroindústria: torrefação, moagem e empacotamento
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul da Bahia
- Porcentagem na produção nacional: 8,5%

Algodão

- Tipo de agroindústria: descaroçamento e beneficiamento de algodão
- Regiões de maior concentração: Norte da Bahia, Centro dos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.
- Porcentagem na produção nacional: 34,9%

Fumo

- Tipo de agroindústria: secagem e beneficiamento das folhas de tabaco
- Regiões de maior concentração: Recôncavo baiano e Centro de Alagoas
- Porcentagem na produção nacional: 11,4%.

Feijão

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste da Bahia, todo o Sergipe, Centro de Alagoas e Centro de Pernambuco
- Porcentagem na produção nacional: 14,17%.

Arroz

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Centro Norte do Maranhão
- Porcentagem na produção nacional: 12,5%.

Laranja

- Tipo de agroindústria: produção de suco de laranja
- Regiões de maior concentração: Centro Norte do Maranhão
- Porcentagem na produção nacional: 12,5%.

Fruticultura

- Tipo de agroindústria: produção de frutas tropicais para mercado interno e exportação
- Regiões de maior concentração: diversos pólos de produção espalhados por toda a região. O Programa de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada no Nordeste lançado no pólo Petrolina-Juazeiro prevê o desenvolvimento de 15 destes pólos.
- Porcentagem : este programa prevê que a longo prazo, a Região Nordeste será responsável por 50% da produção mundial de frutas tropicais e por cerca de 25% da produção de frutas temperadas e tropicais.

Babaçu

- Tipo de agroindústria: produção de derivados de babaçu
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste do Maranhão
- Porcentagem na produção nacional: 75,0%.

Carnaúba

- Tipo de agroindústria: produção de derivados de carnaúba
- Regiões de maior concentração: Centro-Norte do Piauí e Norte do Ceará
- Porcentagem na produção nacional: 46,0%

Pecuária Leiteira

- Tipo de agroindústria: laticínios de pequeno e médio porte
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste de Alagoas e Pernambuco
- Porcentagem na produção nacional: não se aplica, pois foram levados em conta apenas laticínios voltados à produção para o consumo regional.

Avicultura

- Tipo de agroindústria: granjas
- Regiões de maior concentração: espalhados por quase toda a zona litorânea
- Porcentagem na produção nacional: 21,0%

Madeira

- Tipo de agroindústria: madeireiras
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul da Bahia
- Porcentagem na produção nacional: 11,0%

REGIÃO NORTE

A região Norte é pouco explorada em termos agrícolas quando comparada com a sua vasta extensão territorial. Na década de 70, o governo militar criou diversos incentivos e programas de ocupação agrícola da região, que entretanto foram abandonados por governos posteriores. O grande destaque da região com relação ao seu potencial agroindustrial atual está nas atividades relacionadas ao extrativismo vegetal. As principais atividades agro-industriais desenvolvidas são:

Cacau

- Tipo de agroindústria: produção de derivados de cacau
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste do Pará e algumas regiões de Rondônia
- Porcentagem na produção nacional: 10,40%.

Pecuária Leiteira

- Tipo de agroindústria: laticínios de pequeno e médio porte
- Regiões de maior concentração: Regiões Metropolitanas de Belém e Manaus, Ilha de Marajó
- Porcentagem na produção nacional: não se aplica, pois foram levados em conta apenas laticínios voltados à produção para o consumo regional.

Avicultura

- Tipo de agroindústria: granjas
- Regiões de maior concentração: Regiões Metropolitanas de Belém e Manaus
- Porcentagem na produção nacional: 5%

Madeira

- Tipo de agroindústria: madeireiras
- Regiões de maior concentração: espalhadas pelo interior da região
- Porcentagem na produção nacional: 50,0%

Borracha

- Tipo de agroindústria: extração e beneficiamento do látex
- Regiões de maior concentração: espalhadas pelo interior da região
- Porcentagem na produção nacional: 99,0%

Castanha do Pará

- Tipo de agroindústria: empacotamento, beneficiamento e produção de derivados da castanha do Pará
- Regiões de maior concentração: Centro-Leste do Pará e algumas regiões isoladas do Acre e do Amazonas
- Porcentagem na produção nacional: 86,0%

REGIÃO CENTRO-OESTE

A Região Centro-Oeste é a que possui o maior potencial agrícola no Brasil, principalmente na criação de gado de corte e leiteiro e na produção de grãos. Este potencial entretanto, ainda não se encontra totalmente aproveitado. Atualmente, tem-se presenciado o surgimento de uma infinidade de agroindústrias na região, o que contribuirá ao longo dos próximos anos, para um melhor aproveitamento deste potencial. Dentre as principais agroindústrias existentes na Região Centro-Oeste, podem ser destacadas:

Algodão

- Tipo de agroindústria: descaroçamento e beneficiamento de algodão
- Regiões de maior concentração: Sul de Goiás
- Porcentagem na produção nacional: 3,9%

Trigo

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos; produção de derivados de trigo
- Regiões de maior concentração: Leste do Mato Grosso do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 8,0%.

Soja

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos e produção de derivados de soja
- Regiões de maior concentração: Leste do Mato Grosso do Sul, Centro Sul de Goiás e Leste do Mato Grosso
- Porcentagem na produção nacional: 37,60%

Milho

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos e produção de derivados de milho
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul de Goiás e Centro do Mato Grosso do Sul
- Porcentagem na produção nacional: 12,0%.

Arroz

- Tipo de agroindústria: empacotamento e beneficiamento de grãos
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul de Goiás e Centro do Mato Grosso do Sul e Sul do Mato Grosso
- Porcentagem na produção nacional: 20,6%.

Pecuária Leiteira

- Tipo de agroindústria: laticínios de pequeno e médio porte
- Regiões de maior concentração: Sul de Goiás
- Porcentagem na produção nacional: não se aplica, pois foram levados em conta apenas laticínios voltados à produção para o consumo regional.

Avicultura

- Tipo de agroindústria: granjas
- Regiões de maior concentração: Centro-Sul de Goiás
- Porcentagem na produção nacional: 8,0%

2.3 - A ENERGIA EÓLICA NA AGROINDÚSTRIA

Como foi visto anteriormente, a indústria do *agribusiness* vem se desenvolvendo fortemente nos últimos anos em diversas regiões do Brasil. e, atualmente, existe um vasto potencial agroindustrial instalado e ainda por ser aproveitado em todas as regiões do Brasil.

A atividade agroindustrial emprega diversos tipos de tecnologias e equipamentos, implicando num alto consumo de energia elétrica. Para suprir esta demanda, comumente são encontrados geradores Diesel ou então o fornecimento de energia é obtido pelas redes de distribuição

convencionais. Seja qual for o tipo de fornecimento utilizado, ambos apresentam inconvenientes. Os geradores Diesel, consomem uma grande quantidade de combustível, além de emitir altos índices de ruídos e poluentes. Além disso, os componentes sofrem um desgaste significativo e existem custos relativamente elevados com manutenção e suprimento de óleo Diesel (proveniente do petróleo, fonte em vias de esgotamento para os próximos cinquenta anos). Quanto à utilização da rede, os inconvenientes podem ser os altos custos de fornecimento devido às tarifas praticadas pelas concessionárias do setor de energia elétrica. Além disso, há a dependência governamental para a construção de novas usinas e redes de transmissão nos locais mais remotos, ainda desprovidos de fornecimento regular de energia elétrica.

A utilização de turbinas eólicas em propriedades agroindustriais representam uma alternativa com inúmeras vantagens, dentre as quais podemos destacar:

- consiste numa fonte inesgotável de energia que apenas depende do regime dos ventos
- fácil implementação
- baixo desgaste: as peças em movimento abrangem na sua maioria eixos e rotores sustentados por rolamentos
- independência de fontes externas e limitadas de combustível (como o óleo Diesel, por exemplo)

- manutenção simples: devido ao baixo desgaste, a vida útil das peças é longa e a manutenção se reduz na maior parte em lubrificações periódicas dos componentes.
- impacto ambiental praticamente inexistente: não envolve alterações no relevo, não há a presença de subprodutos tóxicos ou poluentes e os impactos visuais e sonoros são muito baixos.
- dispensa investimentos elevados em obras civis, sem causar desequilíbrios ambientais, tais como o represamento de grandes volumes de água ou emissão de poluentes.

Além da geração de energia elétrica para agroindústrias, é possível ainda listar uma série de outras aplicações da energia eólica, a saber:

- energização de estações retransmissoras de telecomunicações
- eletrificação em regiões insulares
- bombeamento de água para irrigação e para salinas
- sinalização náutica
- navegação de cabotagem (pequenas embarcações)

Obviamente, esta forma de energia apresenta também seus inconvenientes, tais como a instabilidade dos ventos (atuação, direção e velocidade), baixas densidades energéticas, interferência com sinais de transmissão e potenciais ruídos.

Devido a esses aspectos desfavoráveis, faz-se necessário um estudo completo da região onde se pretende implantar o aerogerador. Este estudo compreende um prévio levantamento do regime dos ventos das localidades consideradas, condições de relevo, correntes atmosféricas e equipamentos de conversões energéticas, além de uma análise de sua viabilidade econômica quando comparada a outras fontes energéticas disponíveis na região estudada.

2.4 - O POTENCIAL EÓLICO NO BRASIL

Com base nos mapas de velocidades médias, potências médias brutas, calmarais e velocidades máximas para cada uma das regiões brasileiras presentes no **ANEXO 1**, estabeleceu-se uma análise detalhada do perfil do potencial eólico em cada uma destas regiões que vem a seguir:

REGIÃO SUDESTE

A Região Sudeste apresenta um relevo acidentado, muitas vezes chegando até o litoral e formando uma verdadeira muralha que interfere de maneira geral na atuação e velocidade dos ventos pois serve na maioria dos casos, como obstáculo. Por outro lado, isto pode beneficiar a circulação regional, aumentando as velocidades locais dos ventos, como no caso das áreas localizadas a barlavento, sobre topográficas

elevadas, ou quando a própria disposição do relevo canaliza os ventos, agindo como um verdadeiro túnel de ventos.

Quando se analisa o mapa de isolinhas de velocidade média da Região Sudeste, verifica-se que de um modo geral, estas não apresentam valores elevados em virtude da já mencionada interferência do relevo montanhoso desta região, o qual se origina nas monumentais escarpas junto ao mar que, avançando para o interior, se transformam em maciços ou blocos compartimentados e geralmente basculados para oeste. Conjugado à presença do relevo, deve-se levar em consideração a circulação atmosférica regional, cujos ventos dominantes são oriundos do Anticiclone Tropical Atlântico, atingindo a região como ventos de Nordeste e Leste. A esta direção dominante dos ventos contrapõe-se a presença de maciços e cristas, servindo como obstáculo reduzindo portanto, a sua velocidade. Algumas áreas entretanto, se sobressaem apresentando velocidades médias mais elevadas, o que está correlacionado à sua localização em relação ao relevo e à circulação atmosférica regional. Entre elas, destacam-se primeiramente a região de Vitória (3,5 m/s), em cujo litoral se estende vasta uma planície litorânea; a região de Cabo Frio (3,71 m/s) que se situa no litoral do Estado do Rio de Janeiro, ocorre uma mudança de direção dos ventos: de Oeste-Leste para Sudoeste-Nordeste (os ventos oriundos do Anticiclone Tropical Atlântico atingem esta área da mesma forma que os ventos de Nordeste, com velocidade média de 6,13 m/s e é este

encontro de massas que ocasiona a mudança); a Ilha Guaíba, também no litoral do Estado do Rio de Janeiro, onde os ventos Nordeste e/ou Norte, de velocidade de 10 m/s sopram constantemente na parte da manhã resultando numa velocidade média mais elevada do que as áreas próximas, como Angra dos Reis. Estes ventos de velocidade elevada são oriundos da dinâmica atmosférica regional associada ao relevo da área: os ventos Nordeste e/ou Norte, oriundos do Anticiclone Tropical Atlântico se juntam à brisa terrestre de madrugada e, pela manhã, são acelerados pela disposição do relevo, pois ao Norte da área em estudo, a Serra do Mar se dispõe de Nordeste para Sudoeste, formando um verdadeiro túnel de ventos em virtude da presença do Maciço de Gericinó situado a Leste desta região; e, por fim no interior, destacam-se no Sudoeste de Minas Gerais as áreas de Bom Despacho (4,39 m/s) e São Roque de Minas (5,07 m/s), cujas velocidades médias mais elevadas relacionam-se ao seu posicionamento em áreas que se situam a barlavento, sobre planalto ou serra. As áreas de velocidades mais baixas (2,5 a 3,5 m/s) estão situadas a sotavento do relevo compartimento do Sudeste como é o caso do Centro-Sul de Minas Gerais e do médio baixo Vale do Rio Paraíba. Também com velocidades da ordem de 3,0 m/s, estão as regiões do Centro-Norte e Noroeste paulista e Centro-Norte de Minas Gerais especialmente ao longo do Rio São Francisco.

A distribuição da potência média bruta, como está condicionada à velocidade dos ventos, assemelha-se, a grosso modo, à das velocidades médias. Porém, no caso da análise das potências médias brutas na Região Sudeste, em virtude de sua posição latitudinal, os avanços e passagens de fortes frentes frias são de relevante importância. Isto porque estas frentes provocam quando de seus avanços em direção ao Equador, ventos muito fortes, quer sejam pré-frontais, quer oriundos da própria massa polar. E, como para o cálculo da potência média bruta leva-se em conta, não a velocidade média, e sim todas as velocidades registradas e a Região Sudeste está sujeita o ano todo à atuação da massa polar, determinadas áreas retratam a existência destes ventos ligados às perturbações frontais. Assim, toda a orla litorânea apresenta valores superiores a 30 Wh/m^2 , excetuando-se os litorais norte e sul paulistano, pois estas regiões estão sujeitas às perturbações frontais durante todo o ano. No Espírito Santo, os valores de potência média bruta decrescem para o interior, destacando-se a área de Vitória com $103,42 \text{ Wh/m}^2$. No Estado do Rio de Janeiro, a potência média bruta decresce também do litoral para o interior em virtude do relevo, ou seja, tem-se um registro mais elevado do potencial eólico no litoral e à barlavento da Serra do Mar estando os registros menores a sotavento. No litoral, destacam-se entretanto a região de Cabo Frio e a Ilha Guaíba, pelos motivos já expostos, com respectivos $89,03 \text{ Wh/m}^2$ e $79,59 \text{ Wh/m}^2$ de potência média bruta. Quanto a Minas Gerais, como as frentes frias apresentam durante quase todo o ano um trajeto mais ao

longo dos litorais paulista, fluminense e capixaba, em função do relevo mineiro, os valores de um modo geral oscilam de 7 a 21 Wh/m², excetuando-se nas regiões favorecidas pelo fato de se encontrarem a barlavento e/ou sobre serras e planaltos, como é o caso de Bom Despacho (93,49 Wh/m²) e São Roque de Minas (129,79 Wh/m²). As estações meteorológicas situadas em vale, cujo direcionamento coincide com a direção dos ventos predominantes locais, canalizando-os, registram potência média bruta superior a 30 Wh/m² como em Itatinga (37,17 Wh/m²), Janaúba (36,27 Wh/m²), Juiz de Fora (39,71 Wh/m²), São Simão (43,29 Wh/m²) e Três Marias (34,63 Wh/m²). No Estado de São Paulo, ao relevo conjuga-se a atuação das perturbações frontais. Assim, os valores de uma maneira geral, decrescem do litoral para o interior. Porém no vale do Paraíba, a região da Bacia de Taubaté-Tremembé, apresenta um maior potencial eólico, pelo fato desta Bacia Sedimentar estar enquadrada entre as Serras do Mar e Mantiqueira, com a direção Sudoeste-Nordeste. Quando da passagem de fortes frentes frias, os ventos soprando, ora como pré-frontais do quadrantes Norte, ora oriundos da própria massa polar vindos do quadrante Sul, são canalizados pelo relevo da região, acelerando-os. Isto explica o potencial eólico de 55,12 Wh/m² registrado em São José dos Campos. Na Depressão Paulista, destaca-se Campinas com 58,61 Wh/m² de potência média bruta. No Planalto Ocidental Paulista, por se tratar de uma grande cuesta, cujo reverso inclina-se em direção ao vale do Rio Paraná, na borda Leste ele apresenta um potencial eólico mais elevado,

como é o caso de Jaú ($41,86 \text{ Wh/m}^2$) e São Carlos ($50,35 \text{ Wh/m}^2$), que se localizam a barlavento e sobre a escarpa da cuesta. À medida que se encaminha para o vale do Rio Paraná, o potencial eólico vai diminuindo, tornando-se inferior a 21 Wh/m^2 por se encontrar toda esta região a sotavento, no reverso da cuesta. Nesta área, somente Urubupungá apresenta um potencial eólico um pouco mais elevado ($35,21 \text{ Wh/m}^2$), por se encontrar no vale do Rio Paraná, cuja direção Sudoeste-Nordeste, canaliza os ventos fortes oriundos da massa polar.

No que se refere às calmarias, no Espírito Santo elas diminuem para o Norte e aumentam para o interior (Vitória 29,72% e Alegre 51,29%). No Estado do Rio de Janeiro, as calmarias crescem do litoral Nordeste e Leste, onde apresentam uma frequência menor do que 30% (Campos 29,19% e Cabo Frio, 24,11%) para o interior, atingindo em Santo Antônio de Pádua, no vale do Rio Pombo, afluente do rio Paraíba do Sul, com 60,15% de frequência média. Já o litoral sul fluminense, apresenta uma frequência de calmarias mais elevada, como o demonstra Angra dos Reis, com 44,97% de participação. Em Minas Gerais, predominam valores entre 40 e 50% de frequência média, sobressaindo-se Cambuquira com 50,50% e Belo Horizonte com 49,57%. Porém, as calmarias diminuem para Nordeste apresentando índices de frequência menores do que 10% no vale do São Francisco, como é o caso de Três Marias com 0,22%, Pirapora 0,41%, São Francisco, 1,84% e Mogambinho, 3,57%. Já para Sudoeste, a frequência de calmarias

aumenta atingindo valores entre 20 e 30%, como é o caso de Uberaba com 28,42% de frequência média. Em São Paulo, as calmarias diminuem do litoral (Ubatuba, 52,83%) para o interior, atingindo valores menores do que 20% no Planalto Ocidental Paulista, como é o caso de Catanduva com 19,50% e Urubupungá com 19,61%, esta já no vale do Rio Paraná. Porém, no interior, a Sudoeste, na região de Avaré, ocorre um aumento do percentual de calmarias, com uma frequência média de 40,35%.

Quanto às velocidades máximas, em virtude da atuação maior das massas polares nesta região, principalmente nas áreas litorâneas, os valores entre 15 e 20 m/s são comuns. No Espírito Santo os valores dos ventos máximos vão de 10 m/s em São Gabriel da Palha, a Nordeste do Estado, a 18,01 m/s em Vitória. No Estado do Rio de Janeiro os valores variam de menos de 10 m/s, a sotavento da Serra do Mar, até 20,58 m/s em Santa Cruz no litoral. Em Minas Gerais, também, oscilam de menos de 10 m/s, no interior, até 20,58 m/s em Uberaba. Já em São Paulo, embora os valores, também, sejam menores do que 10 m/s em algumas regiões do interior, no conjunto, eles são mais elevados do que nos outros estados analisados, uma vez que a atuação das massas polares nesta área é mais frequente e mais intensa do que nas outras analisadas. Assim encontram-se rajadas de até 25,72 m/s (Santos) e 28,81 m/s (São José dos Campos).

REGIÃO SUL

A velocidade média dos ventos nesta região como um todo, não é muito elevada (de 2 a 2,5 m/s) e o relevo tem uma grande influência sobre a mesma. No Paraná, as áreas de maior velocidade média estão nas partes em que os planaltos associam a altitude a um relevo tabular, como é o caso das regiões de Cascavel e Ponto Grossa, ou no caso de Curitiba, que se situa sobre uma bacia sedimentar terciária, sobre o Planalto Cristalino Atlântico. O litoral paranaense não apresenta velocidades elevadas porque as estações meteorológicas ali existentes encontram-se no interior da Baía de Paranaguá e a Serra do Mar dispõe-se como uma grande muralha paralela ao litoral, servindo de barreira aos ventos oceânicos. Em Santa Catarina, as maiores velocidades médias aparecem nas áreas de relevo elevado, acima de 1.000 metros de altura, como é o caso das regiões de São Joaquim e de Fraiburgo. O litoral neste Estado apresenta-se como uma área de velocidade média mais elevada, pois em Santa Catarina a Serra do Mar, bastante rebaixada e trabalhada pela erosão, não interfere nos ventos oceânicos, a não ser localizadamente. No Rio Grande do Sul, as áreas de maior velocidade média estão a Sudoeste, na regiões de: Uruguaiana; Santa Maria, localizada na Depressão Central do Rio Grande do Sul, o que facilita o escoamento do vento dominante local que é de Leste; Bagé, pela sua posição no extremo sul do Brasil, e pelo relevo suave sujeito aos constantes avanços da massa polar; Porto Alegre, devido sua

proximidade do litoral e predominância de ventos de Sudeste; e litoral. As menores velocidades médias no Brasil meridional aparecem a Sudoeste do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Oeste e Norte do Rio Grande do Sul, que são regiões localizadas a sotavento de planaltos e reverso de cuestas, além litoral paranaense onde, como já foi mencionado, a Serra do Mar disposta paralelamente ao litoral vai servir de barreira aos ventos oceânicos.

Quanto à potência média bruta, como se leva em consideração em seu cálculo, não a velocidade média, mas sim a velocidade de cada horário plotado, os ventos de grande velocidade que ocorrem na Região Sul e que estão associados ao avanço de fortes frentes frias, vão se refletir, também, nos valores da potência média bruta. Assim, esses valores vão aparecer não só condicionados à posição geográfica da estação meteorológica correlacionada ao relevo, como também à sua latitude. Como o eixo principal da massa polar pode ser localizado medianamente, na altura do rio da Prata, a Região Sul sofre bastante interferência desta massa de ar e, de acordo com sua potencialidade, pode gerar ventos máximos de até 29,28 m/s de velocidade. Em virtude de sua posição geográfica, estes ventos máximos são mais fortes e constantes no Rio Grande do Sul lá se encontrando portanto, uma constância maior de valores mais elevados da potência média bruta.

Na distribuição de calmarias nota-se que de uma maneira geral, elas apresentam uma frequência relativamente baixa, inferior a 20% em todo Oeste do Paraná e do Rio Grande do Sul e em quase todo o Estado de Santa Catarina, aparecendo inferior a 10% mesmo no Sudoeste do Rio Grande do Sul. Os valores mais elevados aparecem a Sudoeste do Paraná (superior a 40%) e na parte central do Paraná (superior a 30%) e estão relacionadas ao posicionamento destas regiões, a sotavento de cuestras ou planaltos.

- Em relação às velocidades máximas, o Oeste e Sul do Estado do Paraná apresentam ventos com velocidades máximas entre 10 e 20 m/s. O restante do Estado aparece com ventos máximos inferiores a 10 m/s. Os locais de maior velocidade máxima estão na região de Londrina e Foz do Iguaçu, que apresentam rajadas de 29,28 m/s e 20,58 m/s, respectivamente. No primeiro caso, a presença de ventos fortes deve estar ligada à sua posição em área planáltica, sujeita ao avanço das fortes frentes frias que ocorrem na Região Sul. No caso da Foz do Iguaçu, sua posição no vale do Rio Paraná, que neste trecho aparece com a direção Norte-Sul, facilita a penetração dos ventos do setor Sul, que acompanham as massas polares. Em Santa Catarina dominam os valores de ventos máximos entre 10 e 20 m/s. No Rio Grande do Sul, a Noroeste e Oeste, dominam valores de ventos máximos inferiores a 10 m/s; a Nordeste e Centro-Leste, valores entre 10 e 20 m/s. As áreas que apresentam ventos de velocidade

máxima são as regiões de Panambi, Santa Maria, Campanha Gaúcha e o litoral Leste. Panambi apresenta fortes ventos (20 m/s) pela sua posição em área planáltica tabular, Santa Maria (23,15 m/s), por se encontrar na Depressão Central do Rio Grande do Sul e a Campanha Gaúcha (Bagé 25,72 m/s e Uruguaiana 25,72 m/s), pela sua posição latitudinal associada ao relevo suave da planície e coxilhas, pois como já foi descrito anteriormente, esta área e todo o litoral (Porto Alegre 20,58 m/s, Mostardas e Tramandaí 20 m/s) sofrem muita interferência da massa polar, cujo eixo principal pode ser localizado, medianamente na altura do Rio da Prata. Os avanços constantes da Massa Polar, de acordo com sua potencialidade, podem, portanto, gerar ventos máximos superiores a 20 m/s.

REGIÃO NORDESTE

As velocidades médias dos ventos no Nordeste Setentrional, ou seja, do Maranhão ao Rio Grande do Norte tendem a diminuir do Norte para o Sul, isto é, do litoral para o interior, o que é decorrente da interferência do relevo. Em alguns casos, surgiram ilhas de menor velocidade ou de maior velocidade no interior. No primeiro caso, deve-se à posição da estação meteorológica à sotavento de um relevo mais proeminente e, no segundo caso, à situação da estação meteorológica sobre um relevo bastante elevado. Assim, no Maranhão e Piauí, a velocidade média dos

ventos decresce de 5m/s no litoral até 1m/s no interior, aparecendo Teresina como uma ilha de menor velocidade média no vale do Parnaíba (0,41 m/s). Já o Estado do Ceará chama atenção pela pouca variação da velocidade média do vento. Ela decresce de 4,3 m/s em Fortaleza, no litoral, para 3,5 m/s no interior, aparecendo, no entanto, uma ilha de maior velocidade a Sudoeste do estado, em Campos Sales (4,31 m/s), pela sua posição geográfica sobre a Serra Grande a 583 metros de altitude. No Rio Grande do Norte, o vento decresce de 6 m/s do litoral norte para 3m/s no Sul do estado. No litoral oriental do Nordeste a velocidade média se eleva do litoral até o planalto de Borborema, com valores que variam de 3 m/s até 4 m/s, desde o Rio Grande do Norte até Sergipe. A seguir, os valores decrescem em direção ao sertão, atingindo 2,5 m/s. Na Bahia, até a região de Salvador, os valores decrescem para o interior, de 4 m/s para 2,5 m/s, com exceção de Jacobina, que apresenta uma velocidade média de 4,6 m/s por se encontrar à barlavento da Chapada Diamantina, a 484 metros de altitude. Já no Sul da Bahia, a velocidade média cresce do litoral (2 m/s) para Nordeste em direção ao Planalto Baiano (Vitória da Conquista, 3,7 m/s) e do prolongamento da Serra do Espinhaço (Catité, 4,06 m/s), para depois novamente decrescer para o interior no Sertão Baiano, atingindo 1,44 m/s em Bom Jesus da Lapa. Finalmente, chama-se a atenção para o fato do litoral maranhense e do litoral setentrional do Rio Grande do Norte apresentarem as maiores

velocidades médias do Nordeste. Tal fato é decorrente da direção dos ventos locais apresentar-se associada à direção do litoral.

Os maiores valores de potência média bruta encontram-se no litoral setentrional do Nordeste e eles decrescem do litoral para o interior. No Maranhão, o potencial decresce de 123,07 Wh/m² em Alcântara, no litoral, para 5,91 Wh/m² em Carolina, no Sudoeste do Maranhão. No Piauí, a potência média bruta diminui de 80,35 Wh/m² em Parnaíba para 4,33 Wh/m² em Teresina, no vale do Parnaíba, crescendo para o Sul e mantendo valores entre 7 e 21 Wh/m² no Centro-Sul do Estado. No Ceará, o potencial eólico vai de 117,31 Wh/m² em Fortaleza até 63 Wh/m² no Sul do Estado, com uma elevação da potência média bruta em Campos Sales (96,76 Wh/m²) a Sudoeste do Estado, em virtude de sua posição geográfica, a 583 metros de altura sobre a Serra Grande. No Rio Grande do Norte, os valores da potência média bruta vão de 230,64 Wh/m² em Galinhos, no litoral setentrional, até 35 Wh/m² no Sul do Estado. Já no Nordeste Oriental, com exceção do Rio Grande do Norte, de uma maneira geral, os valores decrescem do litoral para o interior. Assim, da Paraíba até Alagoas, os valores que estão acima de 45 Wh/m² no litoral (Recife - 47,11 Wh/m² decrescem em direção à área sertaneja até 21 Wh/m²). No interior, constituem exceções Campina Grande, na Paraíba, com 51,48 Wh/m² e Surubim em Pernambuco, com 48,68 Wh/m². Este aumento do potencial eólico em duas áreas do interior deve-se à sua posição sobre o Planalto da Borborema, sendo que Campina Grande encontra-se a 547 metros e

Surubim a 418 metros de altitude. Já em Sergipe, os valores aumentam de Nordeste (49 Wh/m^2) para o Sul (77 Wh/m^2). Na Bahia, até o Recôncavo Baiano os valores diminuem do litoral para o interior. Eles vão de $96,34 \text{ Wh/m}^2$ em Salvador até valores inferiores a 21 Wh/m^2 no sertão. Já no Sul da Bahia, tem-se um esquema inverso: os valores aumentam do litoral ($25,91 \text{ Wh/m}^2$) em Caravelas para o interior, atingindo $54,43 \text{ Wh/m}^2$ em Vitória da Conquista, situada sobre o Planalto Baiano, a 893 metros de altura, e $79,19 \text{ Wh/m}^2$ em Caetité, localizada sobre a Serra do Espinhaço, a 882 metros de altura. A seguir os valores diminuem para Oeste em direção ao sertão baiano, atingindo valores inferiores a 21 Wh/m^2 (Barreiras, $7,86 \text{ Wh/m}^2$).

Na distribuição das calmarias, nota-se que no Nordeste Setentrional elas aumentam do litoral para o interior. No Maranhão e Piauí elas apresentam uma frequência média de 10% no litoral, aumentando em direção ao vale do Parnaíba, onde alcançam 86,32% de frequência média em Teresina, em função da posição geográfica local. A seguir, os valores declinam em direção a Sudoeste, para novamente se elevar no extremo Sudoeste do Maranhão, atingindo 70,10% em Carolina. No Ceará, o percentual de calmarias em todo o Estado não é elevado, mantendo-se entre 10 e 20% sua frequência média. No Rio Grande do Norte, as calmarias elevam-se do litoral norte, de frequência média menor que 10%, a valores entre 10 e 20% no restante do Estado. O Nordeste Oriental, abrangendo desde o Rio Grande do Norte até Sergipe

apresenta percentuais de calmarias entre 10 e 20%. O aumento das calmarias nesta área está mais ligado a fatores locais, tais como posição a sotavento de relevo proeminente, no caso das localidades mais interiorizadas. Na Bahia, as calmarias aumentam do litoral, onde apresentam uma frequência média de 20%, para o interior excetuando o litoral sudeste. O valor mais elevado aparece em Ituaçu, com 50,22% com o restante do interior alcançando uma frequência média entre 40 e 50%. O litoral sudeste apresenta uma frequência maior de calmarias (39,02% em Caravelas), diferindo do restante do litoral baiano, por constituir uma área onde normalmente as frentes frias já tropicalizadas costumam estacionar ou entrar em frontólise durante a maior parte do ano.

Quanto aos ventos máximos, predominam os valores entre 10 e 20 m/s, destacando-se as estações meteorológicas de Alcântara e São Luiz, no Maranhão, com ventos máximos de 19,00 e 18,01 m/s respectivamente, provenientes da atuação da Convergência Intertropical. Caravelas na Bahia, possui rajadas de 18,52 m/s, oriundas dos avanços de fortes frentes frias que atingem o litoral baiano, principalmente no outono e inverno.

Concluindo o estudo sobre a Região Nordeste, será feita uma análise em separado do Arquipélago de Fernando de Noronha, dada sua condição peculiar de arquipélago, situado a nordeste do litoral oriental

nordestino. A velocidade média dos ventos em Fernando de Noronha variam de 3,67 m/s a 10,5 m/s. A velocidade média mais baixa é da estação meteorológica de Fernando de Noronha e tem como causa sua localização geográfica. O aeroporto de Fernando de Noronha, onde se situa esta estação meteorológica, localiza-se, praticamente no centro da ilha e é circundado por morros, sendo que o mais elevado está a sudeste, com 210 metros de altura. Como os ventos dominantes locais são de Sudeste e o aeroporto fica a sotavento, tem-se como resultado uma redução na velocidade dos ventos que alcançam esta estação meteorológica. A potência média bruta vai apresentar um comportamento semelhante e varia de 647,83 Wh/m² no litoral oriental a 54,25 Wh/m² na estação meteorológica de Fernando de Noronha, pela mesma razão analisada no caso da velocidade média. As calmarias só aparecem na estação meteorológica de Fernando de Noronha com um percentual de 9,59% de frequência média. Os ventos máximos variam de 24 m/s na Ponta de Santo Antônio, no litoral nordeste, a 15 m/s em Fernando de Noronha.

REGIÃO NORTE

A maior parte da Região Norte não apresenta um bom potencial eólico, embora o relevo da Região Amazônica mostra-se favorável à atuação dos ventos, uma vez que a Região é formada pela Bacia Sedimentar do Amazonas que apresenta-se superficialmente como uma grande planície de topografia aparentemente homogênea. Esta planície está contida entre as estruturas dos escudos cristalinos. Ao Norte, o Escudo das Guianas e, ao Sul, o Escudo Brasileiro. Estes escudos apresentam relevos planálticos, extremamente pediplanados e nivelados com os terrenos sedimentares. A parte ocidental do Planalto das Guianas é que vai corresponder aos relevos mais elevados da Região, denominados de Serras Ocidentais. Esta grande superfície aplainada que deveria ser favorável à atuação dos ventos, encontra-se entretanto revestida pela maior floresta tropical do mundo. Esta imensa cobertura florestal vai interferir sobre os ventos regionais e locais, agindo como obstáculo, reduzindo a sua velocidade a valores mínimos. Esta floresta, associada à circulação atmosférica regional é responsável também pelo elevado índice de calmarias registrado na maior parte da região. A Convergência Intertropical (CIT) que atua praticamente durante quase todo ano sobre a região provoca instabilidade, fazendo cessar os movimentos horizontais do ar, substituindo-os pelas correntes convectivas (correntes de subida e descida do ar), que redundam em grande instabilidade e calmaria. Porém, esta mesma instabilidade origina a

formação de enormes nuvens *cumulus nimbus* sobre a área e, conseqüentemente, fortes aguaceiros precedidos de rajadas de ventos muito fortes, podendo mesmo atingir mais de 23 m/s.

No que se refere à velocidade média dos ventos da Região Norte esta apresenta de maneira geral, valores baixos em virtude do que já foi mencionado. Analisando a distribuição da velocidade média nota-se que ela diminui, a grosso modo, do Norte e do Sul para o Centro da região e de Leste para Oeste. As áreas de menor velocidade situam-se: no Leste do Pará, na região de Marabá (1,20 m/s); a Sudeste do Amazonas e Sudoeste do Pará, na região de Jacareacanga (0,50 m/s); a Sudoeste do Acre (Cruzeiro do Sul apresenta velocidade média de 0,82 m/s). Outra área que apresenta também um potencial eólico muito baixo (até 1 m/s) é o Nordeste de Tocantins, mais precisamente no vale do Rio Tocantins, pois os seus ventos locais são oriundos do Anticiclone Tropical Atlântico, chegando aí de Nordeste e de Leste, sendo barrados, portanto, pelas chapadas nordestinas, que atuam em sua velocidade, reduzindo-a. Já os valores de velocidade média aumentam: para o Norte, em direção ao Planalto das Guianas, onde além do relevo mais elevado, a vegetação de floresta à Nordeste do Estado de Roraima, é substituída pela vegetação de campos limpos, apresentando, também, algumas manchas de campos no norte deste Estado; para Sudeste de Rondônia também há um aumento progressivo de velocidade média, em virtude da elevação do relevo e da substituição da floresta pelo cerrado; para

Nordeste, onde os valores crescem em direção ao litoral, principalmente na foz do Rio Amazonas.

Assemelhando-se à distribuição de velocidade média, potência média bruta aumenta para o Norte em direção ao Planalto das Guianas, para o Nordeste em direção ao litoral e para o Sul em direção ao Planalto Brasileiro. Distingue-se uma área de maior potencialidade do que as áreas ao redor na região de Santarém, Monte Alegre e Taperinha, onde a floresta equatorial é substituída por uma mancha de campos. Tracoatena, embora localizada próximo ao litoral, apresenta uma diminuição local na potência média bruta, porém não foi possível precisar o motivo, pois só um reconhecimento local poderia apresentar solução para tal fato. Encontram-se ainda as áreas de menor potência média bruta localizadas no Sudoeste do Pará e Sudeste do Amazonas, a Leste do Pará e a Oeste do Amazonas e do Acre.

No que se refere às calmarias, elas apresentam um percentual que aumenta do Norte para o Sudoeste do Pará e Sudeste do Amazonas. Este aumento está ligado ao relevo e a interiorização da região. A partir desta área, os índices tendem a diminuir em direção aos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Outra área em que elas se apresentam mais elevadas é no Vale do Tocantins, alcançando uma frequência média de 70% (Pedro Afonso 72,43%). Este elevado índice de calmarias no alto vale do rio Tocantins está associado à própria configuração do vale,

inserido entre duas áreas serranas e ao relevo de chapadões do Maranhão que barram os ventos dominantes locais, que são dos setores Nordeste e Leste. Como já foi dito, o aumento do índice de calmarias de Roraima para o Sudeste do Amazonas e Oeste do Acre, se faz em função do relevo, ou seja, da descida da área planáltica do Escudo das Guianas para a Bacia Sedimentar Amazônica. E do Nordeste do Pará para o Sudoeste deste Estado, há o aumento das calmarias resultante do afastamento do litoral, pois o relevo aí é todo formado pela Bacia Sedimentar do Amazonas. A diminuição do percentual de calmarias em direção à Roraima e Mato Grosso está correlacionada à elevação gradativa do relevo cristalino, passando de superfícies aplainadas a superfícies mais elevadas, como a Chapada dos Parecis. A região do Alto Rio Negro aparece com um índice de calmarias mais elevado em relação às áreas ao redor, e este fato deve estar relacionado à grande instabilidade da área dominada por correntes convectivas da ação constante da Convergência Intertropical (CIT).

Analisando as isolinhas de velocidades máximas, verifica-se que há um aumento destas velocidades em direção ao litoral. Porém, os ventos mais fortes são os que se apresentam no médio vale do rio Amazonas e a Oeste, no alto vale. Esta região está sujeita o ano todo às incursões da Convergência Intertropical (CIT), que provoca grande instabilidade, formação de nuvens *cumulus nimbus* e temporais. As maiores velocidades aparecem a Sudeste da região, em Porto Velho, área de

ocorrência das correntes de Oeste, que podem se instabilizar bastante nesta área pela presença de baixas pressões dinâmicas associadas a avanços de frentes frias, no inverno, quando as mesmas possuem um trajeto pelo interior. E no verão, uma associação da Baixa do Chaco com as baixas dinâmicas das frentes frias, já agora percorrendo mais próximas do litoral. Essas baixas provocam ondulações nas correntes de Oeste e grande instabilidade, o que gera aguaceiros, acompanhados de fortes ventos.

REGIÃO CENTRO-OESTE

A Região Centro-Oeste, apesar de sua vasta extensão e de seu relevo planáltico, apresenta um potencial eólico baixo por quase toda sua área, excetuando-se as regiões mais elevadas do Planalto Goiano e a parte Centro-Meridional do Planalto da Bacia do Paraná. Este baixo potencial eólico é resultante da interiorização da Região, associada à disposição do relevo e à dinâmica atmosférica regional.

Quando se analisa o mapa de isolinhas de velocidades médias, nota-se que há um predomínio de ventos na faixa de velocidade de 1 a 2 m/s. Em Goiás, predominam os ventos de Leste e Nordeste, oriundos do Anticiclone Tropical Atlântico, que já chegam aí bastante enfraquecidos pela sua interiorização e pelo atrito com o relevo do Planalto Atlântico.

Em Mato Grosso, predominam ventos do quadrante norte, oriundos da Massa Equatorial, ventos do quadrante Norte oriundos da Massa Equatorial Continental, que pela sua origem continental, proporciona ventos de fraca velocidade. Através do mapa, distingue-se uma área no sentido Leste-Oeste, abrangendo o Leste de Mato Grosso e oeste de Goiás com ventos muito fracos, pois sua velocidade é inferior a 1 m/s. Tal fato parece estar correlacionado à associação da dinâmica atmosférica regional com a posição geográfica desta área, que se localiza a sotavento dos planaltos que dominam o Estado de Mato Grosso e tem suas escarpas voltadas para a Planície do Pantanal mato-grossense. No Oeste goiano, o fato parece estar ligado às elevadas áreas planálticas do Sudeste de Goiás, que barram os ventos de Leste e Sudeste, que são os ventos predominantes regionais. As áreas de maior velocidade média situam-se: a sudeste de Goiás, no Planalto Goiano, a barlavento da Serra dos Pirineus em Brasília, condicionada pelo relevo elevado desta área (acima de 1.000 metros de altitude) e no Centro-Sul de Mato Grosso do Sul. A maior velocidade dos ventos nesta região está ligada à atuação da massa polar, que no seu avanço para as latitudes mais baixas, os ventos por ela formados têm sua penetração nesta região facilitada pelo relevo aplainado dos Pampas argentinos e do Chaco paraguaio, bem como pelo reverso da cuesta formada pelo Planalto da Bacia do Paraná, e a Nordeste de Mato Grosso, pela presença do Planalto dos Parecis.

A potência bruta predominante na Região Centro-Oeste apresenta valores inferiores a 21 Wh/m^2 (entre 4 e 21 Wh/m^2), excetuando-se três áreas: Noroeste de Mato Grosso, que apresenta potência média bruta superior a 35 Wh/m^2 , em virtude da presença da Chapada dos Parecis; Sudeste de Goiás, também, em função da altitude, que aí ultrapassa 1.000 metros de altura e a potência média bruta dos 2 ventos em Anápolis registra $48,90 \text{ Wh/m}^2$; Centro-Sul de Mato Grosso do Sul, onde alcança $85,99 \text{ Wh/m}^2$ em Campo Grande. Nesta região, o maior potencial eólico está ligado à dinâmica atmosférica regional associada ao relevo da área. Esta região é sujeita a incursões da massa polar, cujos ventos atingem livremente esta área, pois em seu avanço para o norte, a massa polar para atingi-la, não encontra barreira de relevo, uma vez que avança sobre os Pampas argentinos e Chaco paraguaio, até atingir o reverso da cuesta formada pelo Planalto da Bacia do Paraná.

No que se refere às calmarias, a região apresenta em sua maior parte, valores entre 50 e 60% de frequência média. Outras áreas que apresentam elevada frequência média são as localizadas a sotavento de relevos, como Goiás, que está a sotavento da Serra Dourada e Rio Verde, a sotavento da Serra das Divisões: Goiânia, por se encontrar em um vale embutido na encosta da Serra dos Pirineus; Aragarças, localizada no limite de Goiás com Mato Grosso, por se encontrar em um vale rodeado de chapadões que atingem 800 até mesmo 1.000 metros

de altitude; e Poxoréo, em Mato Grosso, que embora se localize em uma área planáltica, encontra-se cercado por chapadões mais elevados, que interferem na ação dos ventos locais. As áreas que registram menor índice de calmarias na Região Centro-Oeste são: a Noroeste de Mato Grosso, pela presença da Chapada dos Parecis; o Sudeste goiano, pela sua altitude, que aí ultrapassa 1.000 metros de altitude; e o Leste do Pantanal Matogrossense e o sul de Mato Grosso do Sul, em virtude da dinâmica atmosférica regional associada ao relevo. Como já foi relatado ao analisar a distribuição das velocidades médias, a atuação mais acentuada da massa polar associada a um relevo favorável, permite uma boa ventilação nesta área, e, portanto, um reduzido índice de calmarias.

Analisando-se as velocidades máximas do vento da Região Centro-Oeste, verifica-se que em quase toda a Região elas estão em torno de 10 m/s, com exceção de algumas áreas. Estas são: o Sudeste goiano, onde os ventos máximos atingem 20 m/s, em função da área serrana que ultrapassa 1.000 de altitude, Corumbá (19 m/s) em Mato Grosso, em virtude dos aguaceiros de verão provocados pela Baixa do Chaco associada a baixas dinâmicas formadas pelas frentes frias; e o Centro-Sul do Mato Grosso do Sul, que apresenta ventos máximos entre 10 e 20 m/s, ultrapassando mesmo 20 m/s em Campo Grande (20,58 m/s), pela atuação constante das massas polares na região, principalmente

no inverno, soprando estes fortes ventos ora como pré-frontais, ora oriundos da própria massa polar.

2.5 - VISITAS TÉCNICAS A AGROINDÚSTRIAS

2.5.1 Introdução

A fim de se realizar um levantamento completo das necessidades de energia elétrica em uma agroindústria típica, foram visitadas duas fazendas no Vale do Paraíba voltadas para a criação de gado leiteiro. Nestas visitas, foram verificados quais os equipamentos instalados além do tempo e forma de utilização diários dos mesmos.

2.5.2 Fazenda Harmonia

- a) **Data da Visita:** 02 de Maio de 1.998
- b) **Localização:** km 83 da Rodovia Ayrton Senna (SP-70) no Município de Santa Branca, SP
- c) **Proprietária:** D. Ivone da Silva Leme
- d) **Tamanho da Propriedade:** 400 alqueires
- e) **Atividades Desenvolvidas:** pecuária intensiva de gado bovino de corte e leiteiro, com produção diária de 2.000 l/dia

f) Instalações:**•Estábulos**

Total de três, contendo os seguintes equipamentos:

- ⇒ 1 ordenhadeira mecânica: motor de 7,5CV (WEG), com capacidade para a ordenha simultânea de 16 vacas
- ⇒ 1 bomba d'água (limpeza): motor de 2,0CV (WEG)
- ⇒ 1 geladeira: 25kW (Alfa Laval)
- ⇒ 1 aquecedor de água ("boiler"): 400kWh

• Esterqueira

- ⇒ 1 motor de 20CV (WEG)

• Picadeira de Capim

- ⇒ 1 motor de 20CV (WEG)

g) Utilização das Instalações: São realizadas duas coletas diárias de leite na ordenhadeira mecânica, durando cada uma das coletas de 20 a 30 minutos. São utilizados ainda os equipamentos para a limpeza (bomba d'água e aquecedor). A picadeira e a esterqueira são utilizadas diariamente por 8 horas. Há ainda instalações residenciais (sede, escritório e casa dos funcionários).

- h) **Demanda mensal de energia elétrica:** Verificando o histórico da demanda de energia elétrica na Fazenda Harmonia nos meses compreendidos entre abril de 1997 e abril de 1998, apurou-se um valor médio aproximado de **30kW/mês**, o que representa uma despesa média com fornecimento de energia elétrica de **R\$ 1.000,00**.

2.5.3 Fazenda São Judas

- a) **Data da Visita:** 09 de Maio de 1.998
- b) **Localização:** km 83 da Rodovia Ayrton Senna (SP-70) no Município de Santa Branca, SP
- c) **Proprietária:** D. Elza da Silva Leme
- d) **Tamanho da Propriedade:** 60 alqueires
- e) **Atividades Desenvolvidas:** pecuária intensiva de gado leiteiro e agroindústria de beneficiamento de leite (laticínio), cuja produção diária (empacotamento) é de 8000l.
- f) **Instalações:**
- **Estábulo**
Um estábulo para a ordenha mecanizada, com os seguintes equipamentos:
 - ⇒ 1 ordenhadeira mecânica: motor de 7,5CV (WEG), com capacidade para a ordenha simultânea de 16 vacas
 - ⇒ 1 bomba d'água (limpeza): motor de 2,0CV (WEG)

⇒ 1 geladeira: 25kW (Alfa Laval)

⇒ 1 aquecedor de água ("*boiler*"): 400kWh

- Esterqueira

⇒ 1 motor de 20CV (WEG)

- Picadeira de Capim

⇒ 1 motor de 20CV (WEG)

- Laticínio

Uma sala de pasteurização e empacotamento com os seguintes equipamentos:

⇒ 2 geladeiras de 1.400 l: 25kW (Alfa Laval)

⇒ 2 empacotadeiras: consumo de 2,8 kW (capacidade de 100 l/h)

⇒ 1 desnatadeira: motor de 0,75CV (WEG)

⇒ 1 pasteurizador: motor de 3CV (WEG)

⇒ 1 bomba d'água: motor de 2CV (WEG)

Uma casa de máquinas, contendo os seguintes equipamentos:

- ⇒ 2 compressores Shultz de 5HP
- ⇒ 2 compressores Schultz de 7,5 HP
- ⇒ 1 agitador
- ⇒ 2 aquecedores (*boiler*) de 400kWh
- ⇒ 2 condensadores

Um laboratório, com os seguintes equipamentos:

- ⇒ 1 centrífuga de 220W
- ⇒ 2 geladeiras de 3kW
- ⇒ 1 autoclave de 1.500W

g) Utilização das Instalações: A coleta de leite é feita 3 vezes ao dia e o laticínio produz por 8 horas diárias. Além do leite do rebanho da própria Fazenda São Judas, o laticínio ainda é abastecido com leite proveniente de propriedades vizinhas, incluindo a Fazenda Harmonia. Na primeira etapa de beneficiamento, o leite é processado na desnatadeira que retira a nata que será utilizada na fabricação de manteiga. Em seguida, ocorre o processo de pasteurização que se dá pelo aquecimento seguido de um rápido resfriamento do leite. Este processo é realizado em trocadores de calor de tubos duplos. A água resfriada é proveniente do condensador e a quente, do aquecedor. Ambos os equipamentos estão localizados na casa de máquinas. A etapa final é o empacotamento e o armazenamento do

leite nas câmaras refrigeradas dos caminhões, se a entrega for feita no mesmo dia. Se a entrega não for feita no mesmo dia, o leite empacotado segue para a câmara refrigerada do laticínio. A esterqueira e a picadeira de capim são utilizadas diariamente por 8 horas. Por fim, completando a utilização de energia elétrica, há ainda as instalações residenciais (sede, casas dos funcionários e escritórios).

h) Demanda mensal de energia elétrica: Verificando o histórico da demanda de energia elétrica na Fazenda São nos meses compreendidos entre abril de 1997 e abril de 1998, apurou-se um valor médio aproximado de **100kW/mês**, o que representa um despesa média com fornecimento de energia elétrica de **R\$ 3.500,00**.

2.5.4 Fotos das instalações



**Foto 1 - Pastagens e rebanho
(Fazenda Harmonia)**



Foto 2 – Sede
(Fazenda Harmonia)



Foto 3 - Equipamento de ordenha mecânica
(Fazenda Harmonia)



Foto 4 – Pastagens

(Fazenda São Judas)



Foto 5 - Equipamento de ordenha mecânica

(Fazenda São Judas)



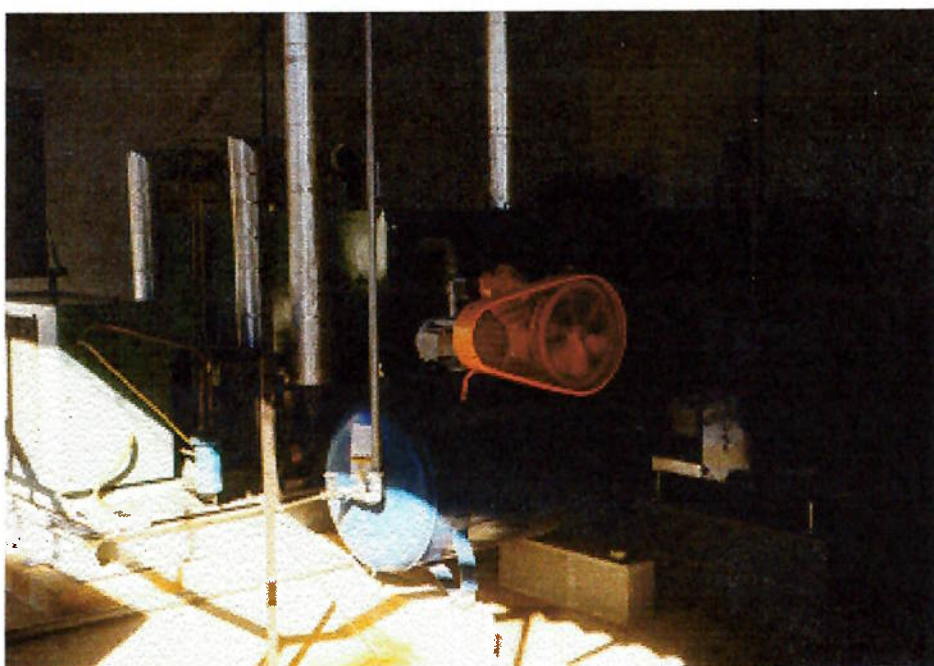
**Foto 6 - Área de descanso
(Fazenda São Judas)**



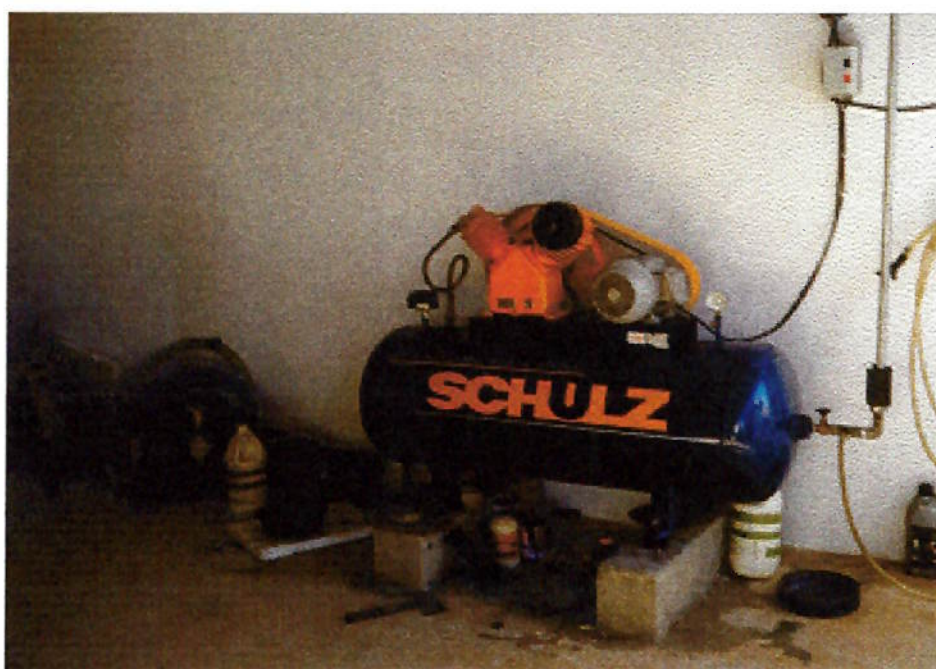
**Foto 7 - Aspecto geral do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 8 - Aspecto geral do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 9 - Casa de máquinas do laticínio, com destaque para
um dos os compressores um dos condensadores
(Fazenda São Judas)**



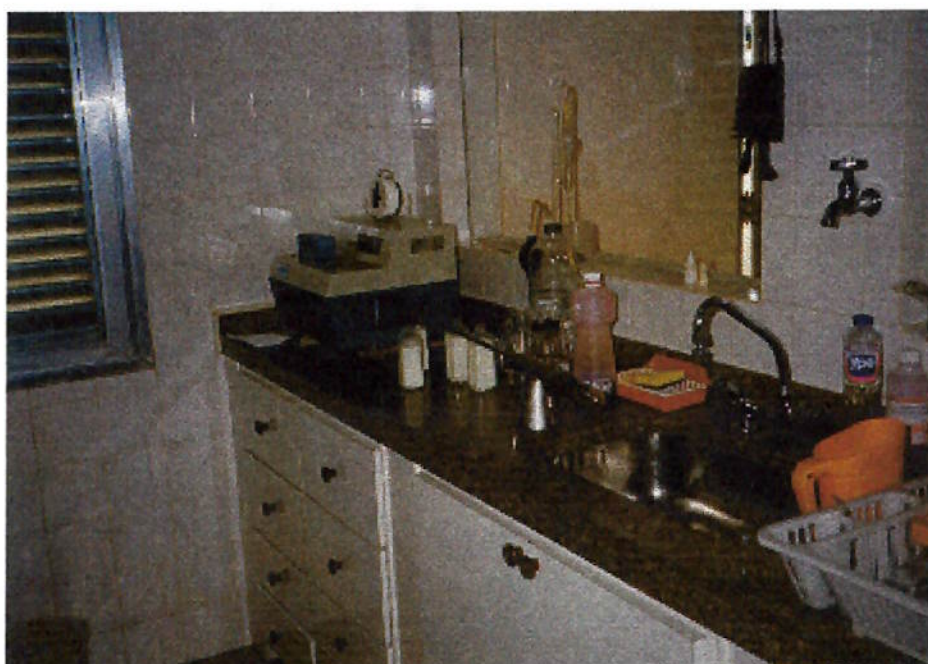
**Foto 10 - Compressor na casa de máquinas do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 11 - Condensador na casa de máquinas do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 12 - Sala de pasteurização e empacotamento
(Fazenda São Judas)**



**Foto 13 - Laboratório do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 14 - Laboratório do laticínio
(Fazenda São Judas)**



**Foto 15 - Central de força
(Fazenda São Judas)**

2.5 - CONCLUSÕES

2.5.1 Áreas com altos potenciais agroindustrial e eólico

Pelo exposto nos itens anteriores, podem ser estabelecidas áreas que possuem um alto potencial agroindustrial instalado e um satisfatório potencial eólico disponível, a fim de tornar justificável a utilização de turbinas eólicas para a geração de eletricidade. Desta forma, pode-se construir as seguintes matrizes de Potencial Agroindustrial Instalado X Potencial Eólico:

REGIÃO SUDESTE

ALTO POTENCIAL EÓLICO							
	Região Metropolitana de Vitória	Região dos Lagos (RJ)	Vale do Paraíba	Sudoeste de Minas Gerais	Depressão Paulista	Centro Norte de Minas Gerais	Vale do Rio Paraná
ALTO POTENCIAL AGRO-INDUSTRIAL	Centro-Norte de SP				✓		
	Centro-Sul de MG			✓			
	Triângulo MG						
	Vale do Paraíba		✓				
	Noroeste de SP						✓
	Litoral do RJ e ES	✓	✓				
	Bacia do Rio S.Pr. MG					✓	

Tabela 1 - Região Sudeste: potencial agroindustrial X potencial eólico

REGIÃO SUL

ALTO POTENCIAL EÓLICO							
	Centro-Sul do Rio Grande do Sul	Litoral do RS e SC	Sudoeste do Paraná	Nordeste do Rio Grande do Sul	Londrina e Ponta Grossa (PR)	Planalto Meridional	Curitiba e São Joaquim (SC)
ALTO POTENCIAL AGRO-INDUSTRIAL	Centro-Norte do Paraná				✓		
	Centro-Oeste de SC						✓
	Centro-Sul do Paraná		✓				
	Centro-Norte do RS						
	Nordeste do RS			✓		✓	
	Leste de Santa Catarina	✓					
	Centro-Sul do RS	✓					

Tabela 2 - Região Sul: potencial agroindustrial X potencial eólico

REGIÃO NORDESTE

ALTO POTENCIAL EÓLICO		Litoral do Maranhão	Litoral e Centro do Ceará	Planalto da Borborema (RN até SE)	Litoral Norte BA até a Chapada Diamantina	Planalto Baiano e Serra do Espinhaço	Litoral do Rio Grande do Norte	Fernando de Noronha
ALTO POTENCIAL AGRO-INDUSTRIAL	Litoral do Norte da BA até PB				✓			
	Centro-Sul da Bahia					✓		
	Bacia do Rio São Francisco					✓		
	Centro-Leste de PE e PB			✓				
	Litoral do Rio Grande do Norte			✓			✓	
	Centro-Norte do Ceará		✓					
	Centro do MA e PI							

Tabela 3 - Região Nordeste: potencial agroindustrial X potencial eólico

REGIÃO NORTE

ALTO POTENCIAL EÓLICO						
ALTO POTENCIAL AGRO- INDUSTRIAL	Centro- Leste do Pará					
	Região Metropo- litana de Belém			✓		
	Região Metropo- litana de Manaus					
	Ilha de Marajó			✓		
	Centro- Sul de Tocan- tins					
	Norte de Tocan- tins					
	Bacia dos Rios Tocan- tins e Araguaia					
	Nordeste de Roraima	Sudeste de Rondônia	Foz do Rio Amazonas			

Tabela 4 - Região Norte: potencial agroindustrial X potencial eólico

REGIÃO CENTRO-OESTE

		ALTO POTENCIAL EÓLICO					
		Planalto Goiano (SE de GO)	Nordeste do Mato Grosso	Centro-Sul do Mato Grosso do Sul			
ALTO POTENCIAL AGRO- INDUSTRIAL	Sul de Goiás	✓					
	Centro- Leste do Mato Grosso do Sul			✓			
	Centro- Norte de Goiás						
	Centro- Leste do Mato Grosso						
	Pantanal Mato- grossense						
	Sul do Mato Grosso						
	Distrito Federal						

Tabela 5 - Região Centro-Oeste: potencial agroindustrial X potencial eólico

Pela análise das matrizes anteriormente expostas, podemos estabelecer as seguintes regiões de interesse:

- Planalto Goiano
- Centro-Sul do Mato Grosso do Sul
- Região Metropolitana de Vitória
- Região dos Lagos (RJ)
- Vale do Paraíba
- Sudoeste de Minas Gerais
- Depressão Paulista
- Centro-Norte de Minas Gerais
- Vale do Rio Paraná
- Centro-Sul do Rio Grande do Sul
- Litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina
- Nordeste do Rio Grande do Sul
- Regiões de Londrina e Ponta Grossa
- Planalto Meridional
- Regiões de Curitiba e São Joaquim (SC)
- Litoral e Centro do Ceará
- Planalto da Borborema
- Litoral Norte da Bahia até a Chapada Diamantina
- Planalto Baiano e Serra do Espinhaço
- Litoral do Rio Grande do Norte
- Foz do Rio Amazonas

2.5.2 Escolha preliminar do tamanho da turbina eólica

Fechando este capítulo, será estabelecido o tamanho e a potência gerada pela turbina eólica que seria satisfatória para suprir as necessidades de energia elétrica de uma típica agroindústria brasileira. As turbinas eólicas disponíveis no mercado, são classificadas como grandes, médias e pequenas, classificação esta estabelecida de acordo com a potência gerada. Turbinas grandes encontram-se na faixa de geração de potências superiores a 500kW; as médias de 50 a 500 kW e as pequenas de 500 W a 50 kW. Pelos dados levantados de consumo de eletricidade em agroindústrias em **2.5**, um tamanho adequado de turbina eólica seria da ordem de 50kW, enquadrando-se portanto, no grupo das turbinas pequenas. Pode-se concluir assim que uma turbina de 50 kW ou uma combinação de duas ou mais com a mesma potência, supriria de forma satisfatória as necessidades de consumo da maioria das agroindústrias brasileiras.

3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

3.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as características globais e especificações técnicas da turbina eólica a ser desenvolvida. Uma vez definidos estes parâmetros, pode-se estabelecer um direcionamento inicial para o projeto, de forma que o equipamento final esteja o mais próximo possível destas especificações iniciais.

3.2 – ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS

3.1.1 De desempenho

- Produzir uma quantidade de energia elétrica capaz de suprir uma demanda mensal de 50 kW.
- Possuir alto desempenho aerodinâmico, isto é, dado um perfil de velocidades do vento, as pás devem aproveitar a maior quantidade de movimento possível.
- Rendimento mínimo esperado de 80%, levando-se em contas as perdas por mancais, transmissões e elétricas.
- Ser capaz de se movimentar a partir de ventos com 3,5 m/s de velocidade.

3.1.2 De conforto

- O nível de ruído gerado deve ser inferior a 75 dB.
- As interferências eletromagnéticas geradas devem ser mínimas.

3.1.3 De segurança

- Garantir que as pás não se desprenderão do equipamento ou não apresentarão ruptura em condições severas de vento.
- Possuir um sistema de prevenção contra danos causados por raios (por exemplo, pára-raios, carenagem blindada, etc.).
- Possuir um sistema de embandeiramento das pás do rotor (*yaw system*), acionado por molas e atuadores hidráulicos de forma a operarem mesmo em caso de pane elétrica (sistema que atuaria como freio aerodinâmico) Este sistema gira as pás do rotor ao redor do seu eixo longitudinal, posicionando-a de forma a não haver nenhum aproveitamento aerodinâmico e seria utilizado em caso de velocidades de vento superiores a um limite de segurança preestabelecido.
- Possuir um sistema de freio mecânico que controle a velocidade do rotor ou o imobilize. Este sistema seria utilizado em situações com velocidades de ventos acima do limite de segurança e por ocasiões das manutenções e inspeções pré programadas.
- Possuir isolamento adequado (contra fogo e elétrico).

3.2 – ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS

3.2.1 De durabilidade

- Materiais resistentes ao desgaste provocado por intempéries
- Vida útil de no mínimo dez anos, isso significa que o sistema deverá suportar mais de 60.000 horas de operação. Para efeito comparativo, temos que um motor automobilístico convencional opera somente cerca de 5.000 horas durante toda sua vida útil.

3.2.2 De confiabilidade

- Manutenção das partes móveis da turbina a cada seis meses.
- Vistoria completa do sistema a cada doze meses.
- Lubrificação das peças móveis (mancais de rolamento e redutor) a cada três meses.

3.2.3 De operação

- Sistema funciona sem necessidade de intervenção de qualquer operador.

3.3 – ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS

As principais opções construtivas são apresentadas a seguir:

3.3.1 Da torre

- Material: aço, alumínio
- Altura: a altura ótima da torre é função do custo por metro de torre, da variação da velocidade do vento local com a altura e do custo de cada kWh adicional.

3.3.2 Das pás

- Materiais compósitos, não metálicos, resistentes à tração e fadiga.
- Número de pás: uma, duas ou três pás.
- Perfil das pás: asas rotativas, helicoidais ou centrífugas

3.3.3 Do rotor

- Diâmetro do rotor: função da potência gerada.
- Posição do rotor: montado a frente ou atrás da torre.
- Posição do eixo: vertical ou horizontal.

4. PROPOSTA DAS SOLUÇÕES

4.1 - MATRIZ DE SOLUÇÕES

Das diversas especificações técnicas estabelecidas no capítulo anterior e as possíveis alternativas construtivas de cada uma delas, foi elaborada a seguinte matriz:

	FUNÇÕES	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
1	Eixo do Rotor	Vertical (VAWT)	Horizontal (HAWT)	⊗
2	Posição do Rotor	Upwind	Downwind	⊗
3	Perfil das Pás	Asas Rotativas	Helicoidal	Centrífugo
4	Número de Pás	Uma	Duas	Três
5	Material das Pás	Madeira	Compostos Metálicos	Compostos Não-Metálicos
6	Material da Torre	Aço	Alumínio	⊗
7	Construção da Torre	Tubos Flangeados ou Soldados	Treliça	⊗
8	Direcionamento	Leme	Rotor	Bocal
9	Transmissão	Correias/Correntes	Engrenagens	⊗
10	Velocidade de Operação (vento)	Alta	Média	Baixa

4.2 - ESTABELECIMENTO DAS POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Na Matriz de Soluções podem ser feitas inúmeras combinações gerando-se um número muito grande de soluções. Entretanto, o bom senso e os princípios de projeto de turbinas eólicas revelam que algumas destas soluções já são, logo de início, inviáveis. Assim sendo, dentre estas soluções, foram selecionadas quatro que se mostraram como as mais aceitáveis:

1) 1A - 2na - 3C - 4B - 5C - 6A - 7A - 8C - 9B - 10A

2) 1B - 2A - 3B - 4C - 5C - 6A - 7A - 8A - 9B - 10C

3) 1B - 2B - 3A - 4B - 5B - 6A - 7B - 8B - 9B - 10B

4) 1B - 2A - 3B - 4A - 5C - 6A - 7A - 8A - 9B - 10A

5. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES E EXEQUIBILIDADE FÍSICA

5.1 - SOLUÇÃO 1

A concepção número 1 consiste de um rotor vertical (VAWT²) apoiado nas suas extremidades numa torre tubular de aço também nesta posição. Acopladas ao rotor, haveria duas pás de perfil centrífugo. O direcionamento do fluxo seria feito através de um bocal posicionado no topo, desviando o fluxo horizontal para baixo. O conjunto utilizaria também um conjunto de eixos e engrenagens (caixa de redução) e sua velocidade de operação seria alta.

A torre tubular seria construída por um tubo de aço flangeado e as pás de perfil centrífugo podem ser fabricadas de modo análogo aos perfis disponíveis na área hidráulica, como uma bomba centrífuga. Para sua confecção, utilizar-se-iam materiais de compostos não-metálicos com o objetivo de reduzir níveis de ruído e interferência, além de proporcionar maior leveza à estrutura. A convencional transmissão através de engrenagens cônicas visa a simplicidade e eficiência do mecanismo.

² VAWT: Sigla comumente utilizada para designar turbinas de eixo vertical. Vem do inglês *Vertical Axis Wind Turbine*



Exemplo de VAWT com Duas Pás

5.2 - SOLUÇÃO 2

A concepção número 2 consiste de uma torre tubular idêntica à da concepção anterior. No topo desta torre, acopla-se um rotor horizontal (HAWT³) *upwind*⁴, de três pás helicoidais feitas de material não-metálico. O direcionamento do rotor para um melhor aproveitamento do vento seria feito através de um leme. Mais uma vez, seria utilizada a transmissão por engrenagens e a velocidade requerida seria baixa, graças ao número de pás existentes nesta concepção, que aumenta o aproveitamento do vento incidente.

³ HAWT: Sigla comumente utilizada para designar turbinas de eixo horizontal. Vem do inglês *Horizontal Axis Wind Turbine*

⁴ *Upwind*: configuração na qual o rotor se situa montado à frente da torre. Esta configuração eventualmente pode exigir um sistema de variação de embandeiramento das pás, para que o vento sempre incida frontalmente às pás. Pelo fato de o rotor se situar à frente da torre, o direcionamento da turbina deve ser feito por um leme.



Exemplo de HAWT com Três Pás

5.3 - SOLUÇÃO 3

A concepção número 3 consiste de uma turbina com eixo horizontal, cujo rotor se encontra posicionado na configuração *downwind*⁵. Acopladas ao rotor, estão duas pás do tipo asas rotativas, fabricadas em compostos metálicos. A escolha deste tipo de material pode baratear os custos quando comparados aos dos materiais compostos. A torre é constituída por perfis montados formando uma treliça. As transmissões, como nas demais concepções, é realizada por engrenagens. Por fim, a aplicação desta solução se dá para médias velocidades de vento.

⁵ *Downwind*: configuração na qual o rotor se situa montado atrás da torre. Esta configuração não exige leme c, na maior parte dos casos, um sistema de variação de embandecimento das pás, pois este sistema é auto-direcionável. Esse efeito é resultado da ação aerodinâmica da nacele do rotor e das próprias pás.



Exemplo de HAWT com Duas Pás

5.4 - SOLUÇÃO 4

A concepção número 4 consiste numa variação da concepção 2 quanto ao número de pás que, neste caso, é de apenas uma. Isto possibilita uma redução substancial nos custos, porém tais turbinas são de uma aplicabilidade muito restrita, pois exigem para o seu acionamento velocidades altas de vento.



Exemplo de HAWT com Uma Pá e Detalhe da Nacele

6. VIABILIDADE ECONÔMICA DAS SOLUÇÕES

6.1 - ESTABELECIMENTO DOS CRITÉRIOS

Para se analisar a viabilidade econômica das soluções, serão estabelecidos critérios que envolvam de forma direta ou indireta custos inerentes ao projeto e instalação de turbinas eólicas. São os critérios:

- números de pás
- aproveitamento de potência eólica
- transporte
- taxas de importação
- obras civis

6.2 - ANÁLISE DAS SOLUÇÕES SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Com os critérios acima estabelecidos, pode-se montar a seguinte tabela:

SOLUÇÃO	CRITÉRIOS				
	<i>Custo do equipamento em função do nº de pás (\$)</i>	<i>Aproveitamento de potência eólica</i>	<i>Transporte e terrestre (\$/km)</i>	<i>Transporte marítimo + Taxas de importação (15% do valor do equipamento)</i>	<i>Obras civis (\$)</i>
1	45.000,00	Médio	4,00	11.750,00	1.500,00
2	50.000,00	Alto	4,00	12.500,00	1.500,00
3	40.000,00	Médio	4,00	11.000,00	1.500,00
4	35.000,00	Baixo	4,00	9.750,00	1.500,00

Os custos dos equipamentos foi estimado baseando-se em dados fornecidos por fabricantes no exterior. Eventualmente, estes custos podem ser reduzidos com a aquisição de alguns dos componentes de fornecedores nacionais, o que diminuiria os custos do equipamento propriamente dito e das taxas de importação.

Para os dados na tabela anterior, supondo-se que a turbina seja instalada num local situado a 200 km do porto, os custos de cada uma das soluções é o seguinte:

- Solução 1: \$ **59.050,00**
- Solução 2: \$ **64.800,00**
- Solução 3: \$ **53.300,00**
- Solução 4: \$ **47.750,00**

Supondo que os gastos mensais de uma agroindústria típica com fornecimento de energia elétrica seja da ordem de \$ **3.500,00**, o tempo de retorno em meses de cada solução é respectivamente igual a: **17, 18, 15 e 13.**

Desta forma, todas as soluções se mostram viáveis economicamente, no que diz respeito aos investimentos necessários à sua implementação.

7. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

7.1 - ESTABELECIMENTO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Serão estabelecidos agora, os critérios de decisão para a escolha da melhor solução dentre as quatro já apresentadas. Estes critérios visam avaliar da forma mais global possível o desempenho de cada uma das soluções. Os critérios são:

- Simplicidade construtiva
- Relação custo/aproveitamento da potência eólica
- Segurança
- Manutenção
- Durabilidade
- Impacto visual
- Nível de interferência sonora e magnética

7.2 - CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO

CRITÉRIO	PESO DO CRITÉRIO	SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2	SOLUÇÃO 3	SOLUÇÃO 4
Simplicidade construtiva	8	5	7	7	8
Relação custo / aproveitamento da potência eólica	10	6	9	7	6
Segurança	6	8	9	8	9
Manutenção	7	7	8	9	9
Durabilidade	8	7	9	6	8
Impacto visual	5	5	10	9	6
Nível de interferência sonora e magnética	10	7	9	6	9
		348	468	390	425

7.3 - DESCRIÇÃO DETALHADA DA SOLUÇÃO

De acordo com a Matriz de Decisão, a **SOLUÇÃO 2** foi a escolhida. Esta solução, embora seja a mais cara é a que apresenta a melhor relação custo/aproveitamento de potência eólica. Quanto aos aspectos construtivos, a solução consiste de uma torre tubular no topo da qual, acopla-se um rotor horizontal montado na configuração *upwind*. Esta configuração quando comparada com a configuração *downwind* apresenta níveis de fadiga significativamente menores e conseqüentemente, uma maior durabilidade, principalmente das pás. As pás por sua vez são do tipo helicoidal feitas de material não-metálico, o que propicia uma redução sensível nos níveis de interferência magnética e sonora.

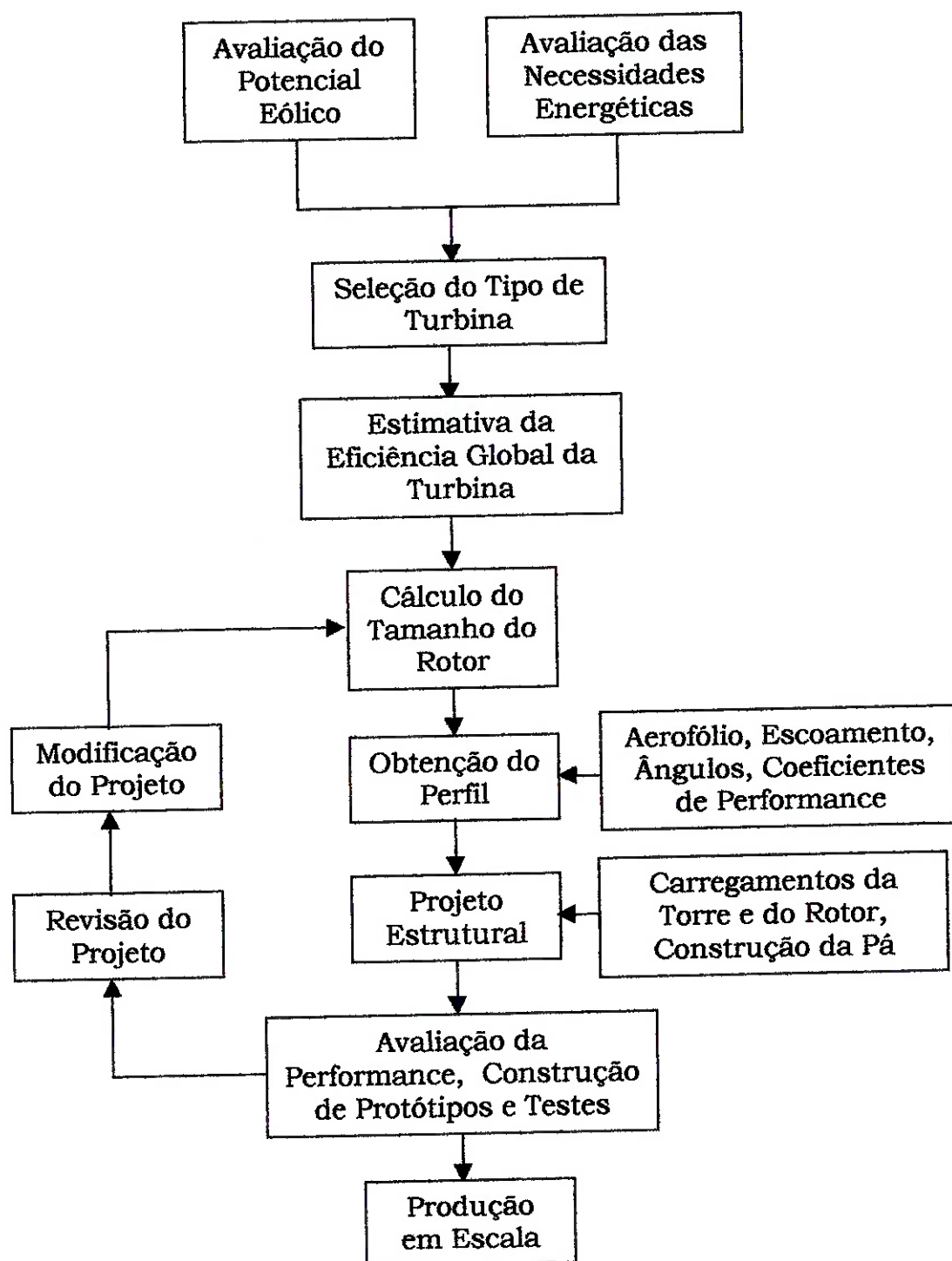
- 2ª PARTE -
PROJETO BÁSICO

8.PRINCÍPIOS DE PROJETO DE TURBINAS EÓLICAS

O projeto de turbinas eólicas se baseia no processo de tentativa e erro. Uma vez selecionado o tipo de turbina, estimada a eficiência global do equipamento e calculado o tamanho do rotor, é necessário o dimensionamento dos diversos componentes mecânicos.

O processo de projeto de uma turbina eólica se consiste de duas grandes partes: a primeira, o projeto aerodinâmico e a segunda o projeto estrutural. Embora estas duas partes sejam distintas uma da outra, é interessante não se perder a visão macro do projeto considerando-as como um todo. Desta forma, não se corre o risco de realizar um projeto aerodinâmico tão eficiente que ao mesmo tempo é inviável do ponto de vista estrutural e vice-versa.

O fluxograma a seguir, ilustra o processo de projeto de uma turbina eólica:



9. PROJETO DO ROTOR

9.1 PROJETO AERODINÂMICO

Dentre os inúmeros métodos existentes para projeto e dimensionamento de rotores, escolheu-se o método apresentado no livro “The Wind Power Book”, desenvolvido por Jack Park, por tratar-se de um método preciso e detalhado, apesar de menos rigoroso em relação a outros métodos apresentados em algumas das referências citadas na Bibliografia.

No método apresentado, foi determinada, a partir das cartas de vento da região de aplicação da turbina eólica, a velocidade de pico dos ventos, ou seja, a velocidade na qual a curva de distribuição de energia atinge um ponto de máximo. Esta velocidade, de 8 m/s, serviu como base para dimensionamento de todo o rotor.

O método apresenta-se dividido em onze etapas, que vão desde o cálculo do diâmetro do rotor ao cálculo de ângulos de posicionamento dos perfis das pás do rotor.

1º Passo – Cálculo do Diâmetro do Rotor

Dados:

$V=8,19\text{m/s}=18,33\text{mph}$ (Velocidade de Pico)

$P=50.000\text{W}$ (Potência Gerada)

$\rho=1,076\text{kg/m}^3=0,0023\text{slug/ft}^3$ (Densidade do Ar)

$E=0,45$ (Eficiência, extraída do gráfico Tip-Speed Ratio x Rotor Efficiency do **ANEXO 2**)

$K=4,31$ (Fator de Conversão, extraído da tabela de fatores de conversão de potência gerada por vento do **ANEXO 2**)

$Ca=Ct=1$ (Fatores de Correção, extraído das tabelas do **ANEXO 2**)

Portanto, tem-se:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot E \cdot K \quad (1)$$

De (1), obtém-se A igual a 3.639,95ft² o que dá um raio de 35ft que são aproximadamente 10,5m

Note-se que, maiores rendimentos e maiores velocidades de vento incorreriam em menores rotores para uma mesma energia gerada.

2º Passo – Determinação da Tip-Speed Ratio

Tip-Speed Ratio, ou T.S.R. é um termo utilizado no lugar da rpm do rotor para comparar diferentes rotores. É definida como a razão entre a velocidade linear na ponta da pá do rotor e a velocidade do vento livre incidente nas pás.

Dados:

N= 70 rpm (Rotação da Turbina)

k=1,47 (Fator de Correção para velocidade em mph)

Portanto, tem-se:

$$TSR = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{60 \cdot K \cdot V} \quad (2)$$

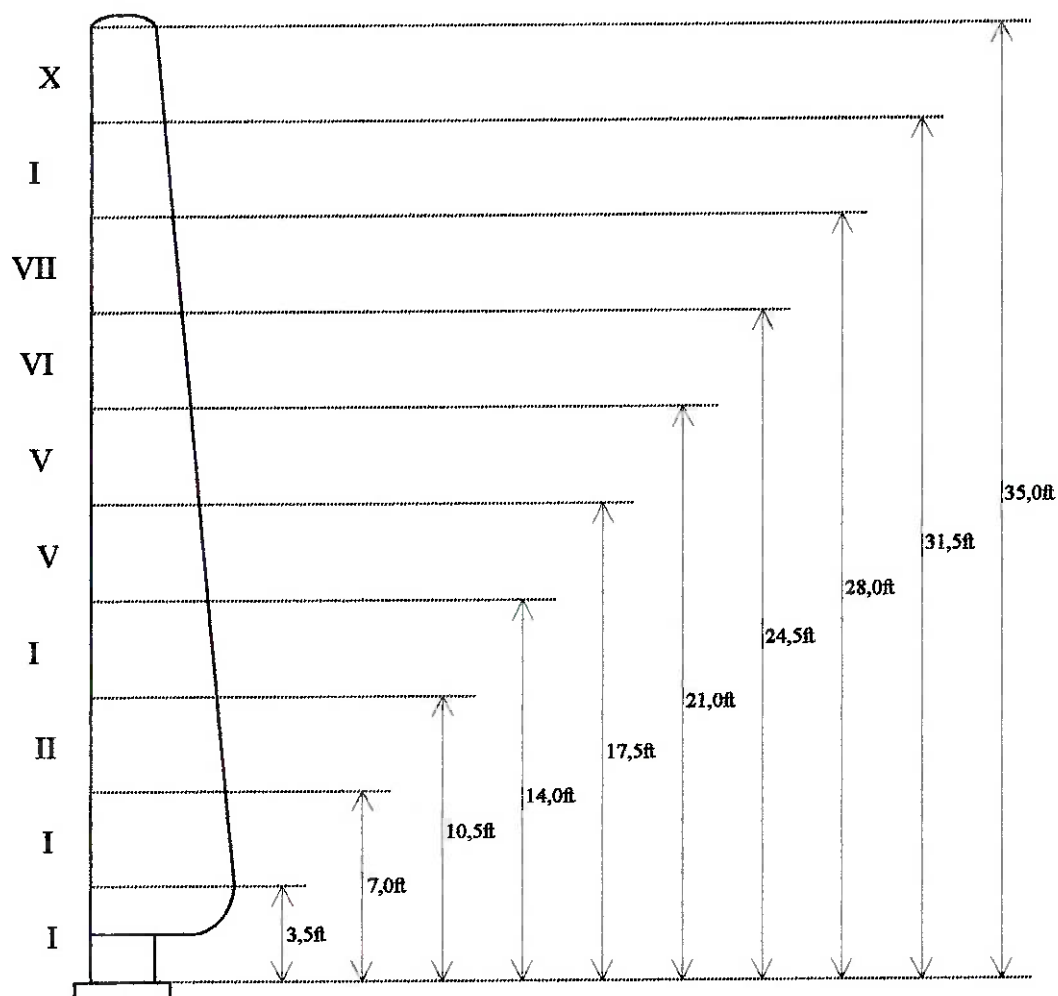
Substituindo-se os valores numéricos em (2), obtém-se que TSO é igual 9,52, isto é, a ponta das pás do rotor está a uma velocidade 9,52 vezes maior que a velocidade do vento.

3º Passo – Determinação da Solidez do Rotor e Número de Pás

Do gráfico TSR x Solidity, do **ANEXO 2**, extrai-se

R.S.=2,5 e nº de Pás=3

4º Passo – Divisão da Pá em 10 Seções e Determinação da Speed-Ratio para cada Seção



Speed-Ratios para cada trecho:

A Speed-Ratio de cada trecho é igual à T.S.R. vezes o raio até a seção considerada, dividido pelo raio total da pá. Portanto:

$$SR_I = 0,952$$

$$SR_{II} = 1,904$$

$$SR_{III} = 2,857$$

$$SR_{IV} = 3,809$$

$$SR_V = 4,761$$

$$SR_{VI} = 5,713$$

$$SR_{VII} = 6,665$$

$$SR_{VIII} = 7,617$$

$$SR_{IX} = 8,570$$

$$SR_X = 9,522$$

5º Passo – Determinação do Ângulo de Vento

Pelo gráfico $SR \times \phi$ do **ANEXO 2**, determinou-se então o Ângulo de Vento (ϕ) para cada seção:

$$\phi_I = 35^\circ$$

$$\phi_{II} = 17,5^\circ$$

$$\phi_{III} = 13,5^\circ$$

$$\phi_{IV} = 10^\circ$$

$$\phi_V = 7,5^\circ$$

$$\phi_{VI} = 6,5^\circ$$

$$\phi_{VII} = 5,5^\circ$$

$$\phi_{VIII} = 5^\circ$$

$$\phi_{IX} = 4^\circ$$

$$\phi_X = 3,5^\circ$$

6º Passo – Determinação do Parâmetro de Forma

Pelo gráfico SR x SP do **ANEXO 2**, determinou-se então o Parâmetro de Forma (SP) para cada seção:

$$SP_I = 4,0$$

$$SP_{II} = 1,15$$

$$SP_{III} = 0,65$$

$$SP_{IV} = 0,4$$

$$SP_V = 0,28$$

$$SP_{VI} = 0,18$$

$$SP_{VII}=0,15$$

$$SP_{VIII}=0,14$$

$$SP_{IX}=0,13$$

$$SP_X=0,12$$

7º Passo – Para cada perfil, determinou-se o Coeficiente de Sustentação (C_L) que produz a máxima relação sustentação-arrasto (L/D).

Analísaram-se nove perfis da Série NACA: 4412, 4415, 4418, 23012, 23015, 23018, 63206, 63209, 63210, obtendo-se os seguintes resultados, extraídos a partir das cartas de C_L e C_D do **ANEXO 2**.

NACA 4412			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (C_L)	Coef. de Arrasto (C_D)	L/D Ratio
-12,0	-0,8000	0,0130	-61,5385
-10,0	-0,7000	0,0150	-46,6667
-8,0	-0,5000	0,0095	-52,6316
-6,0	-0,3500	0,0085	-41,1765
-4,0	-0,0500	0,0070	-7,1429
-2,0	0,1500	0,0065	23,0769
0,0	0,4000	0,0067	59,7015
2,0	0,6000	0,0070	85,7143
4,0	0,8000	0,0073	109,5890
6,0	1,0000	0,0087	114,9425
8,0	1,1500	0,0115	100,0000
10,0	1,3000	0,0150	86,6667
12,0	1,4500	0,0210	69,0476
14,0	1,5000	0,0245	61,2245
16,0	1,4000	0,0210	66,6667
18,0	1,3000	0,0155	83,8710
20,0	1,2500	0,0135	92,5926
22,0	1,2000	0,0130	92,3077

NACA 4415			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-18,0	-0,7500	0,0120	-62,5000
-16,0	-0,9000	0,0140	-64,2857
-14,0	-0,9000	0,0140	-64,2857
-12,0	-0,8500	0,0130	-65,3846
-10,0	-0,6000	0,0105	-57,1429
-8,0	-0,4500	0,0095	-47,3684
-6,0	-0,2000	0,0080	-25,0000
-4,0	0,0000	0,0075	0,0000
-2,0	0,2000	0,0075	26,6667
0,0	0,4000	0,0070	57,1429
2,0	0,6500	0,0075	86,6667
4,0	0,8500	0,0075	113,3333
6,0	1,0500	0,0085	123,5294
8,0	1,2500	0,0130	96,1538
10,0	1,3500	0,0170	79,4118
12,0	1,4500	0,0230	63,0435
14,0	1,4000	0,0210	66,6667
16,0	1,3000	0,0150	86,6667

NACA 4418			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-18,0	0,0125	-0,8000	-64,0000
-16,0	0,0140	-0,9000	-64,2857
-14,0	0,0140	-0,8500	-60,7143
-12,0	0,0140	-0,8500	-60,7143
-10,0	0,0115	-0,7000	-60,8696
-8,0	0,0100	-0,5000	-50,0000
-6,0	0,0085	-0,2000	-23,5294
-4,0	0,0080	0,0000	0,0000
-2,0	0,0075	0,2000	26,6667
0,0	0,0075	0,4000	53,3333
2,0	0,0075	0,6000	80,0000
4,0	0,0080	0,8000	100,0000
6,0	0,0090	1,0000	111,1111
8,0	0,0115	1,2000	104,3478
10,0	0,0145	1,3000	89,6552
12,0	0,0200	1,4000	70,0000
14,0	0,0200	1,4500	72,5000
16,0	0,0200	1,4000	70,0000

NACA 23012			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-12,0	-1,1500	0,0180	-63,8889
-10,0	-0,9500	0,0145	-65,5172
-8,0	-0,7000	0,0110	-63,6364
-6,0	-0,5000	0,0080	-62,5000
-4,0	-0,3000	0,0080	-37,5000
-2,0	-0,1000	0,0078	-12,8205
0,0	0,1000	0,0060	16,6667
2,0	0,3000	0,0065	46,1538
4,0	0,5000	0,0070	71,4286
6,0	0,7500	0,0078	96,1538
8,0	1,0000	0,0090	111,1111
10,0	1,2000	0,0125	96,0000
12,0	1,4000	0,0175	80,0000
14,0	1,5000	0,0215	69,7674
16,0	1,6000	0,0260	61,5385
16,5	1,5000	0,0215	69,7674
17,0	1,3500	0,0160	84,3750
17,5	1,1000	0,0110	100,0000
18,0	0,9800	0,0087	112,6437
19,0	0,9500	0,0085	111,7647
20,0	0,9200	0,0083	110,8434

NACA 23015			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-12,0	-1,1500	0,0195	-58,9744
-10,0	-0,9500	0,0155	-61,2903
-8,0	-0,7000	0,0110	-63,6364
-6,0	-0,5500	0,0100	-55,0000
-4,0	-0,3300	0,0090	-36,6667
-2,0	-0,1000	0,0080	-12,5000
0,0	0,0900	0,0075	12,0000
2,0	0,3300	0,0070	47,1429
4,0	0,5500	0,0073	75,3425
6,0	0,7500	0,0077	97,4026
8,0	0,8500	0,0100	85,0000
10,0	1,2000	0,0120	100,0000
12,0	1,3300	0,0155	85,8065
14,0	1,4700	0,0225	65,3333
15,0	1,5000	0,0270	55,5556
16,0	1,3900	0,0180	77,2222
18,0	1,1000	0,0105	104,7619
20,0	1,0000	0,0110	90,9091
22,0	0,9500	0,0103	92,2330

NACA 23018			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-12,0	-1,0800	0,0143	-75,5245
-10,0	-0,8800	0,0126	-69,8413
-8,0	-0,7500	0,0120	-62,7615
-6,0	-0,5600	0,0100	-56,0000
-4,0	-0,3300	0,0090	-36,6667
-2,0	-0,1200	0,0073	-16,4384
0,0	0,1000	0,0075	13,3333
2,0	0,2750	0,0077	35,7143
4,0	0,5000	0,0080	62,5000
6,0	0,7250	0,0090	81,0056
8,0	0,9400	0,0105	89,5238
10,0	1,1000	0,0120	91,6667
12,0	1,2700	0,0190	66,8421
14,0	1,3800	0,0203	67,9803
15,0	1,4200	0,0205	69,2683
16,0	1,2000	0,0145	82,7586
18,0	1,0400	0,0115	90,4348
20,0	1,0100	0,0103	98,0583
22,0	0,9870	0,0120	82,5941

NACA 63-206			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-4,0	0,0060	-0,2000	-33,3333
-2,0	0,0055	0,0000	0,0000
0,0	0,0040	0,2000	50,0000
2,0	0,0055	0,4500	81,8182
4,0	0,0075	0,6500	86,6667
6,0	0,0095	0,8000	84,2105

NACA 63-209			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-8,0	0,0085	-0,6000	-70,5882
-6,0	0,0085	-0,5000	-58,8235
-4,0	0,0070	-0,2000	-28,5714
-2,0	0,0045	0,0000	0,0000
0,0	0,0045	0,2000	44,4444
2,0	0,0050	0,4000	80,0000
4,0	0,0075	0,6000	80,0000
6,0	0,0080	0,8000	100,0000
8,0	0,0110	1,0500	95,4545
10,0	0,0120	1,1500	95,8333
12,0	0,0090	0,9000	100,0000
14,0	0,0075	0,8500	113,3333

NACA 63-210			
Ângulo de Ataque	Coef. de Sustentação (Cl)	Coef. de Arrasto (Cd)	L/D Ratio
-12,0	-1,0000	0,0140	-71,4286
-10,0	-0,9000	0,0110	-81,8182
-8,0	-0,7000	0,0105	-66,6667
-6,0	-0,5000	0,0085	-58,8235
-4,0	-0,3000	0,0063	-47,6190
-2,0	-0,1000	0,0055	-18,1818
0,0	0,1500	0,0048	31,5789
2,0	0,4000	0,0050	80,0000
4,0	0,6000	0,0080	75,0000
6,0	0,8000	0,0098	82,0513
8,0	1,1500	0,0135	85,1852
10,0	1,2000	0,0150	80,0000
12,0	1,4000	0,0200	70,0000
14,0	1,2500	0,0160	78,1250
16,0	0,8500	0,0100	85,0000

8º Passo – Para cada seção da pá, calculou-se o comprimento da corda, utilizando-se a seguinte equação:

$$c = \frac{R \cdot SP}{C_L \cdot N} \quad (3)$$

onde,

r: raio na seção da pá [ft ou m]

SP: parâmetro de forma

C_L : coeficiente de sustentação

N: no. de pás

Para cada perfil, obteve-se então:

NACA 4412		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,6667
2	7,00	2,6833
3	10,50	2,2750
4	14,00	1,8667
5	17,50	1,6333
6	21,00	1,2600
7	24,50	1,2250
8	28,00	1,3067
9	31,50	1,3650
10	35,00	1,4000

NACA 4415		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,4444
2	7,00	2,5556
3	10,50	2,1667
4	14,00	1,7778
5	17,50	1,5556
6	21,00	1,2000
7	24,50	1,1667
8	28,00	1,2444
9	31,50	1,3000
10	35,00	1,3333

NACA 4418		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,6667
2	7,00	2,6833
3	10,50	2,2750
4	14,00	1,8667
5	17,50	1,6333
6	21,00	1,2600
7	24,50	1,2250
8	28,00	1,3067
9	31,50	1,3650
10	35,00	1,4000

NACA 23012		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,7619
2	7,00	2,7381
3	10,50	2,3214
4	14,00	1,9048
5	17,50	1,6667
6	21,00	1,2857
7	24,50	1,2500
8	28,00	1,3333
9	31,50	1,3929
10	35,00	1,4286

NACA 23015		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,2424
2	7,00	2,4394
3	10,50	2,0682
4	14,00	1,6970
5	17,50	1,4848
6	21,00	1,1455
7	24,50	1,1136
8	28,00	1,1879
9	31,50	1,2409
10	35,00	1,2727

NACA 23018		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,6205
2	7,00	2,6568
3	10,50	2,2525
4	14,00	1,8482
5	17,50	1,6172
6	21,00	1,2475
7	24,50	1,2129
8	28,00	1,2937
9	31,50	1,3515
10	35,00	1,3861

NACA 63206		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	7,1795
2	7,00	4,1282
3	10,50	3,5000
4	14,00	2,8718
5	17,50	2,5128
6	21,00	1,9385
7	24,50	1,8846
8	28,00	2,0103
9	31,50	2,1000
10	35,00	2,1538

NACA 63209		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	5,4902
2	7,00	3,1569
3	10,50	2,6765
4	14,00	2,1961
5	17,50	1,9216
6	21,00	1,4824
7	24,50	1,4412
8	28,00	1,5373
9	31,50	1,6059
10	35,00	1,6471

NACA 63210		
Seção	r (ft)	c (ft)
1	3,50	4,0580
2	7,00	2,3333
3	10,50	1,9783
4	14,00	1,6232
5	17,50	1,4203
6	21,00	1,0957
7	24,50	1,0652
8	28,00	1,1362
9	31,50	1,1870
10	35,00	1,2174

9º Passo – Calculou-se o “Aspect Ratio” (AR) de cada perfil, dividindo-se o comprimento da pá (10m) pela corda média de cada perfil:

Perfil	Cmed (ft)	AR
4412	1,9682	17,7830
4415	1,8744	18,6722
4418	1,9682	17,7830
23012	2,0083	17,4274
23015	1,7892	19,5614
23018	1,9487	17,9609
63206	3,0279	11,5590
63209	2,3155	15,1156
63210	1,7114	20,4505

10º Passo – Ajusta-se então o ângulo de ataque para otimizar L/D. O ângulo corrigido (a_c) em função do Ângulo de Ataque para o qual $C_L=0$ (a_o), Coeficiente de Sustentação (C_L) referente ao $L/D_{\max}$ calculado no 7º passo e “Aspect Ratio” (AR) é dado por:

$$a_c = a_o + \frac{C_L}{0,11} \cdot \left(1 + \frac{3}{AR}\right) \quad (4)$$

Tem-se então, para cada perfil:

Perfil	ao	ac
4412	-2,00	8,6245
4415	-2,10	8,9791
4418	-2,00	8,6245
23012	-1,75	8,6927
23015	-1,50	10,0336
23018	-1,60	9,1155
63206	-1,90	5,5427
63209	-1,70	7,5609
63210	-1,50	10,4882

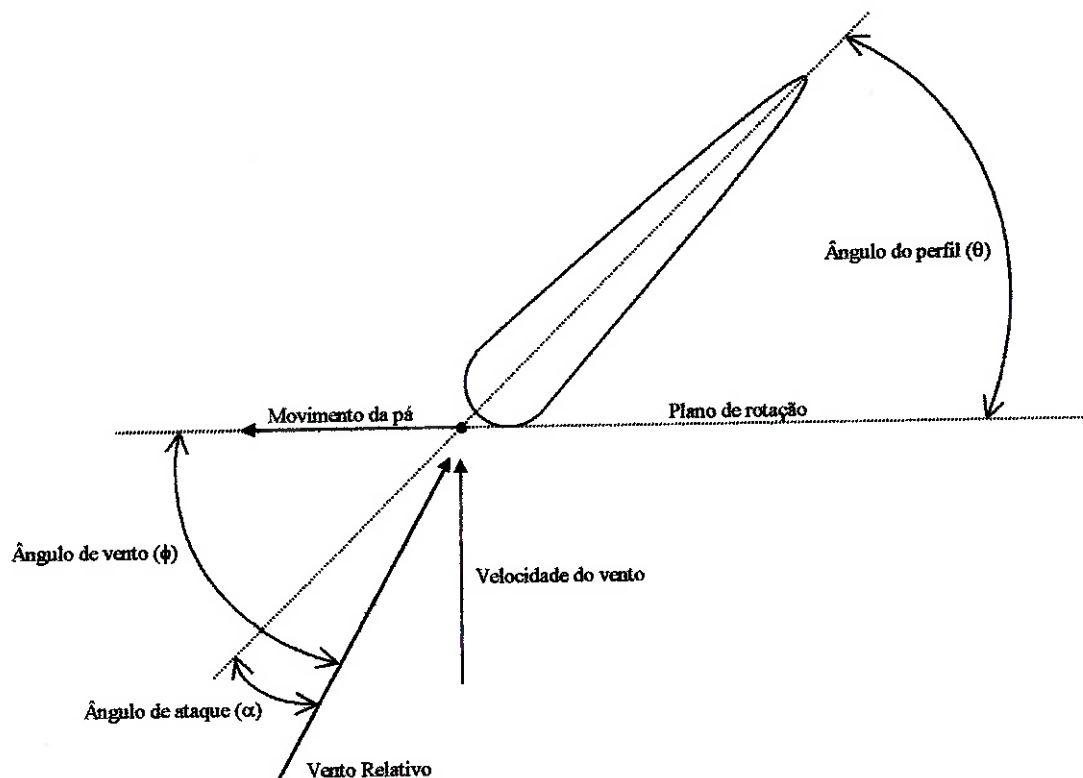
Para estes novos ângulos corrigidos, temos que a máxima relação L/D ocorre para o perfil NACA 23012, sendo, portanto, este o perfil selecionado:

Perfil	Ac	L/D
4412	8,6245	95,84
4415	8,9791	95,64
4418	8,6245	99,76
23012	8,6927	105,88
23015	10,0336	99,76
23018	9,1155	90,72
63206	5,5427	84,77
63209	7,5609	96,45
63210	10,4882	77,56

11º Passo – Com os ângulos corrigidos e os ângulos de vento (ϕ) do 5º passo, calculam-se então os ângulos para cada perfil (θ):

NACA 23012			
Seção	r	ϕ	θ
1	3,50	35,00	26,3073
2	7,00	17,50	8,8073
3	10,50	13,50	4,8073
4	14,00	10,00	1,3073
5	17,50	7,50	-1,1927
6	21,00	6,50	-2,1927
7	24,50	5,50	-3,1927
8	28,00	5,00	-3,6927
9	31,50	4,00	-4,6927
10	35,00	3,50	-5,1927

Para melhor visualização dos ângulos:

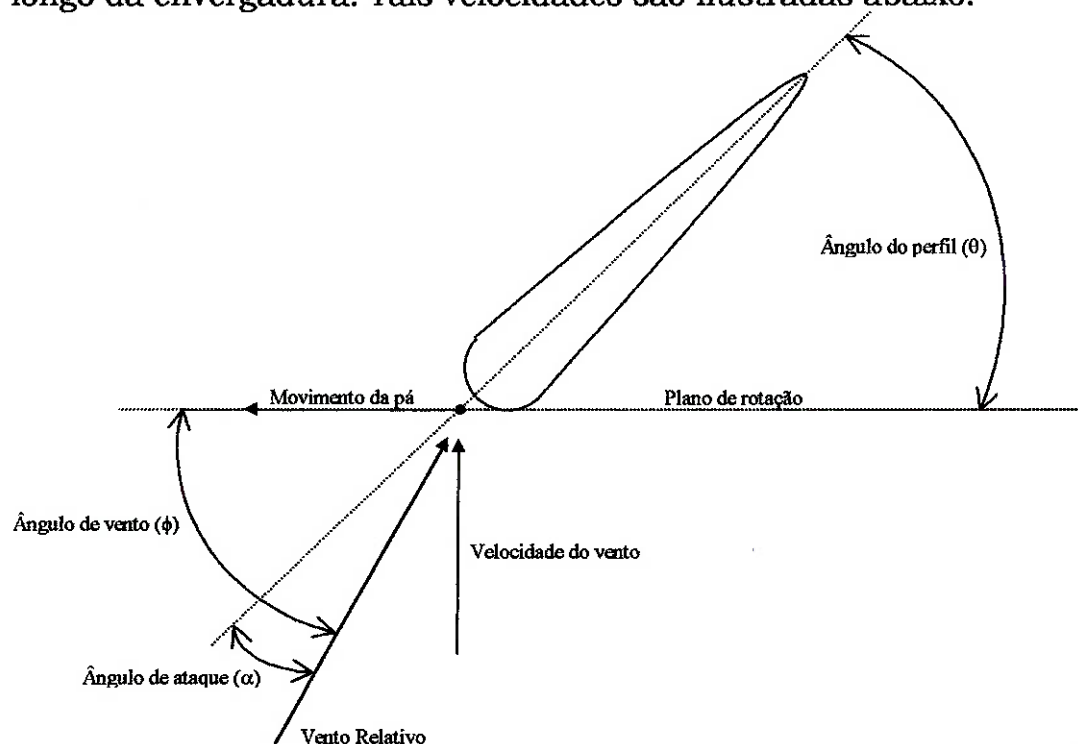


9.2 PROJETO ESTRUTURAL

9.2.1 Cálculo dos Esforços Solicitantes na Pá

9.2.1.1 Forças de ação aerodinâmica

As forças de ação aerodinâmica L (sustentação) e D (arrasto) são induzidas pelo escoamento do ar sobre a superfície da pá e são responsáveis pela geração do torque que irá girar o rotor. O seus valores serão proporcionais ao quadrado da velocidade relativa V_R do ar, velocidade esta que é a composição da parcela perpendicular ao plano de rotação da velocidade do vento com a velocidade de translação (tangencial) da seção transversal da pá em cada raio ao longo da envergadura. Tais velocidades são ilustradas abaixo:



Os valores de L e D são dados por:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2 \cdot C_L \cdot c [\text{N} / \text{m}] \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2 \cdot C_D \cdot c [\text{N} / \text{m}] \quad (2)$$

onde

ρ : densidade do ar [kg/m^3]

C_L e C_D : coeficientes de sustentação e arrasto respectivamente

c : corda no raio levado em consideração [m]

Os diversos valores de corda obtidos anteriormente variam aproximadamente de forma linear com o raio, o que permite interpolar uma função polinomial $c(R)$ que forneça os valores das diversas cordas nos respectivos raios. Assim, tem-se:

$$c(R) = -0,0139 \cdot R + 0,8110 \quad (3)$$

A velocidade relativa V_R é dada por:

$$V_R = \sqrt{V^2 + u^2} \quad (4)$$

onde,

V : projeção da velocidade do vento perpendicular ao plano de rotação
[m/s]

u : velocidade de translação (tangencial) de uma seção transversal do aerofólio a um dado raio [m/s]

A velocidade u pode ser escrita como:

$$u = \Omega \cdot R \quad (5)$$

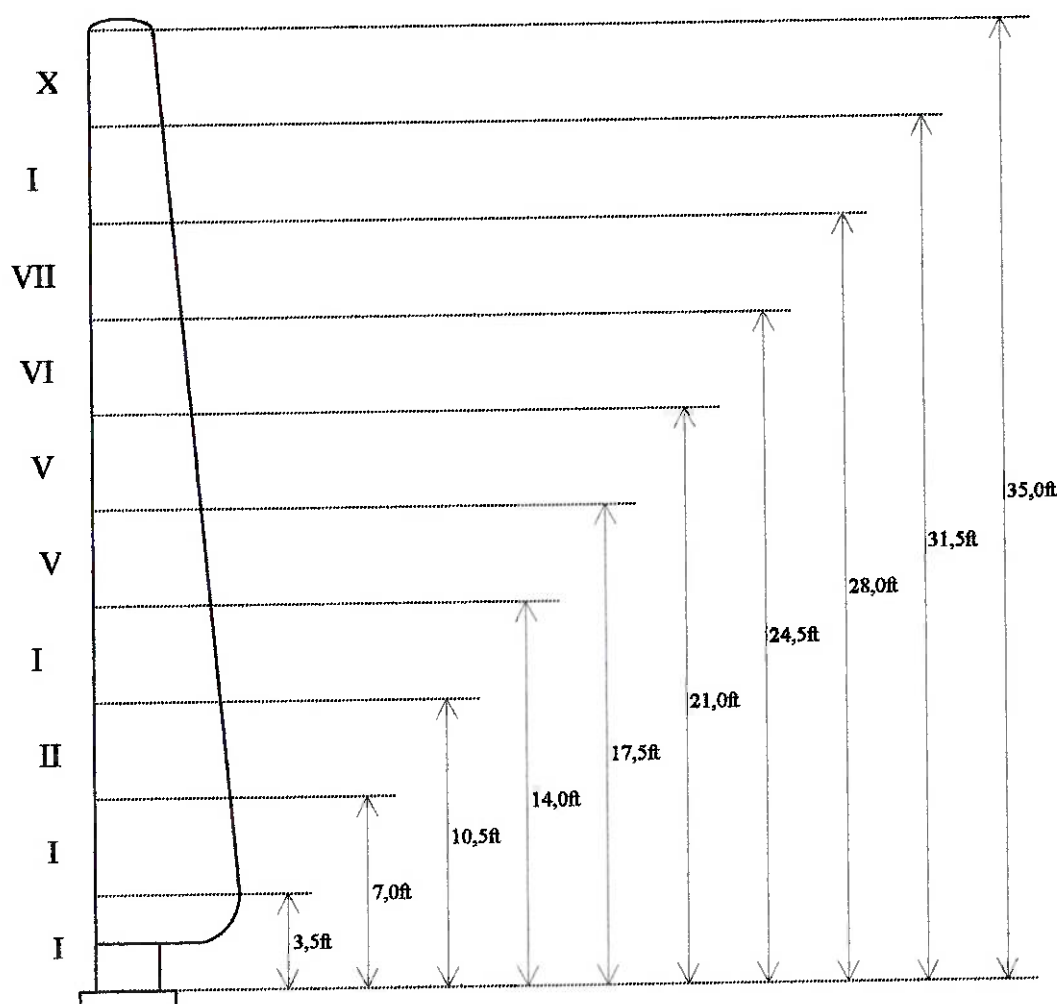
onde,

Ω : velocidade angular de rotação [rad/s]

R : raio [m]

Substituindo (5) em (4) e em seguida (4) e (3) em (1) e (2), obtém-se duas expressões para L e D por metro de pá que dependem exclusivamente

do raio, sendo que para encontrar o valor final das forças, basta diferenciar estas duas expressões em relação a R e integrar entre dois raios R_1 e R_2 . Logo, para os dez trechos indicados na figura abaixo, haverá sempre dois valores de L e D .



Para os cálculos realizados a seguir, foram utilizados:

$$N = 60\text{rpm} \Rightarrow \Omega = 6,28\text{rad/s}$$

$$\rho = 1,076\text{kg/m}^3$$

$$V = 8,19\text{m/s}$$

$$C_L = 0,98 \text{ (para } \alpha = 8,6927^\circ)$$

$$C_D = 0,00875 \text{ (para } \alpha = 8,6927^\circ)$$

Trecho I

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = 1,0068\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_1 = \int_{R_1}^{R_2} dR = 22,39\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_1 = \int_{R_1}^{R_2} dR = 0,19\text{N}$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D}\right)_1 = 112,0001$$

Trecho II

$$R_2 = 1,0068\text{m}$$

$$R_3 = 2,1336\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{II} = \int_{R_2}^{R_3} dR = 74,56\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{II} = \int_{R_2}^{R_3} dR = 0,66\text{N}$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{II} = 111,9986$$

Trecho III

$$R_3 = 2,1336\text{m}$$

$$R_4 = 3,2004\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{III} = \int_{R_3}^{R_4} dR = 121,12\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{III} = \int_{R_3}^{R_4} dR = 1,08N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{III} = 111,9999$$

Trecho IV

$$R_4 = 3,2004m$$

$$R_5 = 4,2672m$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{IV} = \int_{R_4}^{R_5} dR = 164,81N$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{IV} = \int_{R_4}^{R_5} dR = 1,47N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{IV} = 111,9999$$

Trecho V

$$R_5 = 4,2672\text{m}$$

$$R_6 = 5,3340\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_v = \int_{R_5}^{R_6} dR = 205,63\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_v = \int_{R_5}^{R_6} dR = 1,83\text{N}$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D}\right)_v = 112,3661$$

Trecho VI

$$R_6 = 5,3340\text{m}$$

$$R_7 = 6,4008\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{vi} = \int_{R_6}^{R_7} dR = 243,58\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{VI} = \int_{R_6}^{R_7} dR = 2,17N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{VI} = 111,9997$$

Trecho VII

$$R_7 = 6,4008m$$

$$R_8 = 7,4676m$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{VII} = \int_{R_7}^{R_8} dR = 278,66N$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{VII} = \int_{R_7}^{R_8} dR = 2,48N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{VII} = 111,9996$$

Trecho VIII

$$R_8 = 7,4676\text{m}$$

$$R_9 = 8,5344\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{\text{VIII}} = \int_{R_8}^{R_9} dR = 310,87\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{\text{VIII}} = \int_{R_8}^{R_9} dR = 2,77\text{N}$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{\text{VIII}} = 111,9995$$

Trecho IX

$$R_9 = 8,5344\text{m}$$

$$R_{10} = 9,6012\text{m}$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_{\text{IX}} = \int_{R_9}^{R_{10}} dR = 340,22\text{N}$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_{IX} = \int_{R_9}^{R_{10}} dR = 3,03N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_{IX} = 111,9994$$

Trecho X

$$R_{10} = 9,6012m$$

$$R_{11} = 10,6680m$$

$$\frac{dL}{dR} = -0,4920 - 1,1814 \cdot R^2 + 45,9496 \cdot R \Rightarrow L_X = \int_{R_{10}}^{R_{11}} dR = 366,62N$$

$$\frac{dD}{dR} = -0,004393 - 0,010548 \cdot R^2 + 0,410264 \cdot R \Rightarrow D_X = \int_{R_{10}}^{R_{11}} dR = 3,27N$$

$$\text{Portanto, } \left(\frac{L}{D} \right)_X = 111,9993$$

Na prática, percebe-se que a relação L/D é maior que o valor estimado anteriormente, o que vai a favor da performance do aerofólio. O valor médio de L/D é 112,0362.

Força resultante da pressão do vento sobre a área da pá

A força P resultante da pressão do vento sobre a área da pá é dada por:

$$P = 0.0026 \cdot A \cdot V^2 \quad (6)$$

onde,

A : área projetada da pá no plano de rotação [ft^2]

V : projeção da velocidade do vento no plano de rotação [mph]

A área projetada aproximada é de $5,8\text{m}^2$. Substituindo os valores na equação (6) e passando as unidades para o Sistema Internacional, obtém-se uma força P igual a $4.984,83\text{N}$

9.2.1.2 Força centrífuga

A força centrífuga agindo em cada pá será dada pela seguinte relação:

$$F_c = \frac{0,067 \cdot W \cdot (SR^* \cdot V)^2}{RC} \quad (7)$$

onde,

W: peso da pá [lbf]

SR*: speed ratio no raio correspondente ao CG da pá

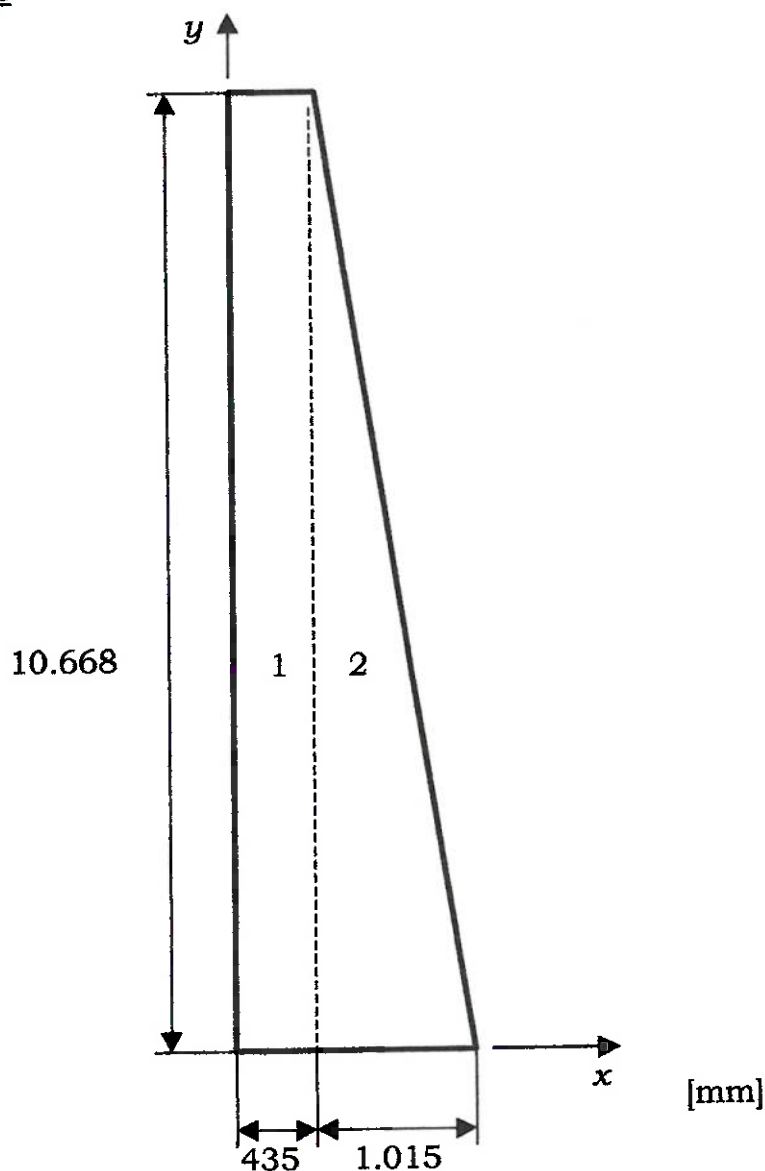
V: projeção da velocidade do vento perpendicular ao plano de rotação

RC: raio correspondente ao CG da pá

Primeiramente, será necessário se calcular a posição do centro de gravidade da pá. Como será visto posteriormente, a estrutura da pá será constituída de vários tubos de aço encaixados e soldados uns aos outros, aos quais estão rebitados perfis de alumínio que darão a conformação geométrica do aerofólio. Toda esta estrutura será recoberta por chapas de alumínio rebitadas aos perfis. A massa de cada uma das pás foi calculada obtendo-se o volume de aço e alumínio utilizados e se multiplicando este volume pelas respectivas densidades de cada material. O valor obtido foi de aproximadamente 600kg. Para o cálculo da posição do centro de gravidade, a estrutura será dividida

em duas partes: na primeira, correspondendo aos perfis e as chapas, será assumido que para esta parte a massa se distribui de forma homogênea, e a segunda, corresponderá aos tubos. Serão calculados os centros de gravidade de cada uma destas partes que serão posteriormente compostos para o cálculo final do CG.

Primeira parte



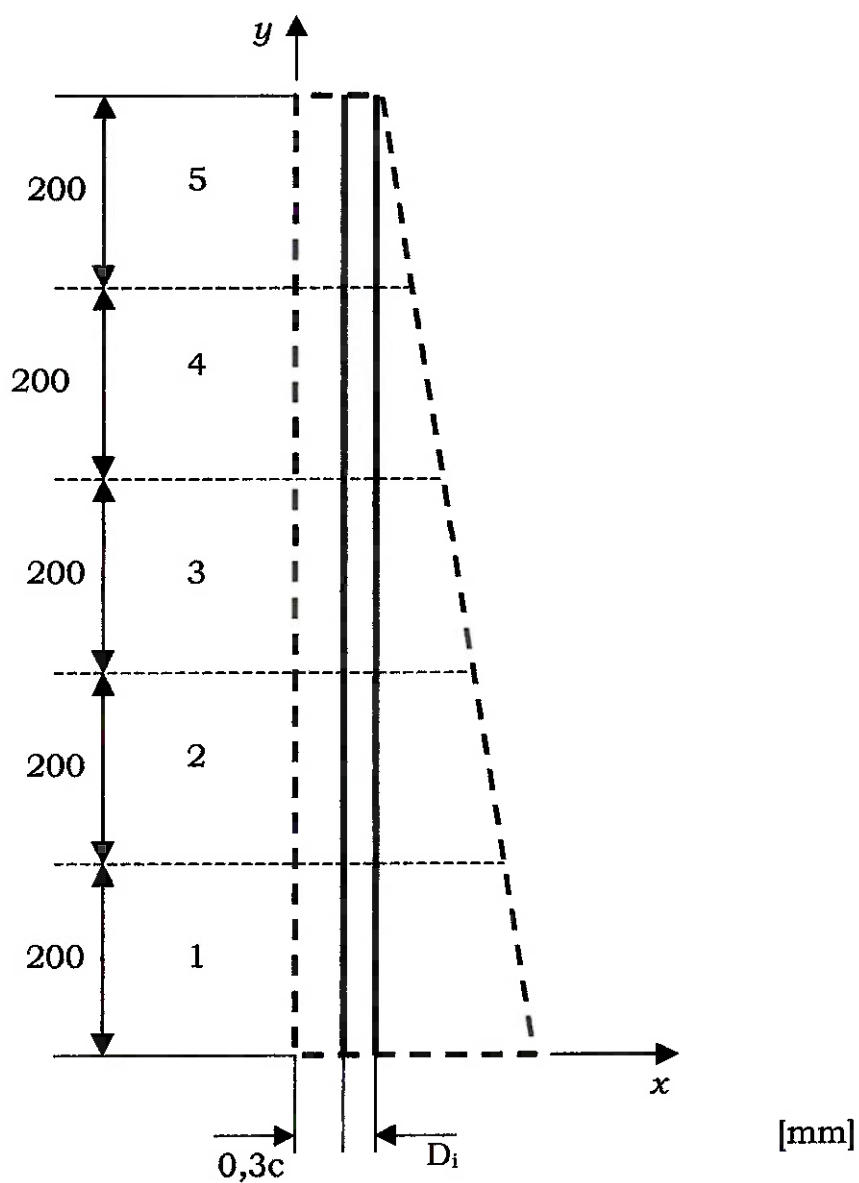
Dividindo-se a figura em um retângulo (1) e um triângulo (2), o CG será a composição dos CG's individuais de cada um deles:

$$\begin{aligned}x_{G1} &= 217,5\text{mm} & x_{G2} &= 773,6\text{mm} \\y_{G1} &= 5.334\text{mm} & y_{G2} &= 3.556\text{mm}\end{aligned}$$

Logo,

$$x_G = \frac{x_{G1} \cdot A_1 + x_{G2} \cdot A_2}{A_1 + A_2} = 516,9\text{mm}$$

$$y_G = \frac{y_{G1} \cdot A_1 + y_{G2} \cdot A_2}{A_1 + A_2} = 4376,6\text{mm}$$

Segunda parte

$$D_1 = 190\text{mm}$$

$$D_2 = 157\text{mm}$$

$$D_3 = 124\text{mm}$$

$$D_4 = 91\text{mm}$$

$$D_5 = 58\text{mm}$$

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^5 x_{Gi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^5 A_i} = 316,6\text{mm}$$

$$y_G = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{Gi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^5 A_i} = 3.935,5\text{mm}$$

Por fim, será feita a composição dos centros de gravidade da primeira e segunda parte. Na primeira, massa envolvida é de 160kg e na segunda, 440kg. Assim,

$$x_G = \frac{440 \cdot 316,6 + 160 \cdot 516,9}{600} = 369,6\text{mm}$$

$$y_G = \frac{440 \cdot 3.935,5 + 160 \cdot 4.376,6}{600} = 4.052,22\text{mm}$$

Calculando SR para o raio de 4.052,22mm, obtém-se o valor de $SR^* = 3,6168$. Desta forma, substituindo-se os demais valores na equação (7), e passando-se depois o resultado para o Sistema Internacional, chega-se ao valor de F_c de 130.255N.

9.2.1.3 Torque no eixo

Para o cálculo do torque no eixo, será utilizada a seguinte relação:

$$T = 2245 \cdot \frac{D \cdot HP}{V \cdot TSR} \quad (8)$$

onde,

D: diâmetro do rotor [ft]

HP: potência gerada pelo rotor [HP]

V: projeção da velocidade do vento perpendicular ao plano de rotação
[mph]

TSP: tip speed ratio

Substituindo-se em (8) os valores numéricos e passando-se o resultado para o Sistema Internacional, obtém-se um torque de 6821,02N.m

9.2.1.4 Momento fletor na raiz da pá

O momento fletor na raiz da pá é dado por:

$$M = 12 \cdot RC \cdot P \quad (9)$$

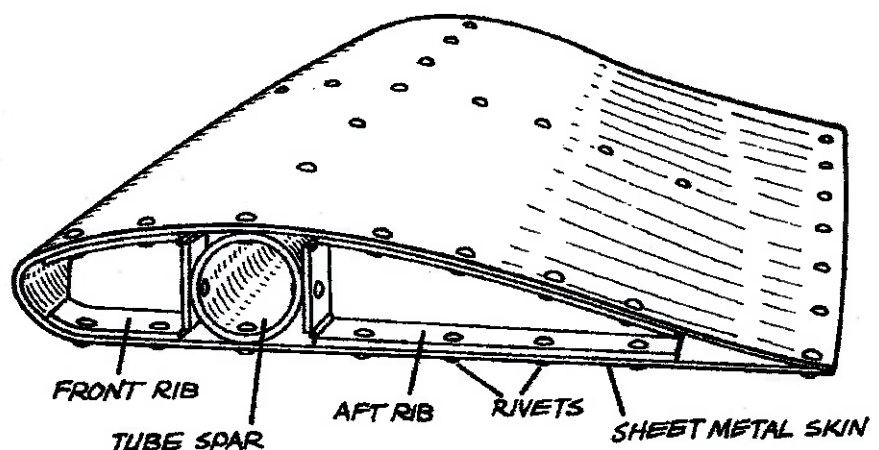
Substituindo-se em (9) os valores numéricos e passando o resultado final para o Sistema Internacional, tem-se como valor de momento fletor na raiz da pá 261.800,70N.m

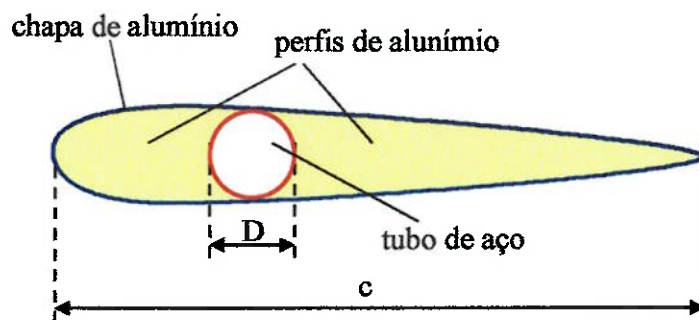
9.2.2 Dimensionamento da Estrutura

9.2.2.1 Apresentação da Estrutura

A estrutura das pás do rotor será constituída de um tubo de aço sem costura ao qual estão rebitados perfis de alumínio dispostos transversalmente ao eixo do tubo. Recobrimdo esta estrutura, haverá uma chapa de alumínio rebitada aos perfis.

Será assumido que apenas o tubo já será suficiente para resistir aos carregamentos calculados anteriormente. O demais elementos da estrutura serão responsáveis pela conformação geométrica da pá, além de oferecer uma rigidez estrutural adicional. O tubo estará posicionado na maior espessura do perfil e o seu diâmetro será esta espessura menos duas vezes a espessura da chapa de recobrimento, conforme ilustram as figuras abaixo:





Para o perfil, NACA 23012, a relação entre a maior espessura e a corda é 0,1311 (**ANEXO 2**). Uma vez que a espessura da chapa de recobrimento é muito pequena quando comparada às demais dimensões, pode-se considerar para efeito de cálculo este mesmo valor para a relação entre a corda e o diâmetro do tubo. Como a corda varia com a envergadura da pá, a espessura também irá variar. Assim sendo, optou-se por dividir a pá em cinco trechos iguais para cada qual haverá um tubo de diâmetro diferente. Estes diâmetros são menores que a menor espessura de cada trecho. Os diâmetros internos dos tubos serão tais que eles se encaixarão uns nos outros sendo posteriormente soldados. Desta forma, tem-se para os diâmetros máximo e mínimo:

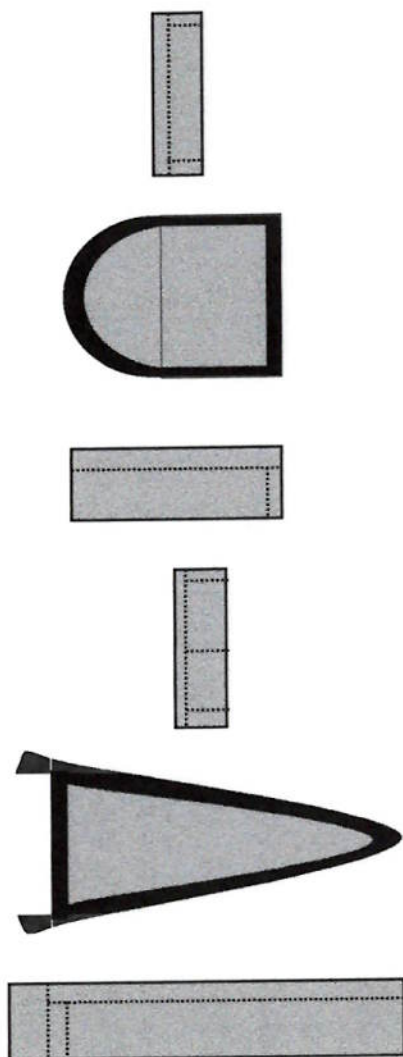
$$c_{\text{máx}} = 1451,43 \text{ mm (raio 0m)} \Rightarrow D_{\text{máx}} = 190 \text{ mm}$$

$$c_{\text{mín}} = 435,44 \text{ mm (raio 10,66m)} \Rightarrow D_{\text{mín}} = 58 \text{ mm}$$

Dividindo-se em cinco intervalos iguais, deverá haver uma variação de 33mm entre os diâmetros sucessivos, o que resulta:

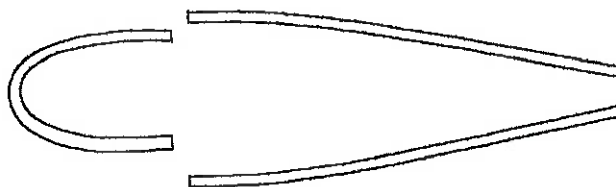
Trecho	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)
1	58	25
2	91	58
3	124	91
4	157	124
5	190	157

Os perfis de alumínio serão estampados em chapas de espessura 3mm e terão o seguinte aspecto:



Estes estarão rebitados de 500 em 500mm ao longo dos tubos, totalizando desta forma 21 pares de perfis.

As chapas de alumínio, terão espessura de 2mm e largura de 500mm, estando rebitadas entre cada dois pares de perfis consecutivos. Haverá uma chapa envolvendo a metade frontal do perfil e duas envolvendo a metade traseira, conforme ilustrado na figura abaixo:

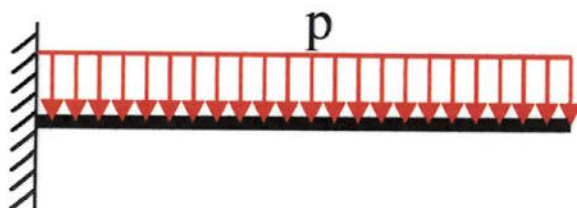


9.2.2.2 Cálculo da Estrutura

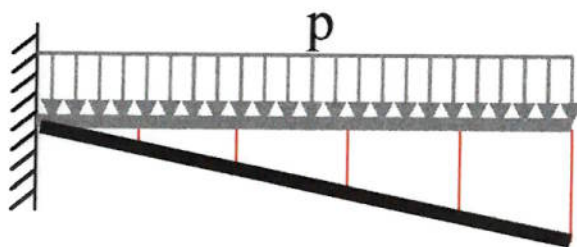
A pá está sujeita à ação de dois tipos de força: um é o das forças de ação aerodinâmica (sustentação L e arrasto D) e o outro é o da força resultante da pressão do vento incidindo sobre a área da pá P . Como o valor de P é muito maior quando comparado aos diversos valores das forças L e D calculados ao longo da envergadura da pá, é usual se considerar somente a primeira no projeto estrutural da pá. Isso se justifica pelo fato de a força P ter um efeito global em toda a estrutura,

ao contrário das forças de ação aerodinâmica que possuem um efeito apenas local em cada trecho da estrutura.

O modelo adotado para o dimensionamento dos tubos foi e de uma viga engastada submetida a uma carga distribuída equivalente à pressão do vento incidindo na superfície da pá. O valor da força P calculado anteriormente foi de 4984,83N o que resulta numa carga distribuída de 467,62N/m. A figura a seguir ilustra o modelo adotado:



Para o carregamento da figura anterior, a configuração deformada ficará com o seguinte aspecto:



onde os deslocamentos de cada trecho estão indicados pelas linhas vermelhas.

A Resistência dos Materiais fornece que o deslocamento na extremidade de uma viga em balanço submetida a uma carga distribuída p é dado pela seguinte relação:

$$\delta = \frac{p \cdot L^3}{8 \cdot E \cdot I} \quad (10)$$

onde,

δ : deslocamento na extremidade da viga

p : carga distribuída

L : comprimento da viga

E : módulo de elasticidade do material da viga

I : momento de inércia da seção transversal da viga em relação ao eixo paralelo à direção do deslocamento

No caso da pá, a relação anterior será aplicada para cada um dos trechos assumindo que cada um deles tenha o comportamento de uma viga engastada. O deslocamento de cada trecho será o deslocamento relativo ao trecho anterior.

O momento de inércia para um tubo é dado por:

$$I = \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{64} \quad (11)$$

onde:

D_e : diâmetro externo do tubo

D_i : diâmetro interno do tubo

Para os diferentes tubos da estrutura haverá os seguintes momentos de inércia:

$$I_1 = 5,36 \cdot 10^{-7} \text{m}^4$$

$$I_2 = 27,81 \cdot 10^{-6} \text{m}^4$$

$$I_3 = 8,79 \cdot 10^{-6} \text{m}^4$$

$$I_4 = 2,10 \cdot 10^{-5} \text{m}^4$$

$$I_5 = 4,29 \cdot 10^{-5} \text{m}^4$$

Assim, as relações para deslocamentos relativos ficam:

$$\delta_1 - \delta_2 = \frac{4,76 \cdot 10^{-9}}{I_1}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = \frac{4,76 \cdot 10^{-9}}{I_2}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = \frac{4,76 \cdot 10^{-9}}{I_3}$$

$$\delta_4 - \delta_5 = \frac{4,76 \cdot 10^{-9}}{I_4}$$

$$\delta_5 = \frac{4,76 \cdot 10^{-9}}{I_5}$$

onde, $4,76 \cdot 10^{-9}$ corresponde ao produto de p por L^3 dividido por E , cujo valor para o aço é 210 GPa.



Substituindo os valores de I_1 , I_2 , I_3 , I_4 e I_5 nas equações acima, se obtém os seguintes valores para os deslocamentos:

$$\delta_1 = 8,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_2 = 2,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_3 = 8,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

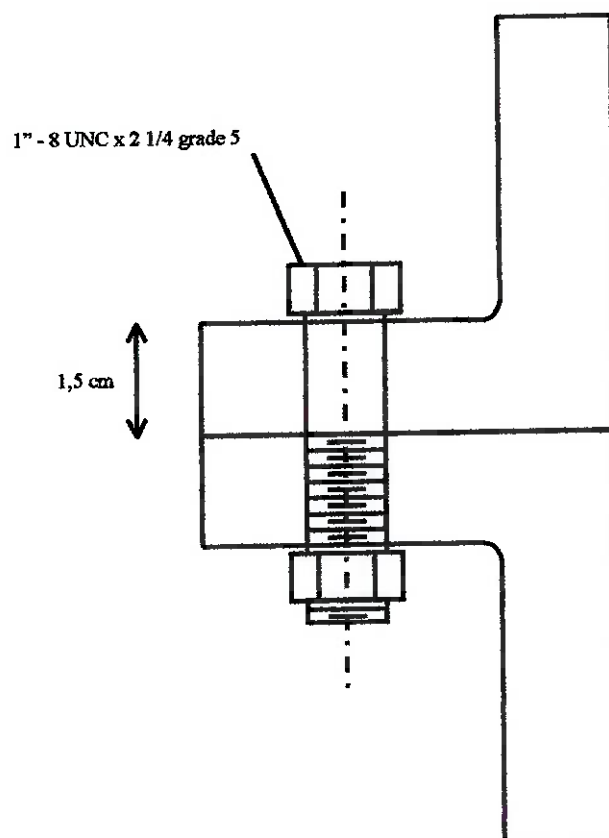
$$\delta_4 = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_5 = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Estes valores de deslocamento se mostram bastante satisfatórios quando se leva em conta a envergadura da pá que é de pouco mais de 10m.

9.2.3 Dimensionamento da Flange

Para a flange unindo as pás e o cubo, tem-se a seguinte estrutura:



Para a determinação do tipo e/ou número de parafusos a serem utilizados na junção pá/cubo, podem-se utilizar diversos métodos. Alguns objetivam a escolha do tipo de parafuso a partir do número de

parafusos a serem utilizados na junção. Outros, utilizam o caminho inverso, ou seja, a partir de um parafuso específico, determina-se o número de parafusos necessários para suportar as cargas. No problema acima descrito, optou-se pelo segundo método.

Tem-se então, para um coeficiente de segurança 2, uma força de separação na flange de $F=260.510\text{N}$.

Escolheu-se o parafuso 1"-8 UNC x 2 ¼ grade5 (1" de diâmetro nominal, 8 roscas por polegada).

A constante k_b do parafuso é dada por:

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} = 19,97\text{Mlbf / in}$$

Para as flanges, temos:

$$k_m = \frac{0,577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{2 \cdot \ln \left(5 \cdot \frac{0,577 \cdot l + 0,5 \cdot d}{0,577 \cdot l + 2,5 \cdot d} \right)} = 43,96\text{Mlbf / in}$$

Portanto, temos a constante C total:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = 0,312$$

Das tabelas do **ANEXO 2** tem-se:

$$A_t = 0,606 \text{ in}^2$$

$$S_p = 85 \text{ kpsi}$$

Tem-se então a pré-carga recomendada dada pela fórmula:

$$F_i = 0,75 \cdot A_t \cdot S_p = 38,63 \text{ kpi}$$

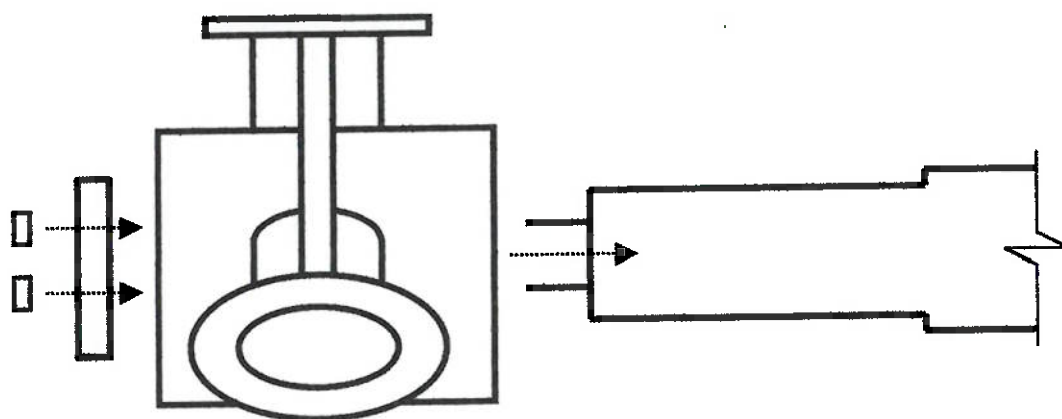
O número de parafusos necessários será então:

$$N = \frac{4 \cdot C \cdot F}{S_n \cdot A_t - F_i} = 5,67$$

Portanto, serão utilizados seis parafusos na flange.

9.2.4 Dimensionamento do Cubo

O cubo que irá acoplar o rotor ao eixo da turbina será uma peça única, cuja montagem encontra-se esquematizada abaixo:



O cubo será constituído por uma luva com um entalhado interno que será encaixada ao eixo e por três tubos flangeados dispostos radialmente a esta luva distanciados 120° entre si nos quais serão fixadas as pás do rotor. Existem ainda três nervuras circulares entre os tubos as quais será parafusada a nacele, além de oferecer uma rigidez adicional aos tubos. Para evitar deslocamentos axiais do cubo em relação ao eixo será utilizada uma peça parafusada ao mesmo. Os tubos e as flanges serão semelhantes ao tubo e flange da pá, sendo desnecessário realizar o seu dimensionamento, uma vez que o mesmo

já foi feito quando se calculou a estrutura da pá. Será portanto dimensionada apenas a luva.

Para um eixo submetido à torção tem-se que:

$$\tau = \frac{T \cdot R}{J} \quad (1)$$

onde,

T: momento torsor

J: momento polar de inércia

τ : tensão de cisalhamento

R: raio do eixo

Admitindo ser o diâmetro do eixo igual a 99,7 mm o seu momento de inércia calculado por

$$J = \frac{\pi \cdot R^4}{2} \quad (2)$$

resulta em 9.700.196 mm⁴

O torque aplicado ao eixo é de 6821 N.m. Substituindo os valores em (1), chega-se a um valor τ de 35,053MPa que é bem inferior ao valor de τ admissível para o aço.

Para a luva, será admitido uma espessura de 50mm. Substituindo em (2) R^4 por $(R_o^4 - R_i^4)$, chega-se a um valor de J igual a 145.892.121mm⁴, o que dá uma tensão de cisalhamento de 4,6 MPa.

Multiplicando-se o volume de aço do cubo pela densidade de 7860kg/m³ obtém-se a massa de aproximadamente 50kg.

Para o elemento de fixação do cubo ao eixo, serão utilizados oito porcas M16, das quais quatro estarão atuando como porcas e quatro, como contra-porcas.

10. PROJETO DO CONJUNTO DE POTÊNCIA

10.1 SELEÇÃO DO MULTIPLICADOR DE ROTAÇÕES

10.1.1 Introdução

No projeto de turbinas eólicas, se faz necessária a presença de um multiplicador de rotação, uma vez que o rotor fornece rotações com valores muito inferiores às rotações de trabalho dos geradores comercialmente disponíveis.

Para desempenhar esta função, geralmente são selecionados redutores de velocidade com engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais (ECDH). Este tipo de engrenagem possibilita que o redutor possa trabalhar no sentido oposto como multiplicador de rotação, sem o risco de ocorrer travamento.

Escolheu-se para a seleção os redutores da Linha H⁺ da Transmotécnica, cujos *data sheets* encontram-se no **ANEXO 3**.

10.1.2 Procedimento de Seleção

Embora todos os redutores da Linha H⁺ da Transmotécnica possam ser utilizados como multiplicadores de rotação, o procedimento descrito no catálogo é para a seleção de redutores, não havendo um procedimento específico para a seleção de multiplicadores. Tal fato não é inconveniente, pois os multiplicadores podem ser selecionados por este mesmo procedimento fazendo-se a suposição que eles estejam trabalhando como redutores. Para isto, basta apenas inverter as rotações de entrada e saída do mesmo.

1. Determinação da relação de redução:

Assumindo uma rotação de entrada de 60 rpm e havendo uma de saída de 1750 rpm, tem-se que a relação de redução é:

$$i = \frac{1750}{60} = 29,16$$

Tomando-se a relação maior mais próxima do valor obtido nas tabelas de capacidades na entrada para redutores de redução dupla de eixos horizontais do **ANEXO 3**, a nova relação de redução

será 31,5. Mantendo-se a rotação de entrada de 1750 rpm, a nova rotação de saída será de 56 rpm para esta relação de redução. Na prática, os valores de redução podem variar de $\pm 2\%$ em relação à este valor.

2. Estabelecimento da classificação da carga com base na tabela de classificação de cargas do **ANEXO 3** (classificação de cargas conforme AGMA - American Gear Manufacturers Association):

Da tabela, a classificação de cargas para geradores é uniforme (U)

3. Determinação do fator de serviço (F_s), indicado pela tabela de fatores de serviço do **ANEXO 3**:

Da tabela,

$$F_s = 1,25 \text{ (gerador, carga uniforme 10h/dia ou mais)}$$

4. Determinação da capacidade equivalente requerida pelo redutor:

$$P_e = P_c \cdot F_s$$

onde,

P_c : potência efetiva da carga em CV

Para P_c igual a 50kW (=67CV), tem-se que P_e será igual a 83,75CV.

Selecionando-se nas tabelas de capacidade mecânica um redutor cuja capacidade mecânica seja igual ou superior ao valor obtido de P_e , chega-se ao modelo **H 12-19** de redução dupla, cuja capacidade mecânica é igual a 88CV. As dimensões do redutor H 12-19 encontram-se no **ANEXO 3**.

10.2 DIMENSIONAMENTO DO MANCAL DE ESCORA DO EIXO

10.2.1 Seleção do Rolamento

A seleção preliminar do tipo de rolamento é feita pela Tabela Seleção do Tipo de Rolamento do **ANEXO 3**. Nesta tabela, pode-se encontrar o tipo de rolamento mais adequado dadas as condições de solicitação existentes. Para o caso em questão, o tipo de rolamento selecionado é o de rolamento de rolos cônicos dispostos em X, que se destacam por

ter a classificação excelente (+++) para os critérios cargas combinadas e alta rigidez.

O diâmetro do eixo, segundo as dimensões do redutor H 12-19 é de 139,7mm. Para este diâmetro, seleciona-se inicialmente três rolamentos, cujos diâmetros de furo são iguais a 140mm:

- 32038X/DF
- 32228/DF
- 31328X/DF

A primeira tentativa de seleção será feita com o rolamento 32028X/DF por ser este o menor dos três, e portanto, o que apresenta menor custo. As forças radiais e axiais que estão agindo no rolamento do mancal de escora do eixo do rotor são:

$F_r = 18.500\text{N}$ (correspondente ao peso do rotor)

$F_a = 15.000\text{N}$ (correspondente à pressão do vento nas três pás)

Desta forma,

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,81 \geq e$$

onde, “e”, segundo o *data sheet* dos rolamentos presente no **ANEXO 3** vale 0,46 para o rolamento em questão.

Neste caso, em que $\frac{F_a}{F_r} \geq e$, a carga dinâmica equivalente P é calculada pela seguinte relação:

$$P = F_r + Y_1 \cdot F_a \quad (1)$$

onde, o valor de Y_1 é extraído do *data sheet* dos rolamentos e vale 1,5 para o 32028X/DF. Desta forma, o valor de P é igual a 41.000N.

O valor da carga estática equivalente P_o é dado por:

$$P_o = F_r + Y_o \cdot F_a \quad (2)$$

onde, da mesma forma que Y_1 , Y_o é extraído do *data sheet* e vale 1,4. Chega-se assim, ao valor de 39.500N para P_o .

Para 5 anos de trabalho, a vida nominal em horas (L_{10h}) será igual a 45.000h. A vida nominal em revoluções será dada por:

$$L_{10} = \frac{60 \cdot h}{10^6} = 162 \cdot 10^6 \text{ revoluções}$$

L_{10} também é expressa pela seguinte relação:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (3)$$

onde,

C: capacidade de carga dinâmica [N]

P: carga dinâmica equivalente [N]

p: expoente que vale 3 para rolamento de esferas e $\frac{10}{3}$ para rolamento de rolos.

De forma análoga para o caso estático, tem-se:

$$L_{10} = \left(\frac{C_o}{P_o} \right)^p \quad (4)$$

Substituindo-se os valores de L_{10} , p e, respectivamente, P e P_o em (3) e (4), obtém-se os valores de C e C_o :

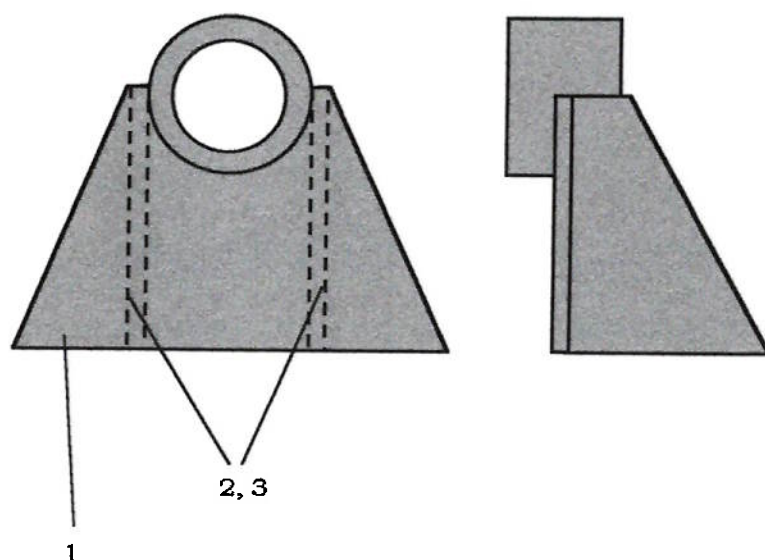
$$C = 188.641$$

$$C_o = 181.740$$

Para o rolamento 32028X/DF, os valores disponíveis de C e C_0 são 561.000 e 1.160.000, que são maiores que os respectivos valores calculados. Desta forma, o rolamento 32028X/DF será o rolamento selecionado, uma vez que suporta de forma satisfatória as cargas axial e radial atuantes.

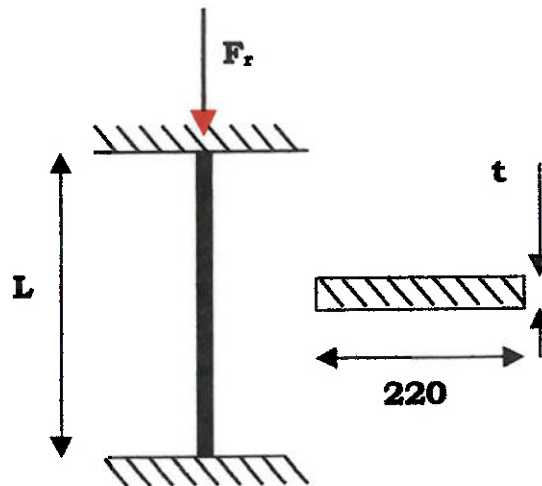
10.2.2 Dimensionamento do Alojamento do Rolamento

O alojamento do rolamento de escora do eixo do será confeccionado de chapas e um tubo de aço soldados entre si conforme ilustrado no desenho abaixo. O conjunto todo será soldado à base.



10.2.2.1 Dimensionamento à força radial F_r

Para este dimensionamento, o cálculo da chapa 1 da figura será feito para a flambagem. Desta forma, tem-se:



O objetivo será encontrar uma espessura t que satisfaça aos critérios de Euler para flambagem de vigas.

Para uma viga submetida a força normal de compressão, Euler estabelece a seguinte relação:

$$I = \frac{P_{cr} \cdot L_n^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (1)$$

onde,

I : momento de inércia da seção transversal da viga

P_{cr} : carga nominal multiplicada pelo coeficiente de segurança

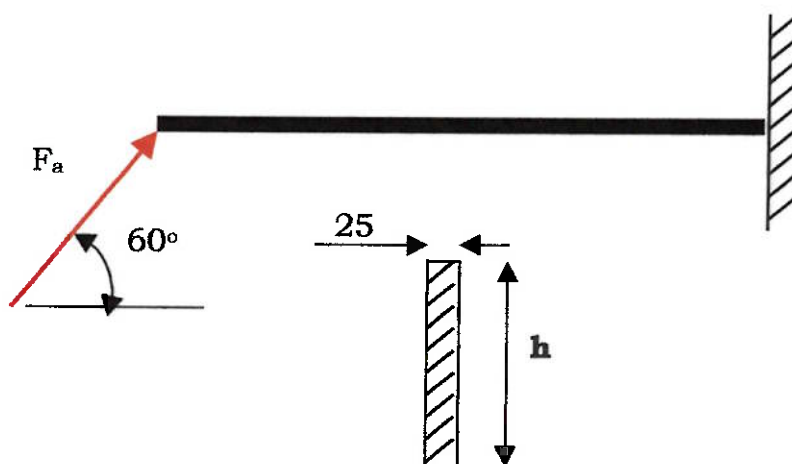
L_n : comprimento de flambagem em função da vinculação da viga

E : módulo de elasticidade do material da viga

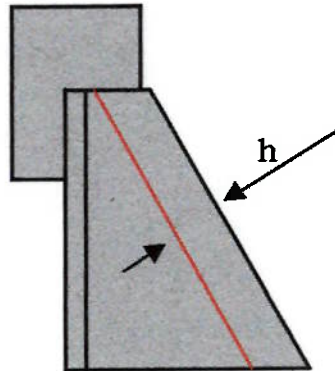
Assumindo o valor de 3 para o coeficiente de segurança, obtém-se uma espessura mínima t_{cr} de 3,34 mm. Normalizando este valor, serão adotados 5mm para a espessura da chapa 1.

10.2.2.2 Dimensionamento à força axial F_a

Para este dimensionamento, o cálculo das chapas 2 e 3 da figura será feito para a flambagem e para a flexão. Desta forma, tem-se:



O objetivo será encontrar um valor de h que satisfaça aos critérios de flambagem de Euler e os de flexão em vigas engastadas. A dimensão h a ser considerada encontra-se indicada na figura abaixo:



Para flambagem, a carga será $F_a \cdot \sin 60^\circ$. Utilizando-se a relação de Euler com um coeficiente de segurança igual a 3, obtém-se um valor de $667,67 \text{ mm}^4$ para I . A este valor de I corresponde h igual a $6,43 \text{ mm}$

Para a flexão em uma viga em balanço submetida a uma força cortante, é dada a seguinte relação:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

onde,

δ : deflexão na extremidade da viga

P: força cortante

E: módulo de elasticidade do material

I: momento de inércia da seção transversal da viga em relação ao eixo paralelo à direção de deslocamento

No caso em questão, P será igual a $F_a \cdot \sin 60^\circ$ multiplicada pelo coeficiente de segurança 3. O valor de h obtido para este caso é de 166,72mm. Como este valor é maior que o de 6,43 obtido anteriormente, ele irá prevalecer.

10.3 ACOPLAMENTOS ELÁSTICOS

10.3.1 Introdução

Na turbina eólica existem dois eixos que são críticos para o funcionamento do equipamento como um todo: o eixo que liga o rotor ao multiplicador de velocidades e o eixo que liga o multiplicador ao gerador. Tais eixos estão sujeitos a altas vibrações, choques e desalinhamentos angular e axial, uma vez que as massas envolvidas são grandes. A fim de contornar estes inconvenientes devem ser

selecionados acoplamentos elásticos para serem montados nos eixos entre o rotor e o multiplicador e o multiplicador e o gerador. Para este projeto foram selecionados acoplamentos elásticos Teteflex[®] fabricados pela Transmotécnica. Estes acoplamentos, além de absorver vibrações, choques e desalinhamentos axial e angular, também possuem grande elasticidade torsional, não dão origem a forças axiais prejudiciais aos mancais e estão aptos para trabalhar em velocidades altas e baixas e na posição vertical e horizontal.

10.3.2 Seleção do acoplamento

O procedimento de seleção a ser seguido é o sugerido pelo fabricante em catálogo. Das tabelas Fator M, Fator T_s e Fator R do **ANEXO 3**, obtém-se:

$M = 1,0$ (motor elétrico)

$T_s = 1,12$ (16-24 h/dia)

$R = 1,2$ (gerador de luz)

O Fator F pode ser calculado da seguinte forma:

$$F = R \cdot T_s \cdot M = 1,34$$

Para o eixo entre o rotor e o multiplicador, tem-se $n = 60$ rpm e $P_e = 83,75$ CV:

$$\frac{P_e \cdot F}{n} = 1,87$$

Da tabela contendo os tamanhos dos acoplamentos presente no **ANEXO 3**, para o valor 1,87 o acoplamento selecionado deverá ser do tamanho D-15.

Para o eixo entre o multiplicador e o gerador, tem-se $n = 1.750$ rpm e $P_e = 83,75$ CV:

$$\frac{P_e \cdot F}{n} = 0,064$$

Da tabela contendo os tamanhos de acoplamentos presente no **ANEXO 3**, para o valor 0,064 o acoplamento selecionado deverá ser do tamanho D-6. Entretanto, da tabela de dimensões dos acoplamentos, o valor de furo máximo para o acoplamento D-6 é 55mm e o diâmetro do eixo de saída do multiplicador é de 69,85mm. Assim, deverá se selecionado o acoplamento D-9, cujo diâmetro de furo máximo é 80mm. O fabricante fornece o acoplamento com furo

acabado e rasgo de chaveta conforme DIN 6885 ou com furo em bruto cujo diâmetro pode ser ajustado de acordo com a conveniência necessária.

10.4 FREIO

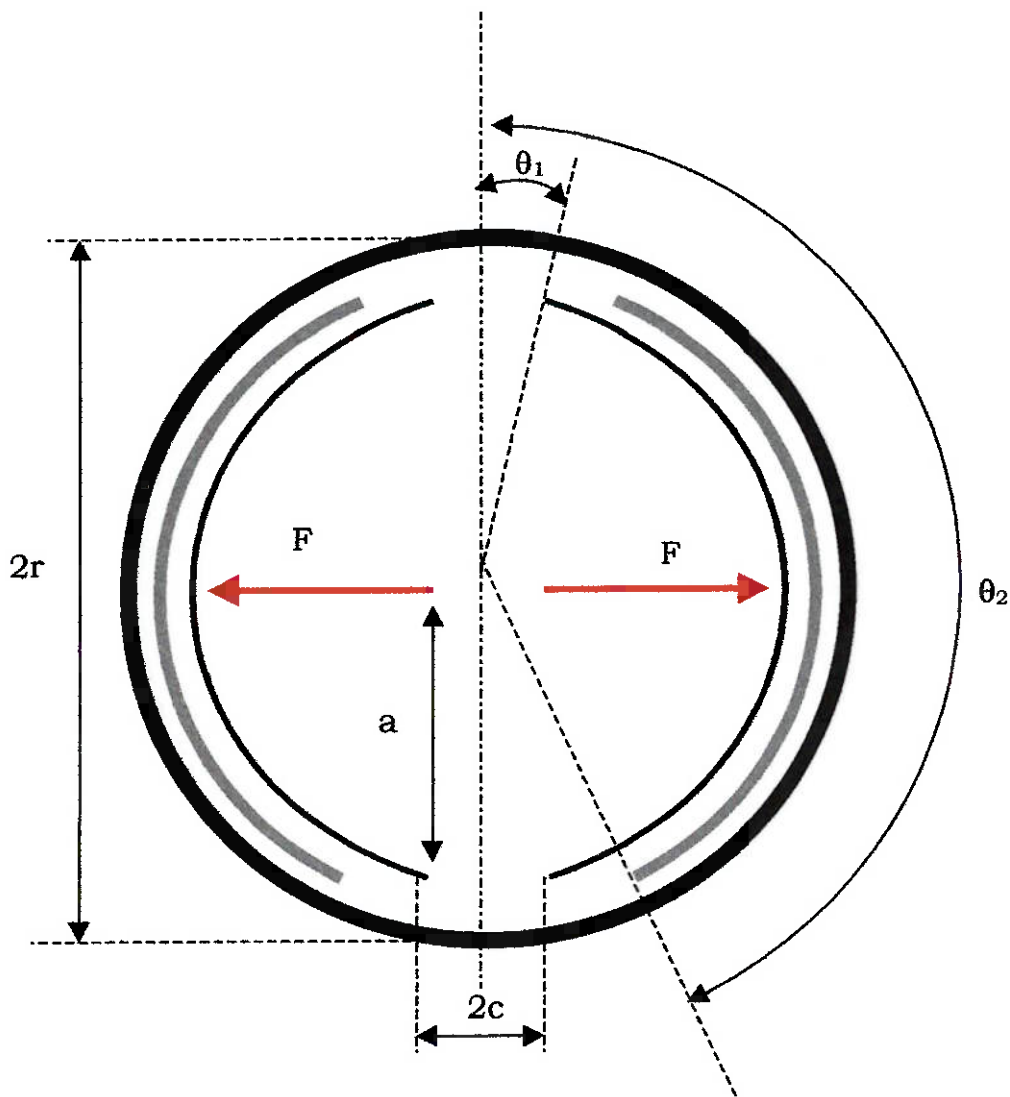
10.4.1 Introdução

Um dos requisitos de segurança fundamentais em turbinas eólicas é a presença de um sistema de freio que, dada uma determinada rotação limite, atue no sistema impedindo que este limite de rotação seja ultrapassado, o que fatalmente implicaria em riscos de acidentes e danos ao equipamento. Este sistema de freio se faz essencial dada à aleatoriedade das velocidades de vento que podem por muitas vezes atingir valores extremamente altos. Os sistemas de freio comumente utilizados em turbinas eólicas são em geral auto-controláveis, isto é, ao se ultrapassar o limite de segurança de rotação, eles começam a atuar até que seja restabelecida uma condição abaixo deste limite, sendo assim desativados. Para este tipo de aplicação, são normalmente encontrados freios de acionamento elétrico, mecânico ou hidráulico.

10.4.2 Dimensionamento do freio

10.4.2.1 Considerações preliminares

Para o projeto em questão, optou-se por um sistema de acionamento mecânico dada a menor complexidade e custo do mesmo. Este sistema será constituído por um freio de ação centrífuga de duas sapatas presas a um eixo que gira e um tambor externo fixo. Esquemáticamente, o freio terá o seguinte aspecto:



onde,

F: força aplicada por cada sapata no tambor.

O eixo escolhido para se fixar as sapatas foi o eixo de saída do multiplicador, que para isso deverá ter a configuração 3 ilustrada nos *data sheets* do multiplicador. O eixo de entrada não foi escolhido devido ao fato de neste eixo, a rotação ser muito baixa (algo em torno de 50 a 60 rpm), o que portanto exigiria uma massa muito grande das sapatas para que o freio pudesse gerar um torque resistente suficiente. O eixo de saída, por possuir uma rotação da ordem de 1750 rpm, exige uma massa das sapatas bem menor. Um inconveniente a respeito da escolha do eixo de saída é que todos os choques resultantes da ação do freio no conjunto do rotor serão descarregados também nas engrenagens e no eixo intermediário do multiplicador, o que não ocorreria se o freio estivesse agindo diretamente no eixo de entrada. Entretanto, este inconveniente será reduzido significativamente pelo acoplamento elástico selecionado anteriormente.

A hipótese inicial, é que a força F será resultante unicamente da ação centrífuga, isto é, a força aplicada no tambor será resultante da pressão das sapatas sobre o tambor após um deslocamento das mesmas no plano de rotação, deslocamento este ocasionado pela

força centrífuga que está atuando nelas em decorrência do seu movimento de rotação.

10.4.2.2 Conceitos básicos

Seja considerada inicialmente a pressão unitária p atuando em um elemento de área do tambor, a um ângulo θ do eixo de simetria do tambor. Designando p_a a máxima pressão atuante a qual corresponde um ângulo θ_a , inicialmente assume-se a pressão p é proporcional à distância vertical tomada a partir do ponto em que a pressão p_a atua.. Como esta distância é proporcional a $\text{sen } \theta$, pode-se escrever:

$$\frac{p}{\text{sen } \theta} = \frac{p_a}{\text{sen } \theta_a} \Rightarrow p = p_a \cdot \frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \theta_a} \quad (1)$$

A um ângulo θ , atua uma força normal diferencial de reação dN , cujo valor é:

$$dN = p \cdot b \cdot d\theta \quad (2)$$

onde,

b: largura da sapata.

Substituindo (1) em (2), tem-se:

$$dN = \frac{p \cdot b \cdot \sin \theta}{\sin \theta_a} d\theta \quad (3)$$

O objetivo é obter a força atuante F e as condições impostas serão as de equilíbrio estático.

O momento resultante das forças de fricção em relação a uma das extremidades da sapata é:

$$M_F = \int_{\theta_1}^{\theta_2} f \cdot dN \cdot (R - a \cdot \cos \theta) = \frac{f \cdot p_a \cdot b \cdot R}{\sin \theta_a} \cdot \left(R - R \cdot \cos \theta - \frac{c}{2} \cdot \sin^2 \theta \right)_{\theta_1}^{\theta_2} \quad (4)$$

onde,

f: coeficiente de atrito entre a superfície da sapata e a do tambor

O momento resultante das forças normais ao longo da sapata em relação a uma das extremidades da mesma é:

$$M_N = \int_0^{\theta_2} dN \cdot (c \cdot \sin \theta) = \frac{p_a \cdot b \cdot R \cdot c}{\sin \theta_a} \cdot \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\theta \right) \Big|_0^{\theta_2} \quad (5)$$

obs.: o valor de θ nas equações (5) e (6) deve estar em radianos.

A força F pode ser obtida pela seguinte relação:

$$F = \frac{M_N - M_F}{2 \cdot a} \quad (6)$$

O torque T_s aplicado ao tambor por cada sapata:

$$T_s = \int_0^{\theta_2} f \cdot R \cdot dN = \frac{f \cdot p_a \cdot b \cdot R^2 (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{\sin \theta_a} \quad (7)$$

Por fim, o torque T aplicado pelo freio ao tambor é:

$$T = s \cdot T_s \quad (8)$$

onde

s : número de sapatas

10.4.2.3 Dimensionamento

1. Dados:

O freio a ser dimensionado será um freio com duas sapatas recobertas por asbesto. Foram assumidos os seguintes parâmetros para o dimensionamento do freio:

$$\theta_a = 90^\circ$$

$$\theta_1 = 30^\circ$$

$$\theta_2 = 150^\circ$$

$$a = 0,25\text{m}$$

$$b = 0,1\text{m}$$

$$c = 0,1\text{m}$$

$$s = 2$$

$$R = 0,3\text{m}$$

$$f = 0,32$$

$$p_a = 1\text{MPa (máximo admissível para o recobrimento de asbesto)}$$

2. Cálculo de M_F

Substituindo os valores em (4), obtém-se que:

$$M_F = 5.051 \text{ N.m}$$

3. Cálculo de M_N

Substituindo os valores em (5), obtém-se que:

$$M_N = 12.322 \text{ N.m}$$

4. Cálculo de F

Substituindo os valores em (6), obtém-se que:

$$F = 16.156 \text{ N.m}$$

5. Cálculo de T_s

Substituindo os valores em (7), obtém-se que:

$$T_s = 4.998 \text{ N.m}$$

6. Cálculo de T

Substituindo os valores em (8), obtém-se que:

$$T_s = 9.996 \text{ N.m } (>6.821 \text{ N.m})$$

Como o torque aplicado pelo freio é superior ao torque resultante no eixo do rotor, conclui-se que a capacidade de frenagem é suficiente.

10.4.3 Molas de Retorno

Como já foi mencionado anteriormente, o deslocamento das sapatas no plano de rotação é ocasionado pela força centrífuga que está atuando nas mesmas em decorrência do seu movimento de rotação. Assim que a rotação for reduzida a um valor inferior ao limite de segurança, o freio deve ser desacionado o que significa que as sapatas devem perder o contato com o tambor sendo afastadas do mesmo e assim permanecendo até um novo acionamento do freio. Este retorno será feito por molas. Estas molas devem ser dimensionadas de tal forma que permitam às sapatas se deslocarem apenas depois que se ultrapassa a rotação de trabalho do gerador, atingindo o seu máximo na rotação limite. Para tanto, as molas deverão ter uma força de pré-carga que será igual à força centrífuga na rotação de trabalho do gerador.

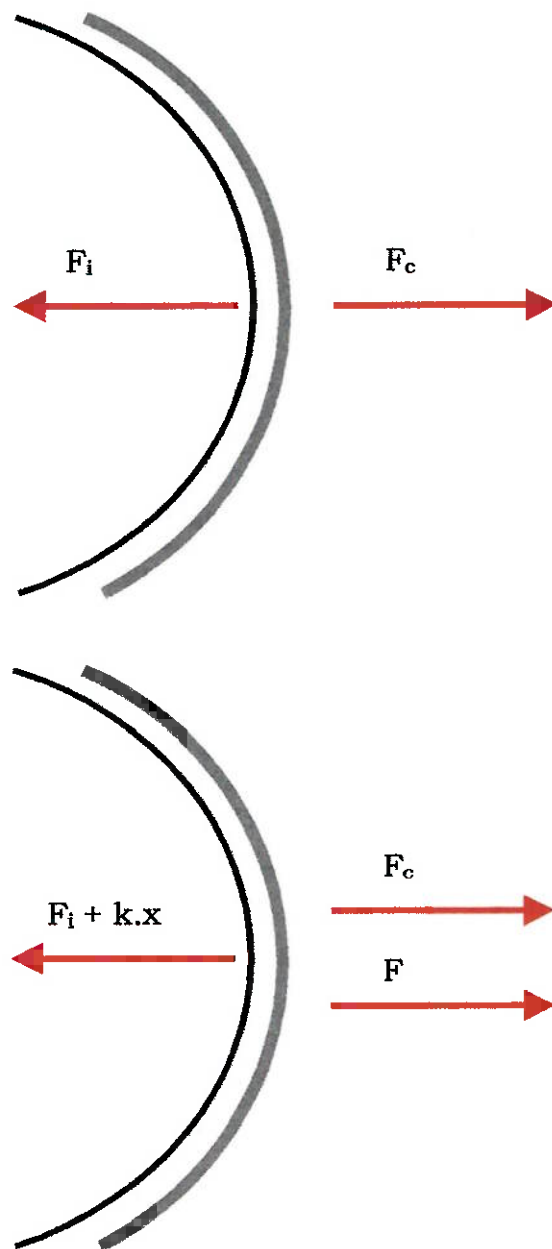
Inicialmente, será calculada uma primeira estimativa da massa da sapata. O valor da força F calculada anteriormente, será igualado à força centrífuga da sapata no limite de segurança para a rotação. Uma vez que a rotação de trabalho do gerador é 1750 rpm, será admitida uma sobrecarga de 10%, ou seja 1925rpm. Para este valor de rotação será atribuído o limite de segurança.

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot R \quad (9)$$

onde, ω é a velocidade angular

Substituindo-se os valores em (9), chega-se a uma massa de 1,228kg para cada sapata.

A mola escolhida será do tipo helicoidal de extensão com pré-carga F_i , sendo esta pré-carga a força que uma espira faz na outra quando a mola está livre de carregamentos externos. Será admitido que a sapata começará a se deslocar acima de 1750rpm atingindo o seu deslocamento máximo (freio aplicando a força F no tambor) a 1925rpm. Como a massa de 1,228kg foi calculada admitindo-se inicialmente não haver mola, será assumido o valor de 1,3kg para a massa das sapatas. O acréscimo na força centrífuga em decorrência desta massa adicional será compensado pela ação da mola de forma que a força F mantenha-se inalterada. Com isso, para 1750rpm e 1925rpm os diagramas de corpo livre da sapata serão respectivamente:



A força de pré-carga F_i é dada por:

$$F_i = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \tau_i}{8 \cdot K_s \cdot D} \quad (10)$$

onde,

d: diâmetro da seção transversal do filete que compõe cada espira

D: diâmetro médio de cada espira

τ_i : tensão torsional nas espiras devido à pré-carga

K_s : fator de correção de tensão de cisalhamento

O fator K_s é calculado pela seguinte expressão:

$$K_s = \frac{2 \cdot C + 1}{2 \cdot C} \quad (11)$$

onde,

C: índice de mola (razão entre D e d)

O valor de C varia em geral de 4 a 16, sendo que a rigidez da mola é inversamente proporcional a este valor. Para o caso em questão, o valor de C adotado será 4. Substituindo-se em (11), chega-se a um valor de 1,125 para K_s .

Substituindo-se em (10) o valor da força centrífuga para a massa de 1,3kg a 1750rpm, o valor de K_s calculado anteriormente e o valor de τ_i como sendo 183MPa para uma mola de aço com C igual a 4 de acordo com a tabela no **ANEXO 3**, chega-se a um valor de d igual a 28mm e, conseqüentemente, a um valor de D igual a 111mm. Esta mola, embora satisfaça as condições do problema, possui dimensões incompatíveis para efeito de montagem no freio. A solução para este

problema, é de se utilizar uma associação em paralelo de duas ou mais molas cuja constante de mola equivalente (k_{eq}) seja igual à constante de mola (k) da mola calculada inicialmente. Utilizando-se o mesmo procedimento de cálculo, e que a força F_i em cada mola será a força F_i original dividida pelo número de molas, obteve-se:

- Para duas molas:

$$d = 20\text{mm}$$

$$D = 80\text{mm}$$

- Para três molas:

$$d = 13\text{mm}$$

$$D = 64\text{mm}$$

- Para quatro molas:

$$d = 14,3\text{mm}$$

$$D = 57,2\text{mm}$$

- Para seis molas:

$$d = 11\text{mm}$$

$$D = 5,8\text{mm}$$

- Para oito molas:

$$d = 10,1\text{mm}$$

$$D = 40,4\text{mm}$$

A configuração de oito molas foi a escolhida pelas suas características dimensionais que são compatíveis com os aspectos referentes a montagem.

Dando procedimento ao cálculo da mola faz-se o equilíbrio estático das forças indicadas no diagrama de corpo livre e admite-se um deslocamento x de 5mm.

$$F + F_c - F_i - k \cdot x = 0 \quad (12)$$

Chega-se assim, a um valor de k_{eq} de 190.200N/m, o que resulta em 23.775N/m para cada mola.

A equação a seguir fornece a constante de mola k em função das características geométricas da mola e do material que a compõe:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N_a} \quad (13)$$

onde,

G: módulo de elasticidade transversal

N_a : número de espiras ativas da mola

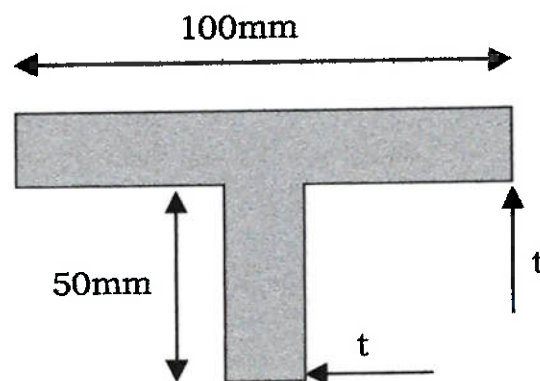
O valor de G para o aço é de 79,3 GPa. Será assumido como 5 o número de espiras ativas da mola, dados os diâmetros d e D e o espaço que se tem disponível no freio para a montagem da mola. Substituindo-se os valores mencionados em (13), obtém-se um valor de k de 313.635N/m para a mola o que resulta num k_{eq} de 2.509.080N/m. Substituindo-se este valor de k_{eq} em (12) obtém-se um valor de x igual a 0,377mm que é muito pequeno e incompatível com o valor de x estimado inicialmente.

Portanto, será necessário assumir um novo valor para a massa das sapatas. Seja 2kg este valor. Com a força centrífuga calculada para esta massa girando a 1.750rpm e fazendo esta força igual a F_i dividida por oito molas, chega-se a um nova mola com d igual a 12,5mm e D igual a 50,2mm

Para um deslocamento de 2,5mm em (12) o k_{eq} resulta em 4.061.608N/m o que corresponde a um k de 507.701N/m por mola. Da mesma forma que foi feito anteriormente, o cálculo de k pela

relação (13) fornecerá um valor de 389.029N/m por mola que é composto para associação de oito mola em paralelo, resultando em um deslocamento de $2,3\text{mm}$, plenamente compatível com o valor inicialmente estimado de $2,5\text{mm}$.

Por fim, falta estimar as dimensões principais da sapata para que ele possua a massa de 2kg . A seção transversal da mesma é indicada abaixo:



O problema consistirá em se determinar a espessura t , dada a densidade do material, e as dimensões indicadas na figura. O material será o alumínio cuja densidade será 2.710kg/m^3 , pois o aço implicaria numa espessura t muito pequena (da ordem de décimos de milímetros) para que dadas as dimensões da sapata, a sua massa resultasse em 2kg . Conforme indicado nos desenhos do **ANEXO 5**, na

sapata haverá seis pinos que estarão vinculados às guias do elemento que estará acoplado ao eixo. Assumindo que cada pino terá 20mm de diâmetro, que quatro deles terão 50mm de comprimento e que dois deles 100mm, a massa aproximada do restante da sapata será de 1,872kg o que resulta em t igual a 73mm.

10.5 GERADOR

Para a seleção do gerador, foram consultados catálogos da WEG de geradores assíncronos com dois, três e quatro pares de pólos que exigem uma rotação assíncrona de trabalho de 1750rpm. A Linha GTA® da WEG, tem disponíveis geradores de médio porte com dois pares de pólos que se enquadram nas características de potência da turbina eólica em questão. A seleção do mesmo é feita de forma simples e direta a partir da tabela no **ANEXO 3**. Assim, foi selecionado o modelo GTA 200SI17, cujas dimensões se encontram no **ANEXO 3**.

11. PROJETO DO LEME

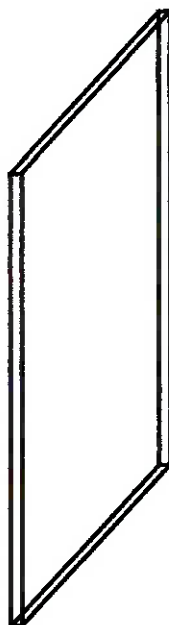
Para o dimensionamento do leme, adotaram-se as seguintes aproximações:

Leme

Placa de dimensões:

2m x 2m x 0,03m

m=325,2kg



Pá do rotor

Paralelepípedo de dimensões:

10m x 0,943m x 0,124m

$m=600\text{kg}$

$I=45,23 \text{ m}^4$

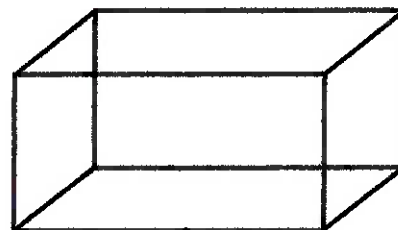
Multiplicador

Paralelepípedo de dimensões:

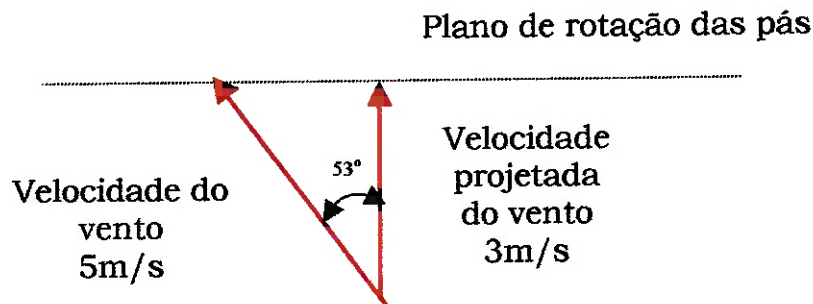
1,375m x 0,7m x 0,7m

$m=1600\text{kg}$

$I=317,42 \text{ m}^4$



Para um vento médio de velocidade 5m/s, a situação crítica começa a ocorrer quando o vento incidente perpendicularmente sobre as pás atinge uma velocidade abaixo de 3m/s, ou seja, na seguinte situação:



Nesta situação, tem-se no leme a seguinte força atuante:

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (1)$$

onde,

C_D : coeficiente de arrasto aerodinâmico para a placa*

V : velocidade do vento

ρ : densidade do ar

A = área projetada do leme na direção perpendicular ao vento

Para o problema em questão, tem-se $C_D=2,05$, $V=5\text{m/s}$, $\rho=1,23\text{kg/m}^3$ e $A=2,4\text{m}^2$. Portanto F_D resulta em 75N.

Com estes dados, e transportando-se os momentos de inércia das pás e

do redutor para o centro de rotação do conjunto, aplicou-se então o T.M.A. (Teorema do Momento Angular) para uma aceleração inicial suposta como sendo de $\pi/18 \text{ rad/s}^2$:

$$75.(\text{braço do leme}) = (1.287,7 + 486,42).(\pi/18)$$

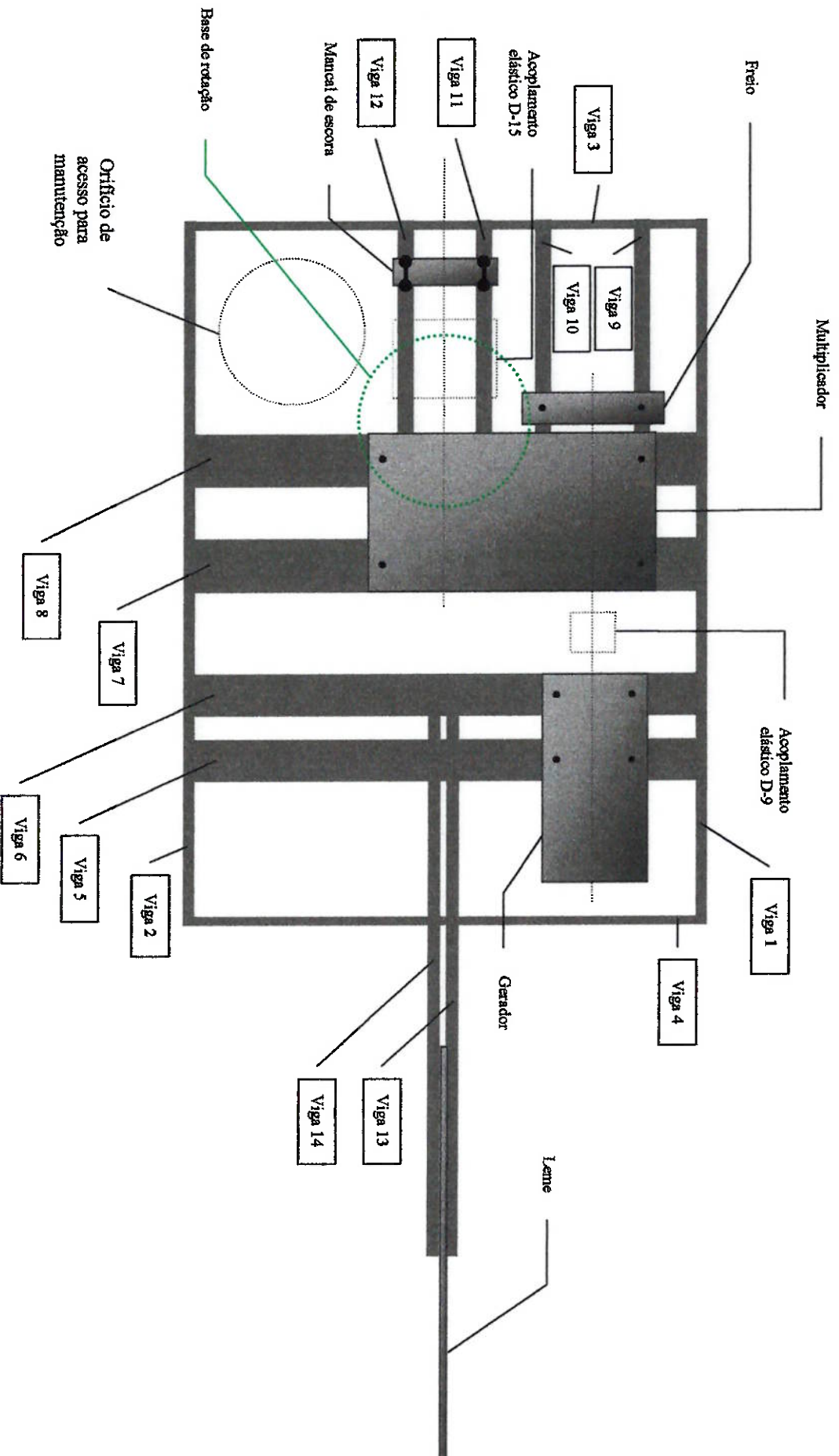
Portanto,

$$\text{braço do leme} = 4,13\text{m}$$

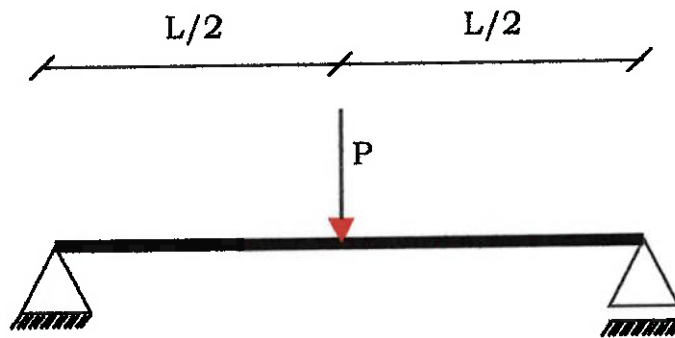
12. PROJETO ESTRUTURAL

12.1 BASE

A base de sustentação, composta por quatorze vigas de aço de perfil “C” soldadas, foi projetada de modo a suportar os pesos do rotor e de todo o conjunto de potência. Os *data sheets* com as dimensões dos perfis “C” estão no **ANEXO 4**. Os componentes do conjunto de potência, bem como as vigas que compõem a estrutura da base estão dispostos segundo a figura a seguir:



Por tratar-se de um problema hiperestático e complexo, considerou-se o seguinte modelo simplificado para o dimensionamento das vigas 1-12:



A Resistência dos Materiais fornece que a flecha máxima (δ) é dada por:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

Consideraram-se as seguintes massas e flecha máxima:

$$M_{\text{pás+cubo}} = 1.850 \text{ kg}$$

$$M_{\text{acoplamento D-15}} = 213,9 \text{ kg}$$

$$M_{\text{acoplamento D-9}} = 25,9 \text{ kg}$$

$$M_{\text{multiplicador}} = 1.600 \text{ kg}$$

$$M_{\text{gerador}} = 270 \text{ kg}$$

$$M_{\text{leme}} = 325,2 \text{ kg}$$

$$\delta_{\text{máx}}=0,01\text{m}$$

Vigas 1 e 2

$$L=3,25\text{m}$$

$$P=19.799\text{N}$$

$$\Rightarrow I=6,74.10^6\text{mm}^4$$

Escolheu-se então o perfil C 180x14,6 ($I=8,86.10^6\text{mm}^4$)

Vigas 3 e 4

$$L=2,50\text{m}$$

$$P=19.799\text{N}$$

$$\Rightarrow I=3,07.10^6\text{mm}^4$$

Escolheu-se então o perfil C 130x10 ($I=3,12.10^6\text{mm}^4$)

Vigas 5 e 6

$$L=2,50\text{m}$$

$$P=2.700\text{N}$$

$$\Rightarrow I=0,418.10^6\text{mm}^4$$

Escolheu-se então o perfil C 200x20,5 ($I=0,637.10^6\text{mm}^4$)

Vigas 7 e 8

$$L=2,50\text{m}$$

$$P=9.069,50\text{N}$$

$$\Rightarrow I=1,256 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

Escolheu-se então o perfil C 250x37 ($I=1,399 \cdot 10^6 \text{mm}^4$)

Vigas 9,10,11 e 12

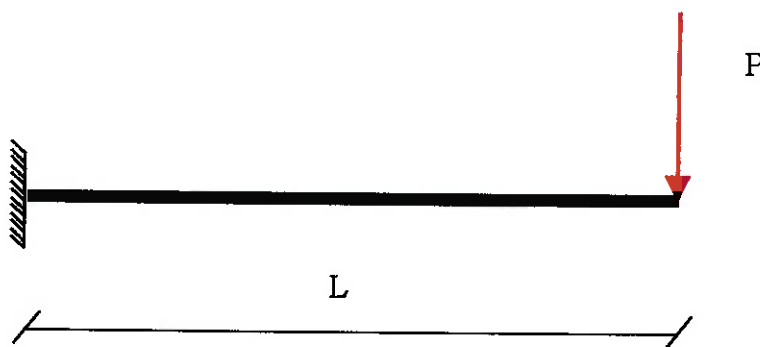
$$L=0,85\text{m}$$

$$P=13.000\text{N}$$

$$\Rightarrow I=0,079 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

Escolheu-se então o perfil C 75x6,1 ($I=0,082 \cdot 10^6 \text{mm}^4$)

Para as vigas 13 e 14 utilizou-se o seguinte modelo:



A Resistência dos Materiais fornece que a flecha máxima (δ) é dada por:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

Sendo,

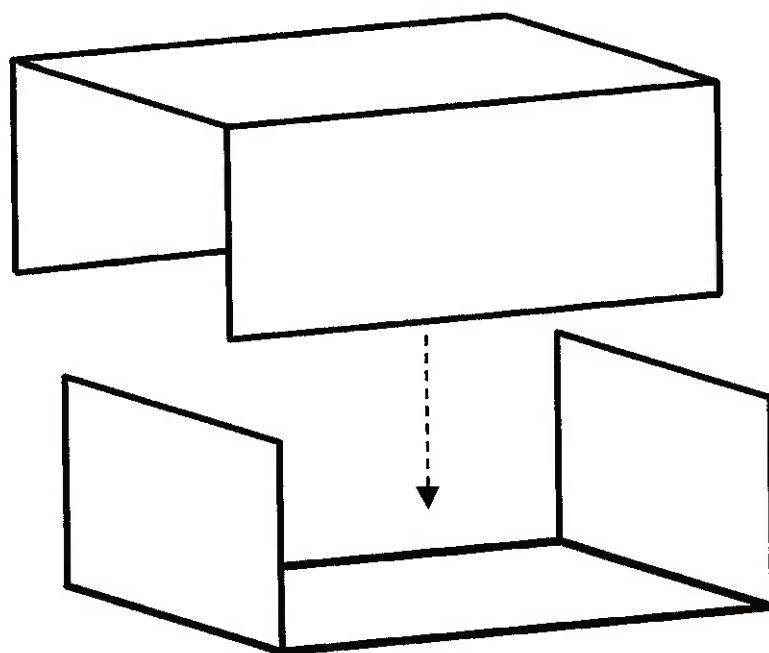
$$L=4,13\text{m}$$

$$P=3.252\text{N}$$

$$\Rightarrow I=23,19 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

Escolheram-se então duas barras soldadas de perfil C 200x20,5
($I=15,03 \cdot 10^6 \text{mm}^4$)

Concluindo, montada sobre a base, irá a carenagem que será formada por quatro chapas de aço parafusadas em cantoneiras soldadas nas vigas 1, 2, 3 e 4. Haverá duas chapas frontais e uma terceira fechando o compartimento, conforme figura abaixo:



12.2 ACOPLAMENTO BASE-TORRE

O acoplamento com a base será feito através de um rolamento especial de grande porte. O fabricante escolhido foi a alemã Rothe Erde Schimiedag AG, representada no Brasil pela Robrasa – Rolamentos Especiais Rothe Erde Ltda. O procedimento de seleção é bastante simples e é fornecido no catálogo do fabricante.

Devido à presença de cargas axiais e radiais, o tipo de rolamento escolhido será da série KD 320. Estes rolamentos se caracterizam por ter duas carreiras de esferas, que podem ser solicitadas simultaneamente por ambos os tipos de cargas mencionados.

Para a força radial F_r , tem-se um valor de 15.000N. Para a força axial F_a tem-se 50.000N. O tipo de aplicação em questão fornece, segundo o fabricante, um fator de carregamento de f de 1,25. Assim, os valores de carga radial e axial que deverão ser levados em conta para a seleção do rolamento, são respectivamente 18.750N e 62.500N. No catálogo utilizado, a série KD 320 apresenta 50 tamanhos diferentes de rolamentos. Para cada um destes rolamentos o catálogo oferece um diagrama de carregamentos. A seleção é feita de forma simples,

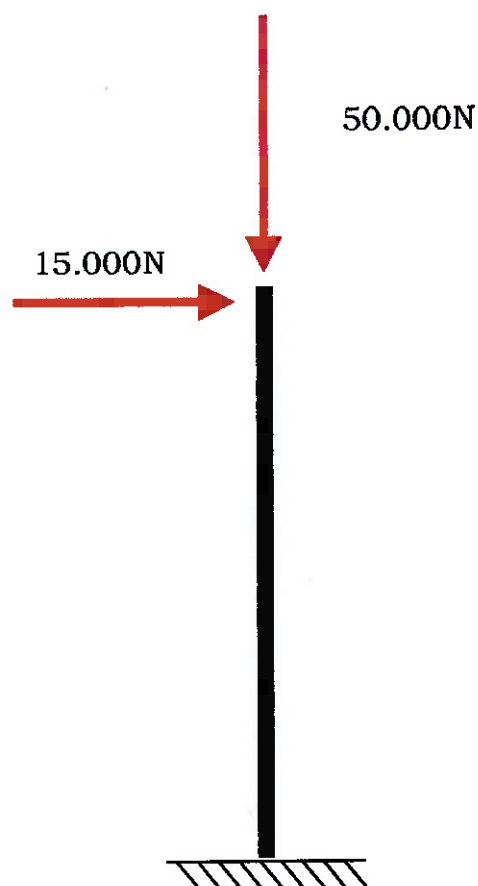
buscando o(s) diagrama(s) cujos carregamentos englobem e sejam compatíveis com as cargas solicitantes. Desta forma, foi selecionado o rolamento 26 cujos diagramas de carregamentos e *data sheet* com as dimensões se encontram no **ANEXO 4**. O rolamento estará fixado à base através de parafusos passantes em um anel circular soldado à base, anel este constituído de dois perfis C 75 x 61 soldados entre si formando um elemento com uma seção transversal retangular vazada de paredes delgadas. A fixação do acoplamento na torre será feita através de um flange posicionado na extremidade da mesma.

12.3 TORRE

As diversas referências bibliográficas consultadas fornecem que em geral, a torre deve possuir de altura de 1,25 a 1,5 vezes o diâmetro do rotor. Assumindo-se que para a turbina em questão a torre irá ter 1,25 vezes o diâmetro do rotor, obtém-se uma altura de torre de 25m.

A torre será constituída de cinco tubos de aço de diâmetros diferentes e 4,6 m de comprimento, além de quatro transições cônicas de 0,5mm de comprimento cada, que irão ligar um tubo ao outro. Todos os elementos serão unidos por solda.

A torre está submetida a dois tipos de carregamentos: um axial, resultante do peso do conjunto do rotor, base, conjunto de potência, leme e carenagem; e outra transversal, correspondendo à força resultante da pressão do vento em cada uma das pás. Estes carregamentos estão ilustrados na figura abaixo:



O dimensionamento à força axial será feito aplicando as condições de Euler para flambagem de vigas. Assim, com uma carga P_{cr} correspondendo ao dobro da carga de 50.000N e L_n igual a 50m, tem-se:

$$I = \frac{P_{cr} \cdot L_n^2}{\pi^2 \cdot E} = 120.620.453 \text{mm}^4$$

Com os tubos disponíveis no catálogo da Nippon Steel Pipe and Tube, escolheu-se para o dimensionamento à flambagem o tubo com diâmetro externo de 660,4mm e espessura de 5,16mm constante no **ANEXO 4** que fornece um momento de inércia de 570.082.519mm⁴.

O dimensionamento à carga transversal será feito e forma semelhante à realizada para a estrutura da pá, onde havia uma situação de tubos de diâmetros diferentes soldados entre si. Neste caso, a diferença é que não é uma carga distribuída e sim uma carga pontual que deverá ser levada em conta. A Resistência dos Materiais fornece que o deslocamento na extremidade de uma viga em balanço submetida a uma carga pontual P aplicada na sua extremidade livre é dado pela seguinte relação:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

Admitindo inicialmente que o tubo terá um único diâmetro, e assumindo um deslocamento da extremidade superior da torre de $15 \cdot 10^{-2} \text{m}$, o momento de inércia necessário calculado pela equação (1) será de $2.480.158.730 \text{mm}^4$. Escolhendo-se o tubo com 1.117,6mm de diâmetro externo e espessura de 5.56mm, o momento de inércia disponível é de $3.002.664.164 \text{mm}^4$.

Será fixado este diâmetro de 1.117,6mm e espessura de 5,56mm para o primeiro tubo situado na base da torre e o diâmetro de 660,4mm e mesma espessura para o situado na outra extremidade da torre. Dividindo-se a diferença entre estes diâmetros em quatro intervalos iguais, obtêm-se os valores dos diâmetros externos intermediários que serão normalizados de acordo com os diâmetros disponíveis no catálogo. Desta forma, os cinco diâmetros resultam em:

$$D_1 = 1.117,6 \text{mm}$$

$$D_2 = 1.016,0 \text{mm}$$

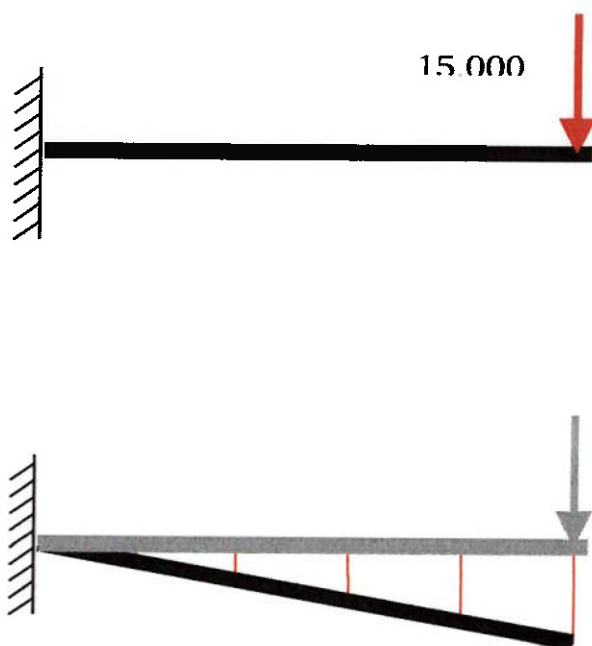
$$D_3 = 863,6 \text{mm}$$

$$D_4 = 762,0 \text{mm}$$

$$D_5 = 660,4 \text{mm}$$

Sendo que espessuras de todos os tubos é 5.56mm.

O modelo de carregamento e a configuração deformada estão ilustrados a seguir:



A relação (1) será aplicada para cada um dos trechos assumindo que cada um deles tenha o comportamento de uma viga engastada. O deslocamento de cada trecho será o deslocamento relativo ao trecho anterior.

Para os diferentes tubos da estrutura haverá os seguintes momentos de inércia:

$$I_1 = 3,003 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$I_2 = 2,253 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$I_3 = 1,379 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$I_4 = 9,450 \cdot 10^{-4} \text{m}^4$$

$$I_5 = 6,130 \cdot 10^{-4} \text{m}^4$$

Assim, as relações para deslocamentos relativos ficam:

$$\delta_1 - \delta_2 = \frac{6,95 \cdot 10^{-6}}{I_1}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = \frac{6,95 \cdot 10^{-6}}{I_2}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = \frac{6,95 \cdot 10^{-3}}{I_3}$$

$$\delta_4 - \delta_5 = \frac{6,95 \cdot 10^{-3}}{I_4}$$

$$\delta_5 = \frac{6,95 \cdot 10^{-9}}{I_5}$$

onde, $6,95 \cdot 10^{-6}$ corresponde ao produto de P por L^3 dividido por E, cujo valor para o aço é 210 GPa.

Substituindo os valores de I_1 , I_2 , I_3 , I_4 e I_5 nas equações acima, se obtém os seguintes valores para os deslocamentos:

$$\delta_1 = 2,91 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\delta_2 = 2,68 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\delta_3 = 2,37 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

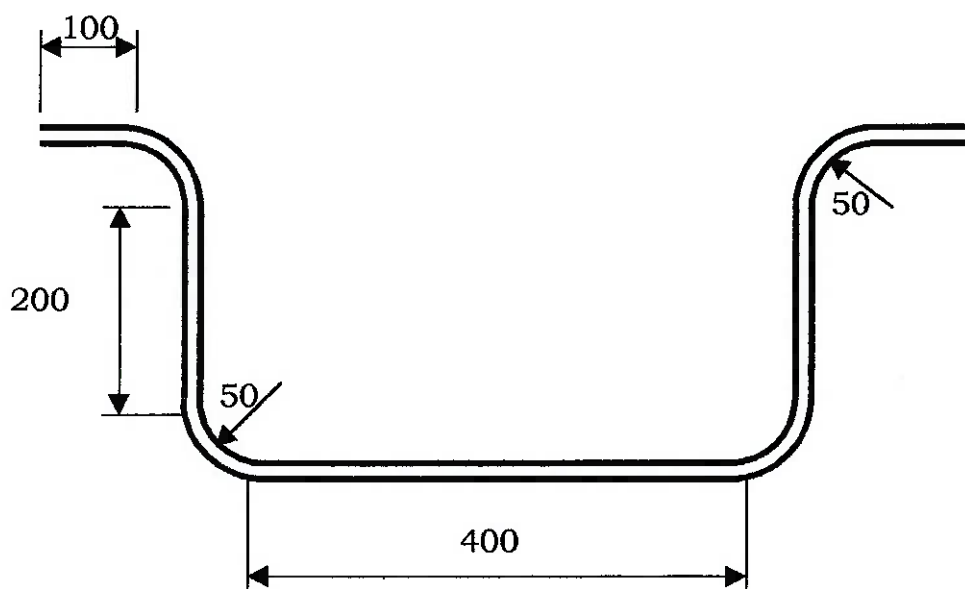
$$\delta_4 = 1,86 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\delta_5 = 1,13 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

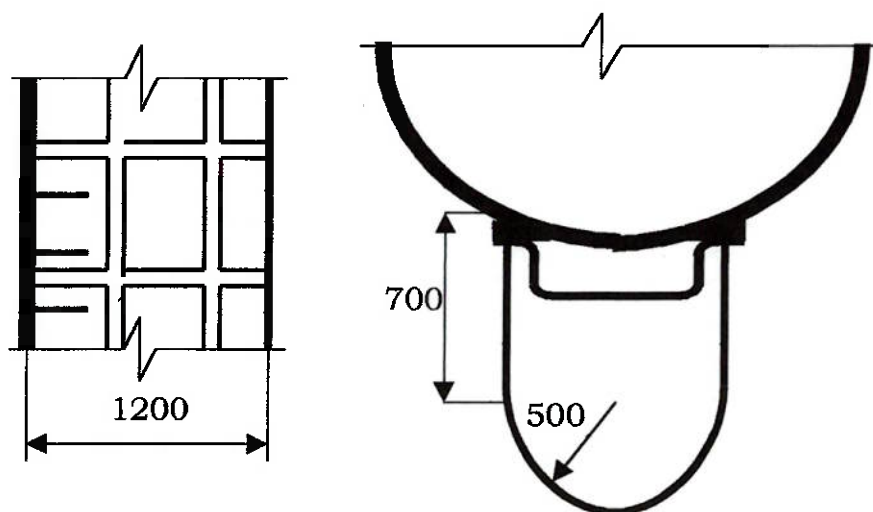
Estes valores de deslocamento se mostram bastante satisfatórios quando se leva em conta altura da torre que é 25m.

12.4 ESCADA E GUARDA CORPO

Os degraus da escada serão formados por vergalhões de aço de 3/8 de polegadas de diâmetro, dobrados em “U” soldados à parede externa da torre com um espaçamento de 0,3m entre si. As dimensões principais estão ilustradas na figura a seguir:



O guarda corpo, será formado por barras de aço seção transversal retangular de dimensões 2x30mm e será soldado à parede externa da torre. As dimensões principais estão indicadas na figura abaixo:

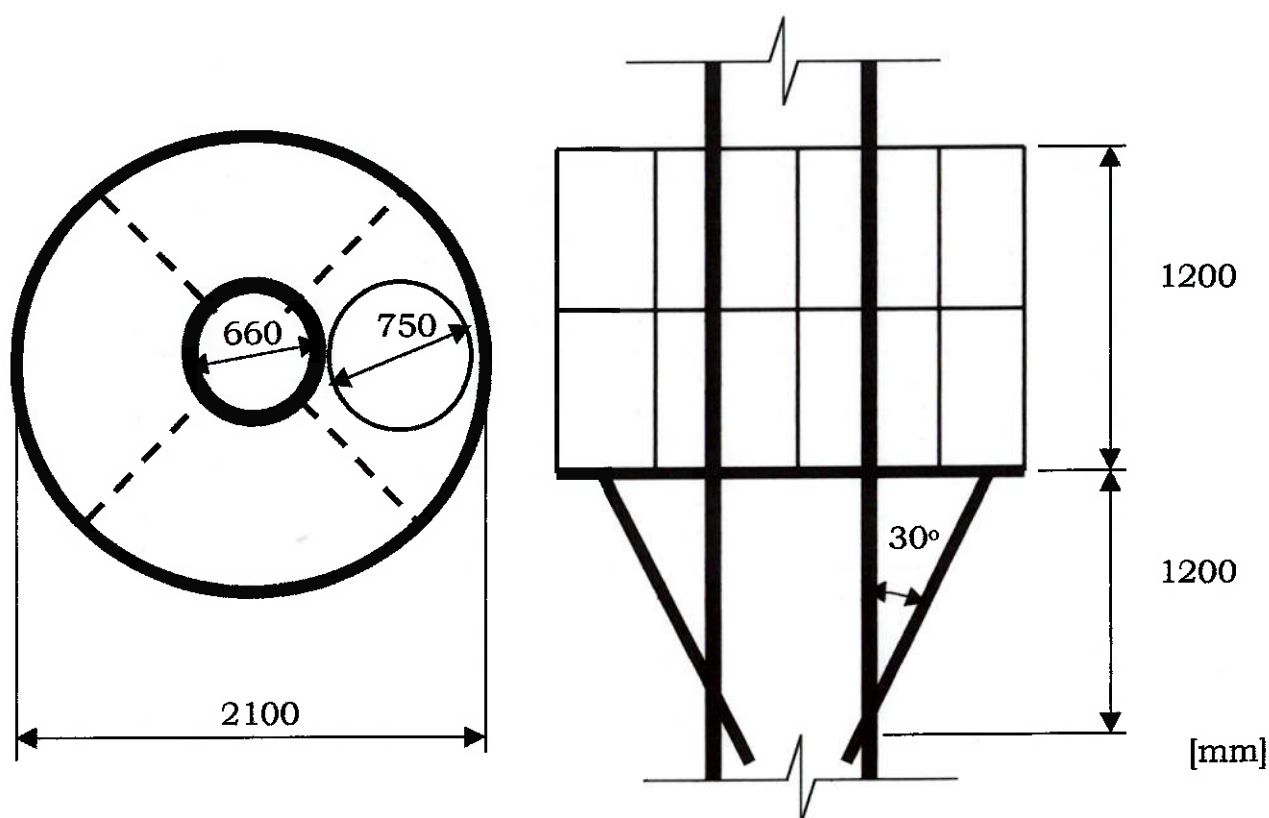


12.5 PLATAFORMA

O acesso ao compartimento do conjunto de potência se faz por uma plataforma situada 2m abaixo da base do mesmo. A partir desta plataforma existe outra escada que leva ao interior do compartimento, escada esta que está fixada à sua base. Como o rotor e o conjunto de potência giram pela ação do leme, a plataforma deverá ser circular toda a torre, para que o acesso ao compartimento independa da posição em que eles se encontrem.

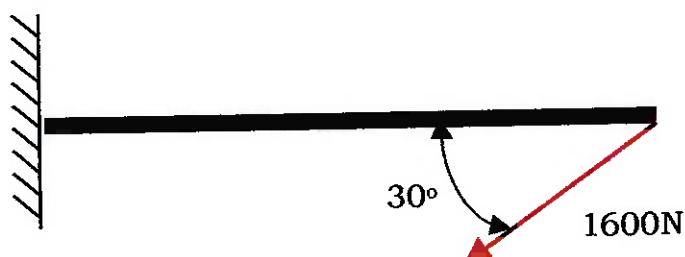
A plataforma, será constituída de uma chapa de aço de 5mm de espessura suportada por quatro mãos francesas. Haverá ainda um gradil de 1,2m da altura composto por tubos soldados.

A seguir, estão indicadas as principais dimensões da plataforma:



Para o dimensionamento das mãos francesas, o valor aproximado calculado para a massa da plataforma, dada as dimensões anteriormente expostas, foi de 130kg. Será considerado que a plataforma suportará uma carga total de 630kg, 500kg acima do seu peso próprio o que dá aproximadamente 160kg sendo descarregados em cada mão francesa.

O dimensionamento das mãos francesas pode ser feito segundo o modelo ilustrado a seguir:



Para a flambagem, será considerada uma carga de 1.180 N e para a flexão, de 800N. Utilizando para os dois casos o mesmo equacionamento já apresentado, a flambagem exige um momento de inércia da viga de $115,88\text{mm}^4$, enquanto que a flexão, considerando um deslocamento δ de 10mm, de 522.666mm^4 . Desta forma, o perfil selecionado para as vigas que constituirão a mão francesa será uma cantoneira de abas iguais 76 x 76 x 9,5 que fornece 733.000mm^4 de momento de inércia. As suas dimensões encontram-se no **ANEXO 4**.

13. BATERIAS

Dada a inconstância e imprevisibilidade dos ventos, é necessário o uso de baterias em quase todos os sistemas de geração de energia eólica. Além de servir como um “reservatório” de energia, as baterias servem também como um regulador de voltagem. Como o vento gira as pás do rotor a diferentes velocidades, a voltagem e corrente elétrica variam. Apesar da voltagem de uma bateria variar conforme sua carga/descarga, ela mantém a voltagem dentro de uma faixa tolerável para a maioria de suas aplicações elétricas.

Chama-se de “banco de baterias” o conjunto de baterias conectadas (em série ou paralelo) para obter-se a voltagem e capacidade de armazenamento desejada. Cada bateria é constituída de uma ou mais células. Em baterias geralmente utilizadas em automóveis e sistemas eólicos de pequeno e médio porte, a voltagem de cada célula é de 2 V. Uma bateria de automóvel, por exemplo, é constituída de seis células de 2V, resultando em uma bateria de 12V.

Cada célula é constituída de placas positivas e negativas feitas de compostos de chumbo e separadas por material poroso e não condutor, tal como borracha, madeira ou plástico. As placas encontram-se

submergidas em um eletrólito, que geralmente é uma solução contendo basicamente ácido sulfúrico e água. Desta forma, as placas ficam separadas e simultaneamente em contato com o eletrólito, que circula livremente pelo material poroso do separador. Este tipo de bateria é o mais utilizado para sistemas eólicos de pequeno e médio porte, por ser de custo bastante baixo e boa eficiência.

As baterias são classificadas de acordo com sua capacidade de armazenamento, medida em ampère-hora. Por exemplo, uma bateria de “200 a-h a uma taxa de 8 horas”, pode ser descarregada a uma taxa de 25 ampères durante 8 horas.

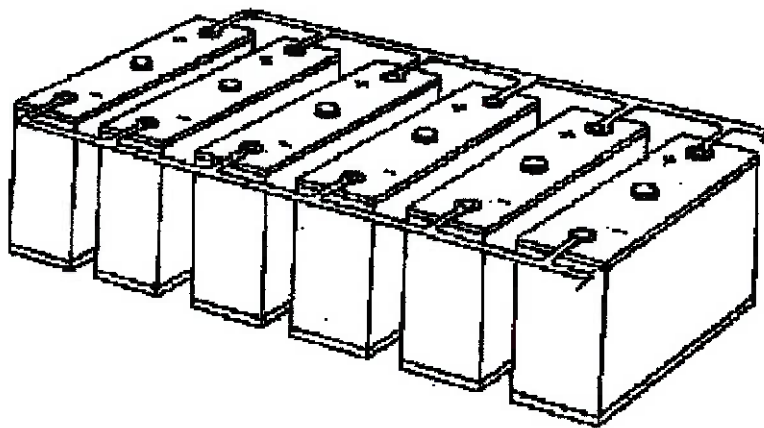
O montante total de kWh de energia que pode ser armazenado em um banco de baterias pode ser encontrado multiplicando-se a taxa a-h das baterias pela voltagem total do banco de baterias e dividindo-se o resultado por 1.000. Por exemplo, um banco de baterias de 120V com baterias de 180a-h cada pode armazenar 21,6kW.h. Se uma casa utiliza em média, por exemplo, 6kW.h, as baterias do exemplo anterior são suficientes abastecer a casa por $21,6\text{kW.h} / 6\text{kW.h} = 3,5$ dias.

Em geral, para áreas em que o vento pode permanecer inadequado por um período máximo de cinco dias, uma capacidade de armazenamento

para 2-5 dias sem vento é suficiente. Utilizam-se tipicamente taxas a-h de 150 a 350 com bancos de baterias de 120V.

Para o projeto da turbina em questão, foi levantado o consumo médio diário de 700kW.h para as agroindústrias visitadas. Para este consumo, selecionou-se um banco composto por 30 baterias de 120V e 540a-h conectadas em paralelo, resultando numa capacidade de 1.944kW.h, suficientes para gerar energia por 2,8 dias sem vento.

Disposição das baterias ligadas em paralelo:



14. CONSIDERAÇÕES SOBRE INTERFERÊNCIA ACÚSTICA E ELETROMAGNÉTICA

14.1 INTRODUÇÃO

Os problemas decorrentes de interferências acústica e eletromagnética são um fator importante a ser levado em conta em projetos de turbinas eólicas. Tais problemas são extremamente complexos de serem modelados do ponto de vista matemático e, geralmente, as ações de projeto a serem tomadas para minimizá-los são baseadas em experimentos com protótipos e simulações em softwares específicos para este fim. O objetivo deste capítulo é portanto, o de se apresentar este problema de uma maneira genérica e alguns exemplos de métodos de medição para estes tipos de interferência.

14.2 INTERFERÊNCIA ACÚSTICA

A ocorrência de ruídos indesejáveis em turbinas eólicas pode ter dois tipos de origem: mecânica ou aerodinâmica. A primeira é em decorrência dos diversos componentes mecânicos em movimento. A segunda é proveniente da geometria das pás e das condições de escoamento.

A medição da interferência acústica se faz necessária para definir as características da fonte de ruído afim de se executar um levantamento preciso de informações para um planejamento ambiental adequado. Esta medição envolve não somente elementos acústicos, mas também dados a respeito do ambiente tais como temperatura, umidade relativa, horário, rotação do rotor, tipos de terreno e vegetação entre outros. Para tanto deverá haver disponíveis equipamentos para se realizar tais medições.

Os pontos de medição em geral estão posicionados num raio tomado a partir da turbina, equivalente à altura total da mesma. Uma distância maior que esta não é aconselhável pois o sinal medido poderá estar excessivamente reduzido devido à atenuação atmosférica e efeitos de refração que podem complicar a interpretação destes sinais. O número de pontos de medição podem ser obtidos em função da qualidade do sinal medido num ponto tomado como referência neste raio mencionado. Normalmente, este ponto é o situado exatamente atrás da turbina.

Quanto à altura dos microfones a partir do solo, a princípio parece ser razoável que os mesmos estejam à altura dos ouvidos (por exemplo a 1,70m). Entretanto, esta altura pode prejudicar a interpretação dos sinais devido à variações de pressão do ar que podem ocorrer qualquer

que seja a altura e à reflexão do ruído no solo. Estes dois fatores fazem o sinal variar alternadamente com uma amplitude que se mantém praticamente constante. O que se faz é posicionar os microfones no solo sobre uma superfície dura e medir o nível e ruído que estará sem interferência alguma. A este sinal, se subtrai o valor da amplitude medida anteriormente para se obter um valor médio que será o assumido como o valor do nível de ruído na altura para a qual se deseja estimar o valor deste nível.

Para frequências compreendidas entre 20 e 10.000Hz, os equipamentos utilizados são os convencionais para a medição de sinais acústicos. Para frequências abaixo de 20Hz, serão necessários microfones especiais que amplifiquem a fidelidade do sinal.

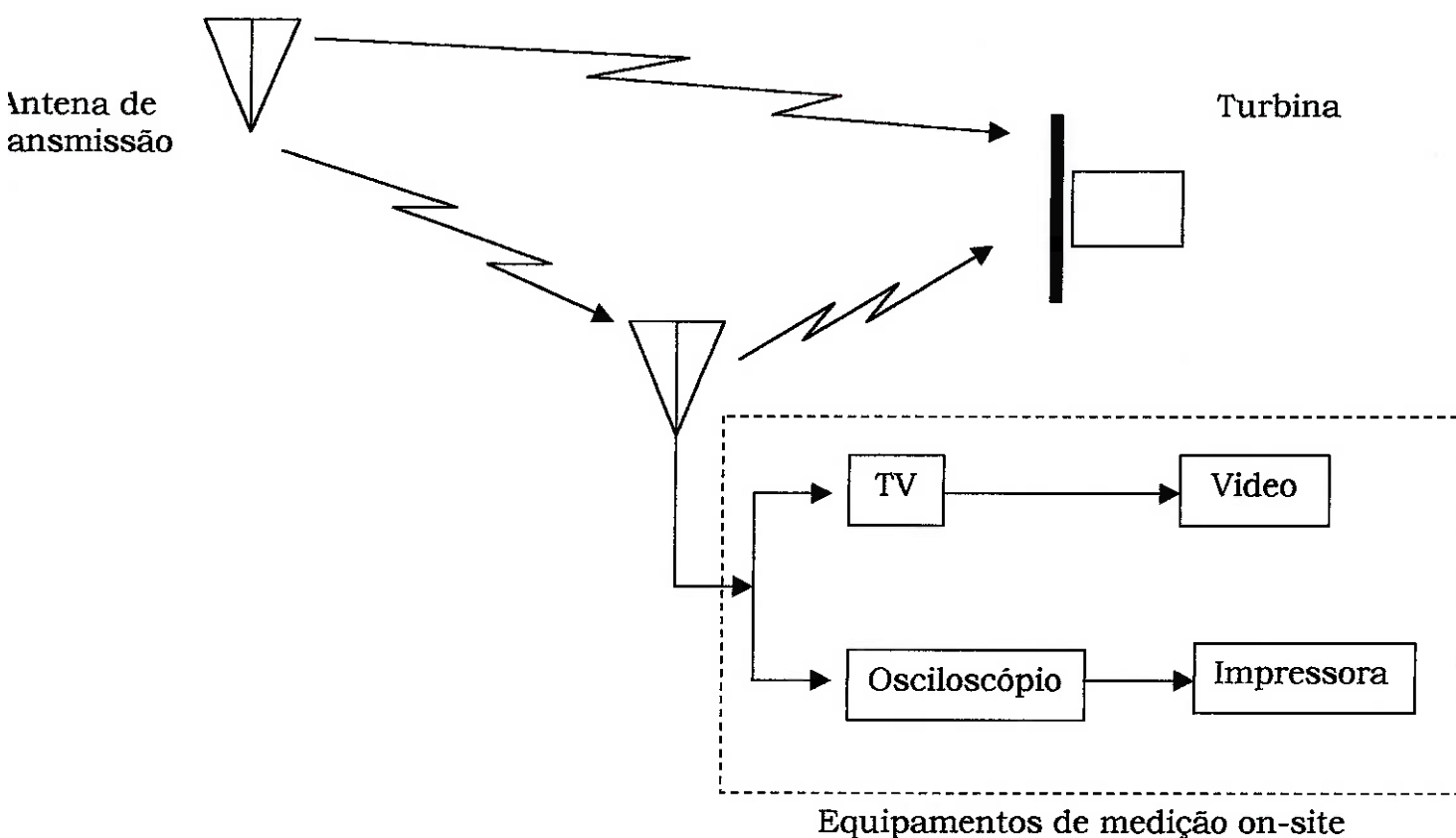
Para a análise final dos sinais, os mesmos podem ser lidos diretamente em um decibelímetro ou então ser filtrados gravados em fitas magnéticas para análise em laboratório.

14.3 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

A interferência eletromagnética ocorre devido ao movimento das pás do rotor que refletem as ondas eletromagnéticas espalhadas pelo ar ocasionando a sua modificação e atraso. A natureza e a quantidade de interferência eletromagnética depende de vários parâmetros tais como a localização da turbina, o tipo de turbina, as características das pás do rotor, a frequência e amplitude do sinal e as condições locais de propagação de ondas eletromagnéticas. Os tipos mais observados de interferência eletromagnética são em sinais de televisão, radio FM, sistemas de navegação e telefonia móvel.

As interferências em sinais de TV são caracterizadas por uma distorção na imagem na forma de uma sombra (“fantasma”) que fica oscilando na frequência de passagem da pá. Nos casos extremos de interferência, há uma completa indefinição da imagem. Interferências no áudio não foram detectadas em estudos realizados. A interferência em sinais de FM e de telefonia móvel, se caracterizam por um chiado que pulsa em sincronismo com a frequência de rotação das pás. Por fim, as interferências em sistemas de navegação são caracterizadas por desvios nos valores de posições registrados pelo sistema de navegação.

A seguir, é mostrado um diagrama esquemático de um sistema de medição para interferência em sinais de TV, decorrentes de turbinas eólicas:



Para um sinal de TV qualquer, uma parte deste sinal é dispersado pela turbina.. Esta porção é captada juntamente com o sinal original por antena que são enviados para um osciloscópio e impressos para posterior análise. A combinação destes dois equipamentos tem como função visa medir os níveis de sinal sem interferência e registrar o sinal como uma função do tempo. A TV serve para acusar a existência de qualquer distorção na imagem e o vídeo para a documentação desta

distorção. Em geral, este equipamento é montado dentro de uma van ou veículo que permita o deslocamento do mesmo para medição em diversos locais. Há a possibilidade ainda de se conectar um microcomputador ao conjunto que execute o tratamento e interpretação dos sinais.

15. CONCLUSÕES FINAIS

Uma vez finalizado o projeto básico, as etapas posteriores consistiriam na elaboração do projeto executivo dos diversos sistemas e subsistemas, além da construção e teste de protótipos para verificação do desempenho, estabilidade e eficiência da turbina eólica. No entanto, estas etapas fogem do escopo do presente trabalho.

Em relação à proposta inicial, algumas mudanças foram necessárias: a primeira foi a ausência do sistema de embandeiramento das pás (*yaw system*), devido à complexidade de projeto e altos custos envolvidos. Outra especificação alterada foi o material e estrutura da pá, que inicialmente seria feita de materiais compostos. A análise dos diferentes materiais compostos existentes para fabricação de pás mostrou que, para as condições de carregamento do projeto, as pás apresentavam uma rigidez insuficiente, causando deflexões excessivamente altas. Os efeitos de interferência eletromagnética que esta alteração acarretará pode ser minimizado com um recobrimento isolante nas pás.

Concluindo, pode-se afirmar que este trabalho, dado seu caráter interdisciplinar, permitiu que fossem utilizados conceitos abrangendo as mais diversas áreas da Engenharia

16. BIBLIOGRAFIA

- [1] - RAMOS, P.; REYDON, B.; (ORGANIZADORES) **Agropecuária e Agroindústria no Brasil - Ajuste, Situação Atual e Perspectivas**
1ª Edição, Campinas, Edição Abra, 1995
- [2] - JANK, M. S. **Competitividade do Agrobusiness Brasileiro: Discussão Teórica e Evidências no Setor Carnes** Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996
- [3] - NETTO, A. G.; CRUZ, E. R. **Experiência Brasileira de Pesquisa Econômica em Energia Para o Setor Rural** EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1.984
- [4] - SPERA, D. A. (EDITOR) **Wind Turbine Technology - Fundamental Concepts of Wind Turbine Technology** New York, ASME Press, 1994
- [5] - GOLDING, E. W. **The Generation of Electricity by Wind Power** London, E. & F. N. Spon Ltd, 1976

-
- [6] - ELETROBRÁS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A (DCO - DIRETORIA DE COORDENAÇÃO, ASSESSORIA DE FONTES NÃO CONVENCIONAIS DE ENERGIA ELÉTRICA) **Atlas do Potencial Eólico Nacional - Volumes I e II** Fundação Padre Leonel Franca, 1988
- [7] - GRUB, M. et alii **Emerging Energy Technologies - Impacts and Policy Implication** The Royalty Institute of International Affairs - Energy Environmental Programme, London, 1.992
- [8] - ABBOT, I. H. **Theory of Wing Sections** Dover Publications, Inc., NY, 1.958
- [9] - JIPE, P. **Wind Energy Comes of Age** John Wiley & Sons, Inc., NY, 1.995
- [10] - MCGUIGAN, D. **Small Scale Wind Power** Prism Press, Dorchester, 1.978
- [11] - SACHS, P. **Wind Forces in Engineering** Pergamon Press, NY, 1.972

- [12] – CLAYTON, B. R. (Editor) **Wind Energy Conversion-Proceedings of the 1.992 14th BWEA Wind Energy Conference** Mechanical Engineering Publications, London, 1.992
- [13] – PARK, J. **The Wind Power Book** Chesire Books, Palo Alto, California, 1.981
- [14] – SHIGLEY, J.E.; MISCHKE, C.R. **Mechanical Engineering Design** McGraw Hill, N.Y., 1.989
- [15] – JUVINALL, R.C.; MARSCHEK, K.M. **Fundamentals of Machine Component Design** John Wiley & Sons, N.Y., 1.991
- [16] – FOX, R.W.; MCDONALD, A.T. **Introduction to Fluid Mechanics** John Wiley & Sons, N.Y., 1.994
- [17] – JASTRZEBSKI, Z. D. **The Nature and Properties of Engineering Materials** John Wiley & Sons, N.Y., 1.987
- [18] – BEER, F.P.; JOHNSTON, E.R. **Resistência dos Materiais** McGraw Hill, São Paulo, 1.982

ANEXOS

ANEXO 1 - MAPAS DE POTENCIAL EÓLICO DAS REGIÕES BRASILEIRAS

ANEXO 2 - ROTOR

ANEXO 3 - CONJUNTO DE POTÊNCIA

ANEXO 4 - ESTRUTURA

ANEXO 5 - DESENHOS

- ANEXO 1 -

MAPAS DE POTENCIAL EÓLICO DAS REGIÕES BRASILEIRAS

➤ **Região Sudeste:**

- **Mapa 1:** Estações Meteorológicas
- **Mapa 2:** Isolinhas de Velocidade Média
- **Mapa 3:** Isolinhas de Velocidade Máxima
- **Mapa 4:** Isolinhas de Calmaria
- **Mapa 5:** Isolinhas de Potência Média Bruta

➤ **Região Sul:**

- **Mapa 1:** Estações Meteorológicas
- **Mapa 2:** Isolinhas de Velocidade Média
- **Mapa 3:** Isolinhas de Velocidade Máxima
- **Mapa 4:** Isolinhas de Calmaria
- **Mapa 5:** Isolinhas de Potência Média Bruta

➤ **Região Nordeste:**

- **Mapa 1:** Estações Meteorológicas
- **Mapa 2:** Isolinhas de Velocidade Média
- **Mapa 3:** Isolinhas de Velocidade Máxima
- **Mapa 4:** Isolinhas de Calmaria
- **Mapa 5:** Isolinhas de Potência Média Bruta

➤ **Região Norte:**

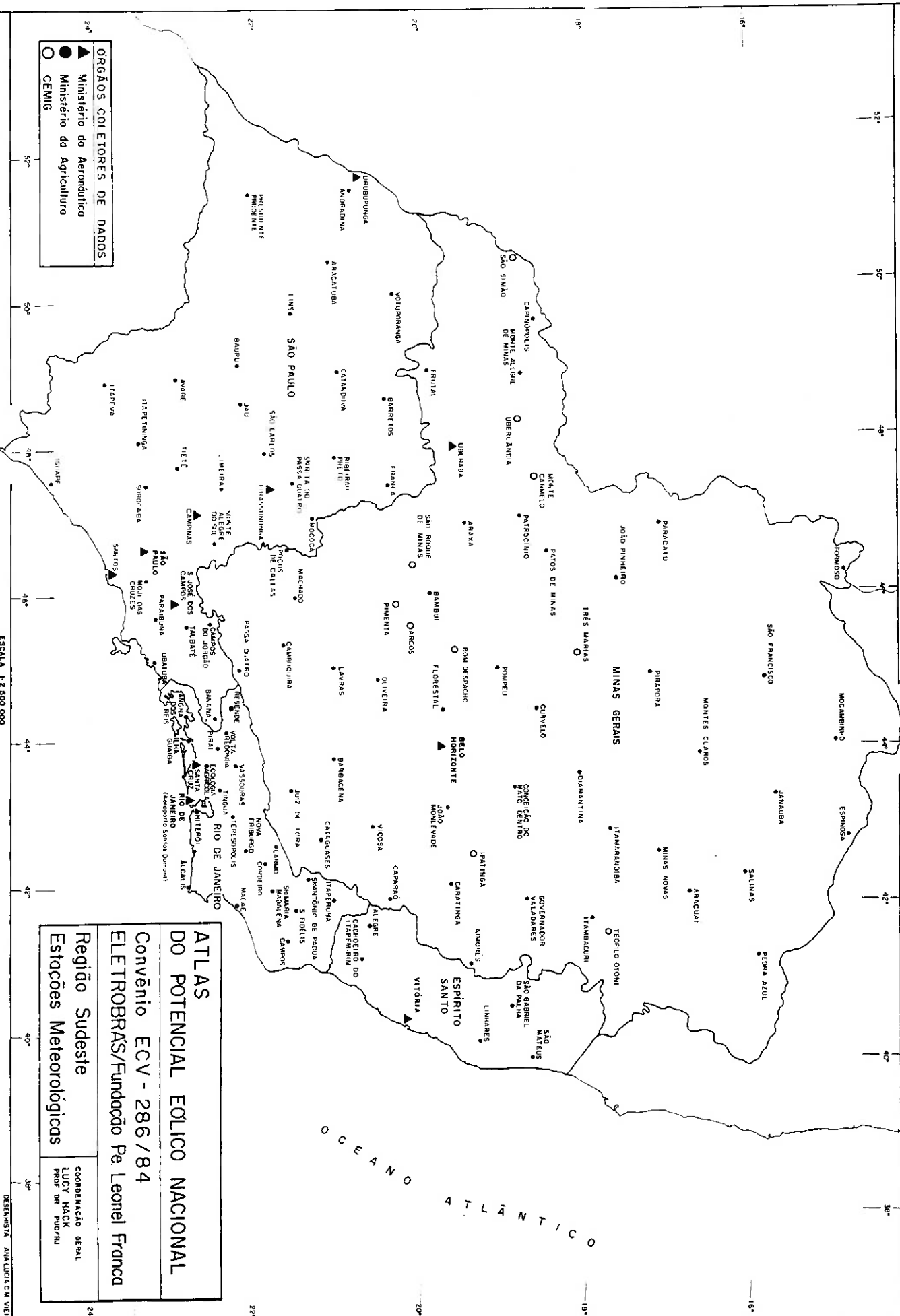
- **Mapa 1:** Estações Meteorológicas
- **Mapa 2:** Isolinhas de Velocidade Média
- **Mapa 3:** Isolinhas de Velocidade Máxima
- **Mapa 4:** Isolinhas de Calmaria
- **Mapa 5:** Isolinhas de Potência Média Bruta

➤ **Região Centro-Oeste:**

- **Mapa 1:** Estações Meteorológicas
- **Mapa 2:** Isolinhas de Velocidade Média
- **Mapa 3:** Isolinhas de Velocidade Máxima
- **Mapa 4:** Isolinhas de Calmaria
- **Mapa 5:** Isolinhas de Potência Média Bruta

SUDESTE

- ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS**
- ▲ Ministério da Aeronáutica
 - Ministério da Agricultura
 - CEMIG



**ATLAS
DO POTENCIAL EOLICO NACIONAL**

Convênio ECV - 286/84

ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca

Região Sudeste

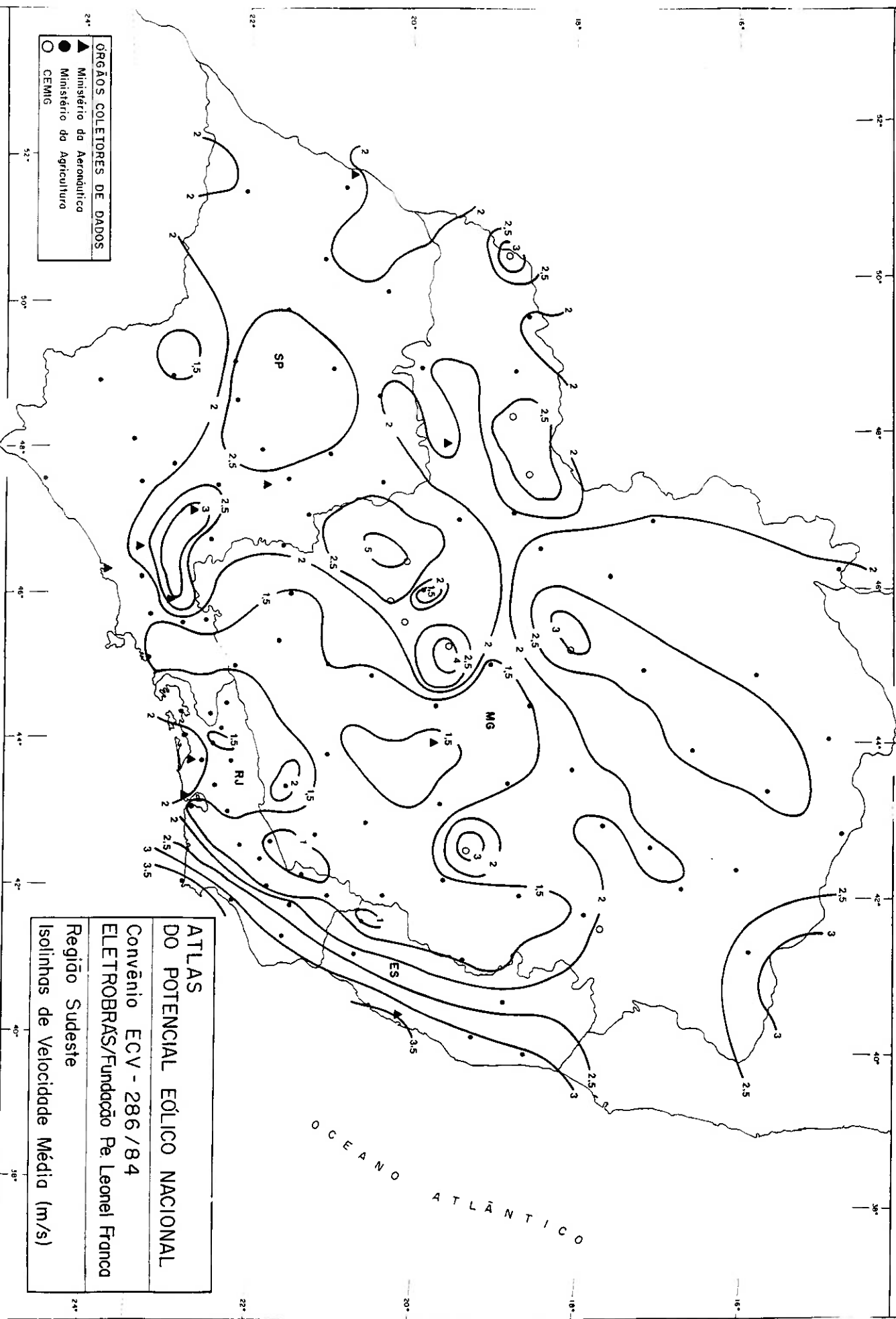
Estações Meteorológicas

COORDENAÇÃO GERAL
LUCY HACK
PROF. DR. PUC/PA

ESCALA 1:2 500 000

DESENHISTA: ANA LUCIA C. M. VIEIRA

SUDESTE



ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura
- CEMIG

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

Convênio ECV - 286/84
ELETROBRÁS/Fundação Pe Leonel Franca

Região Sudeste

Isolinhas de Velocidade Média (m/s)

SUDESTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

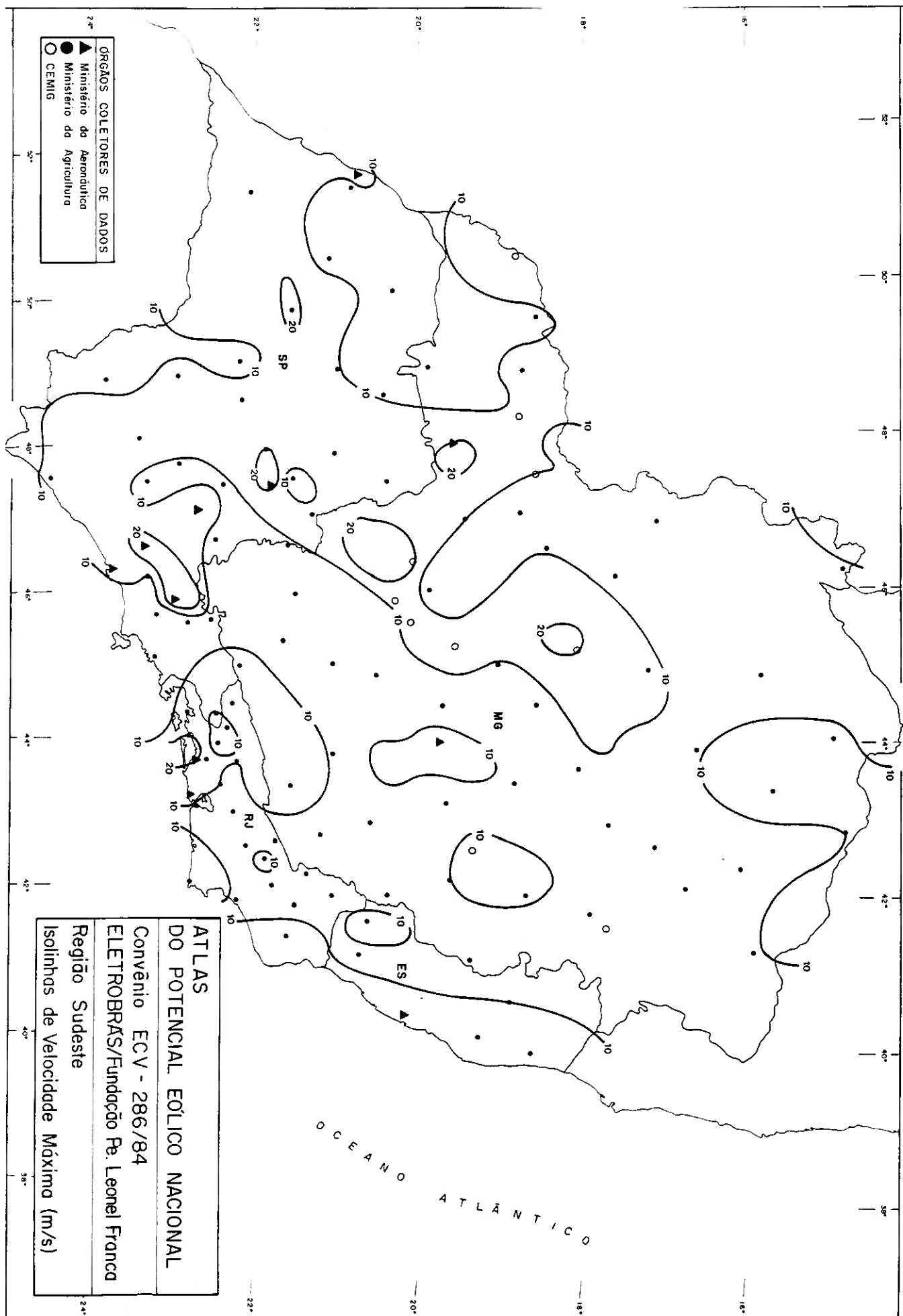
- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura
- CEMIG

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

Convênio EC V - 286/84
ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franco

Região Sudeste

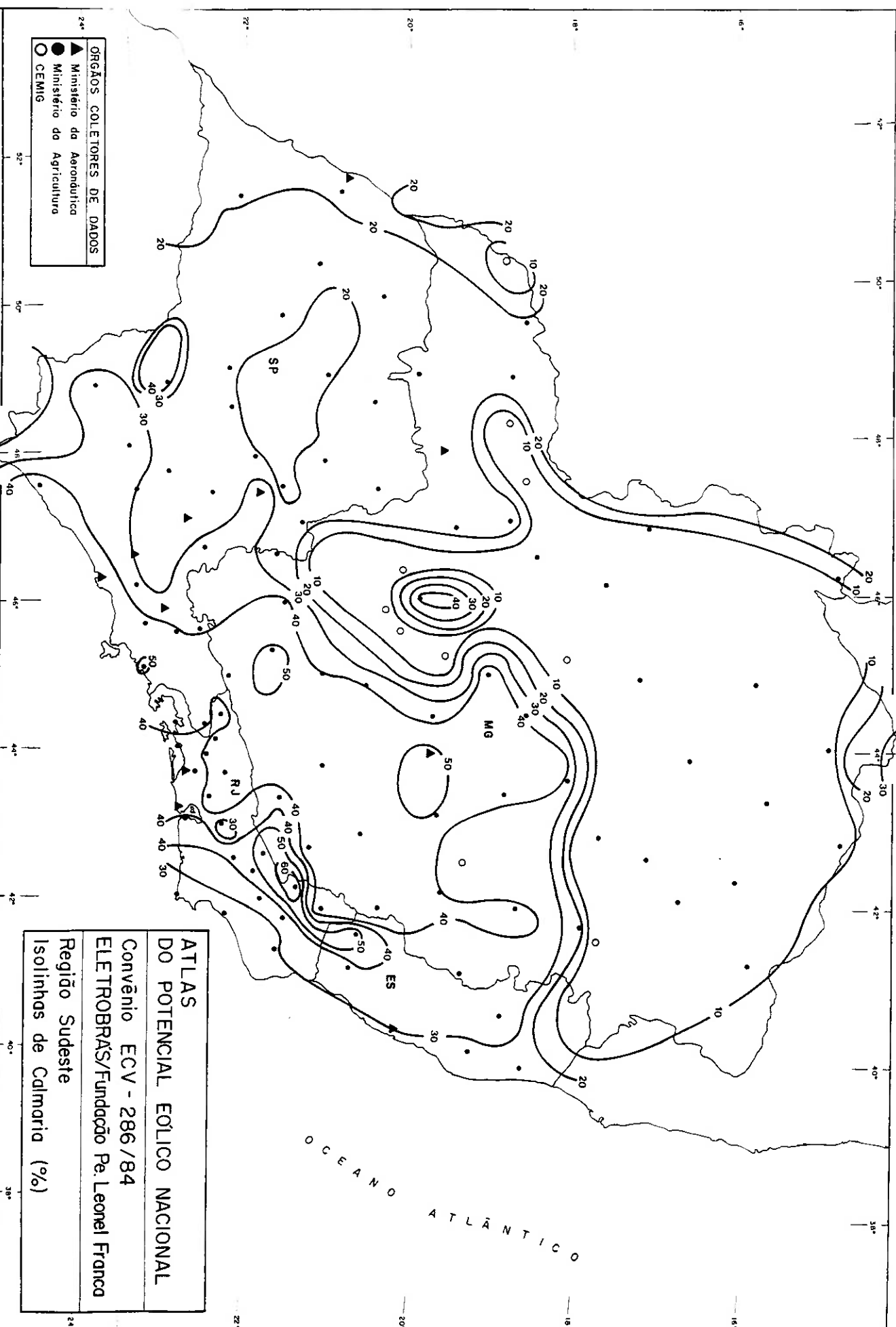
Isolinhas de Velocidade Máxima (m/s)



SUDESTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura
 ○ CEMIG

ATLAS
 DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286/84
 ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franco
 Região Sudeste
 Isolinhas de Calmaria (%)

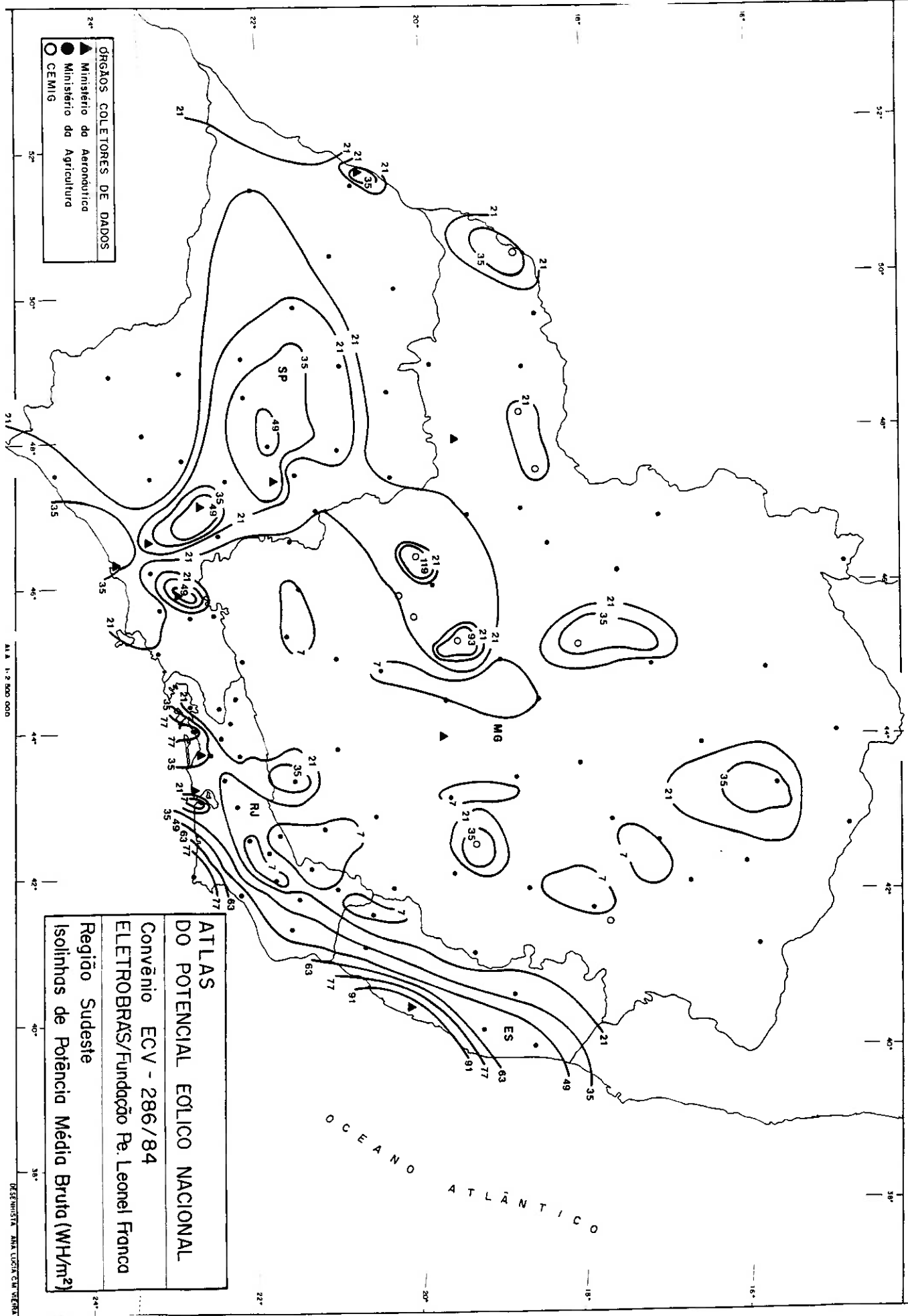


SUDESTE

OCEANO ATLÂNTICO

ATLAS
DO POTENCIAL EOLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286/84
ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Sudeste
Isolinhas de Potência Média Bruta (W_H/m²)

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
▲ Ministério da Aeronáutica
● Ministério da Agricultura
○ CEMIG



SUL

OCEANO ATLÂNTICO

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura
- Portobrás
- ◇ Copel

ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

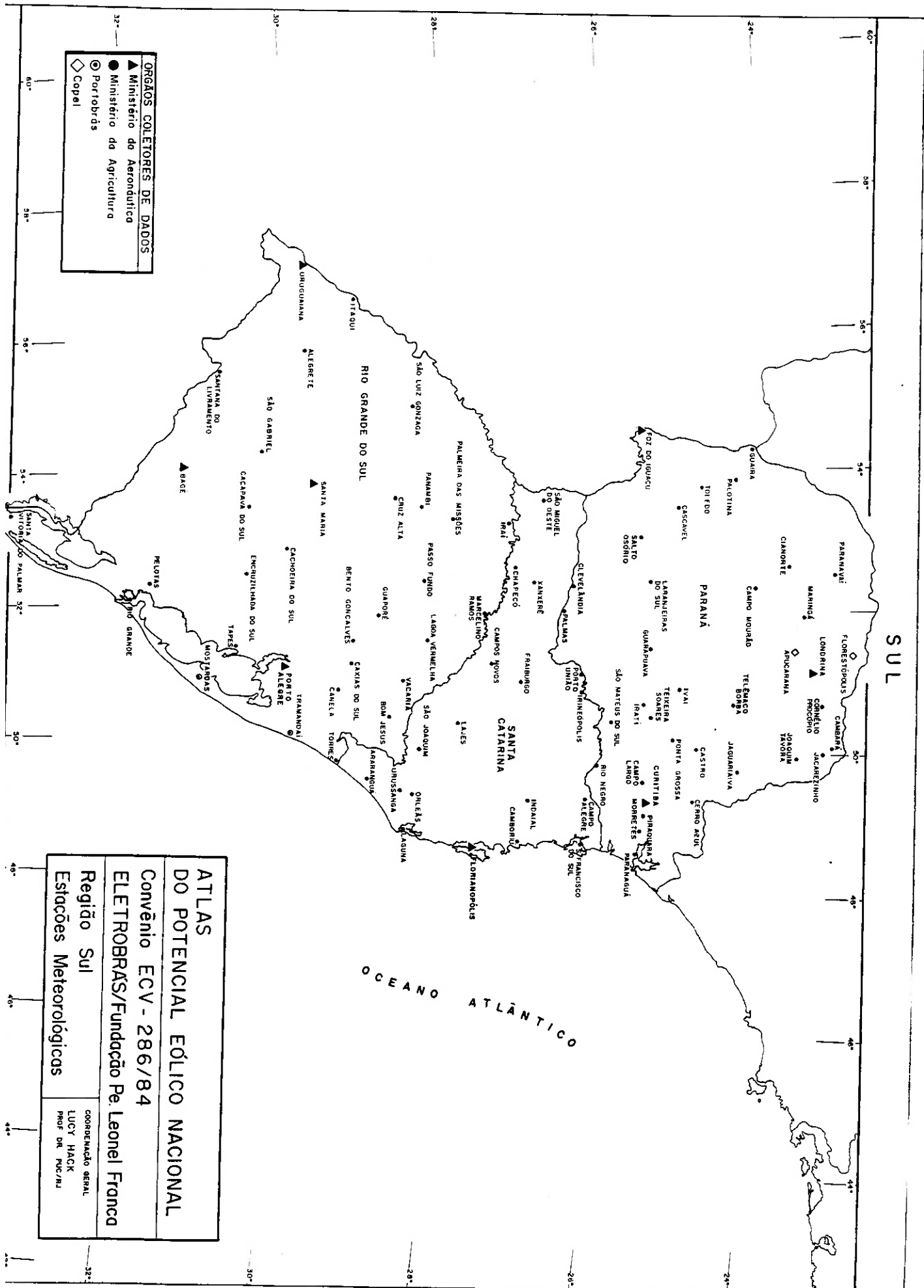
Convênio ECV - 286/84

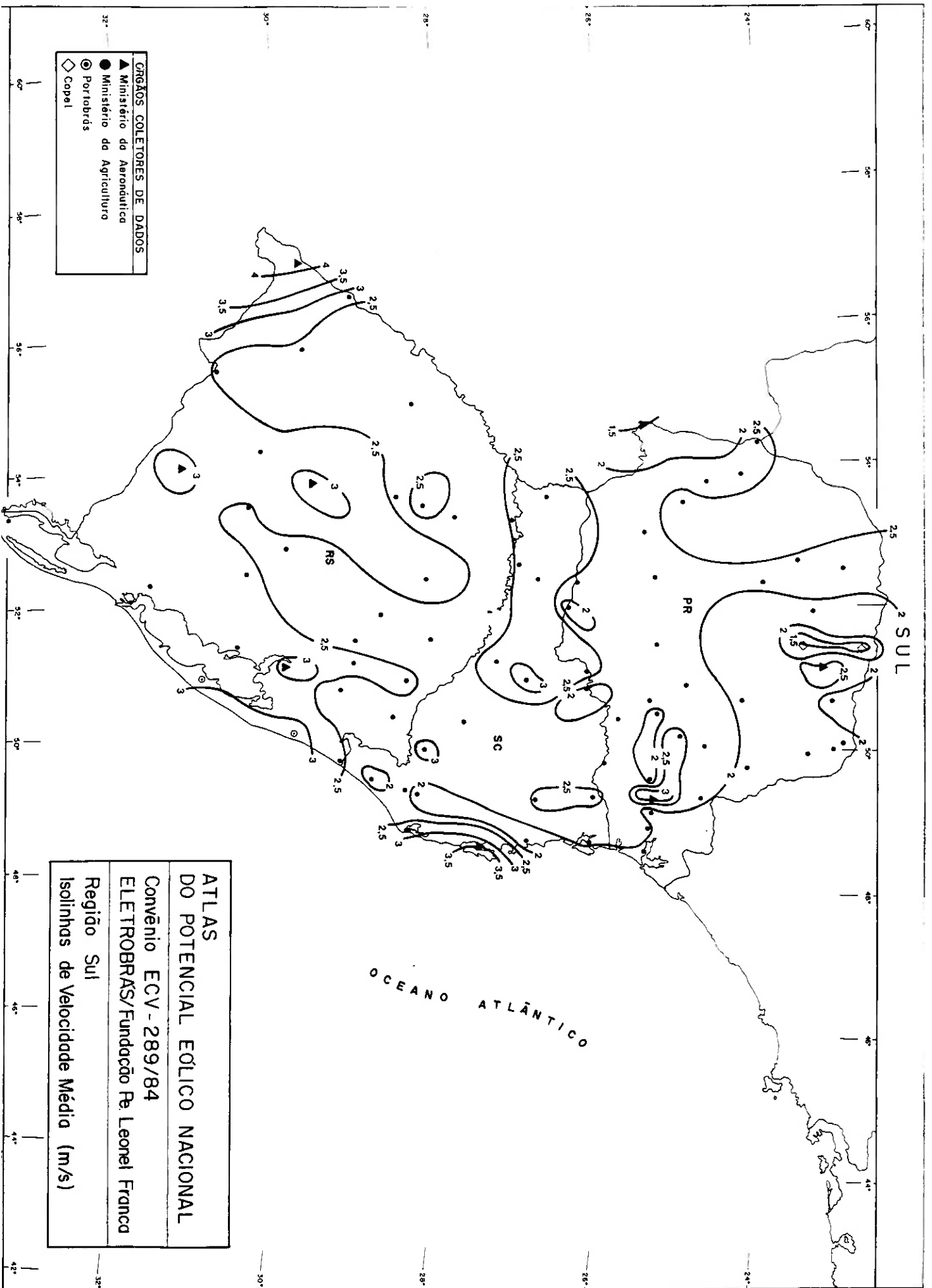
ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franco

Região Sul

Estações Meteorológicas

COORDENAÇÃO GERAL
LUCY HACK
PROF DR PNC/NU





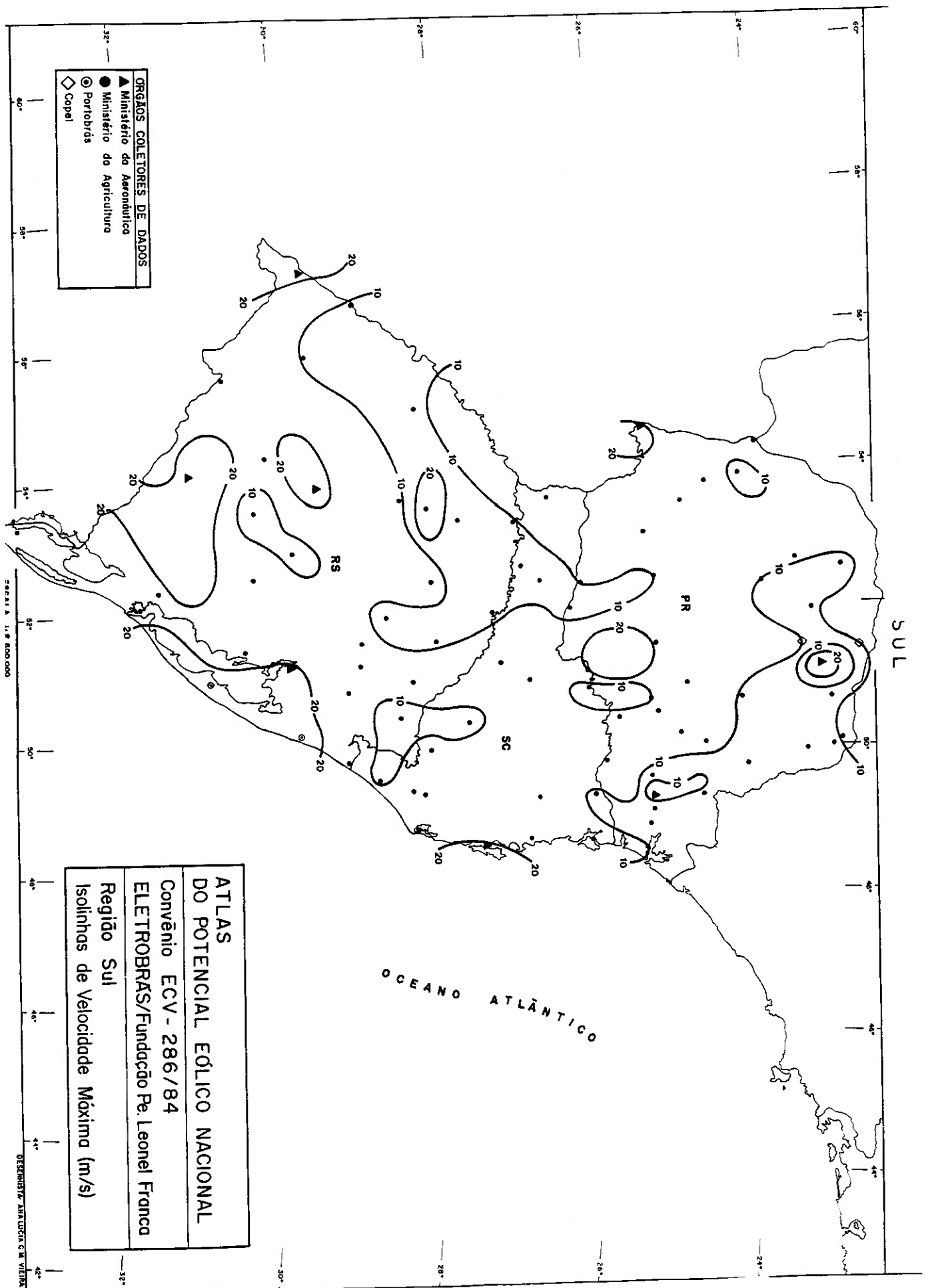
- ORGÃOS COLETORES DE DADOS
- ▲ Ministério da Aeronáutica
 - Ministério da Agricultura
 - ⊙ Portobrás
 - ◇ Copel

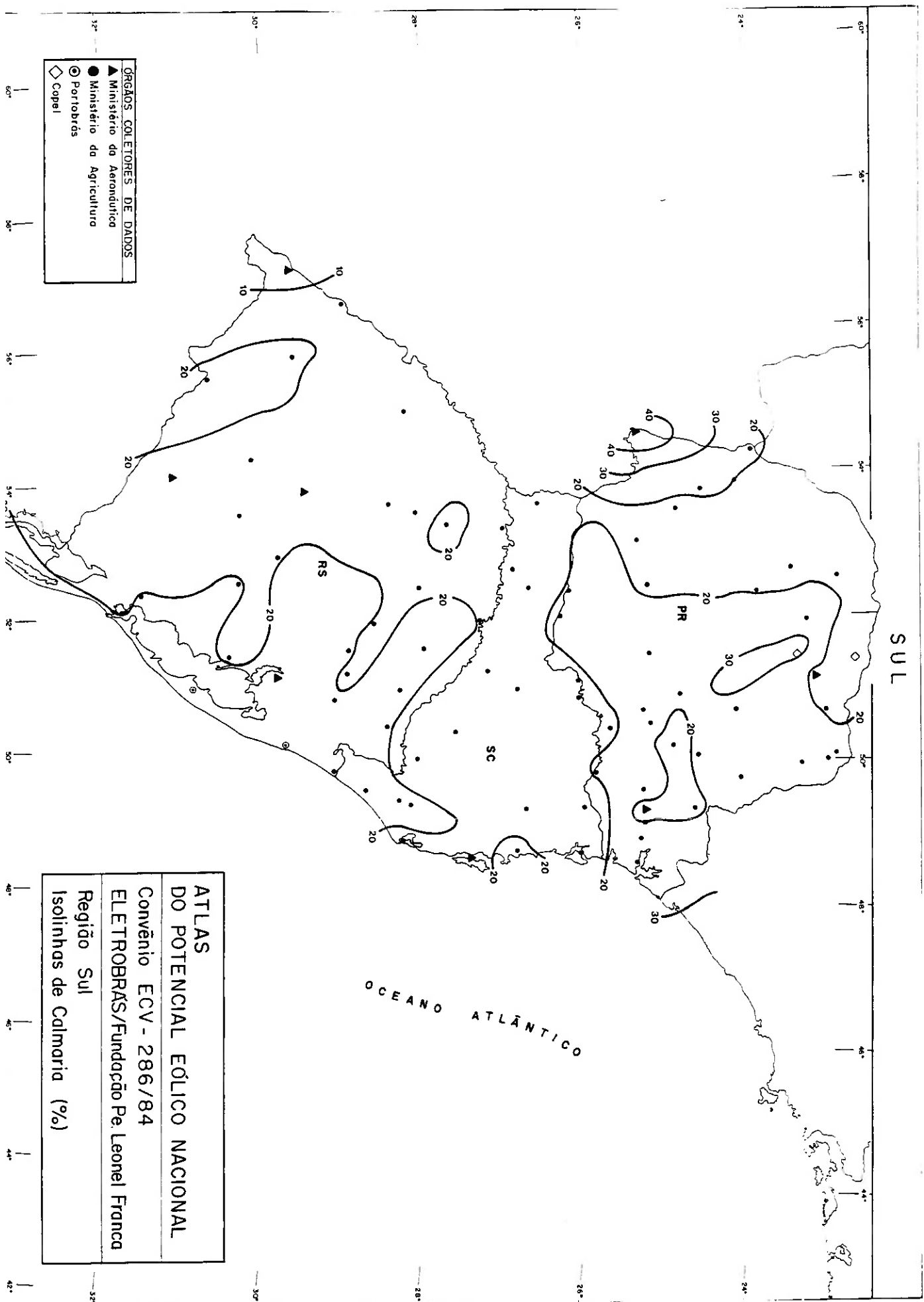
ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

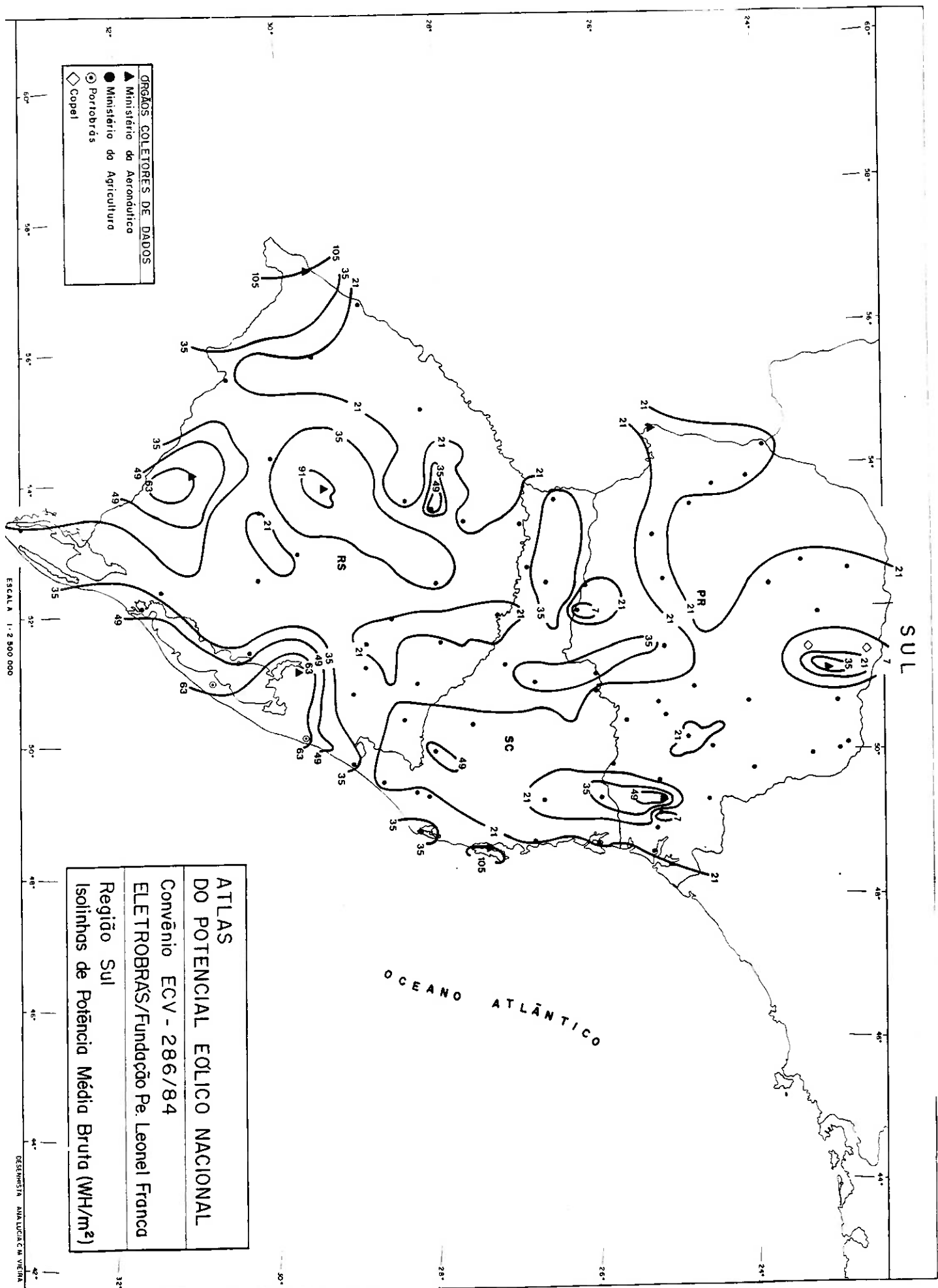
Convênio ECV - 289/84
ELETROBRAS/Fundação R. Leonel Franco

Região Sul

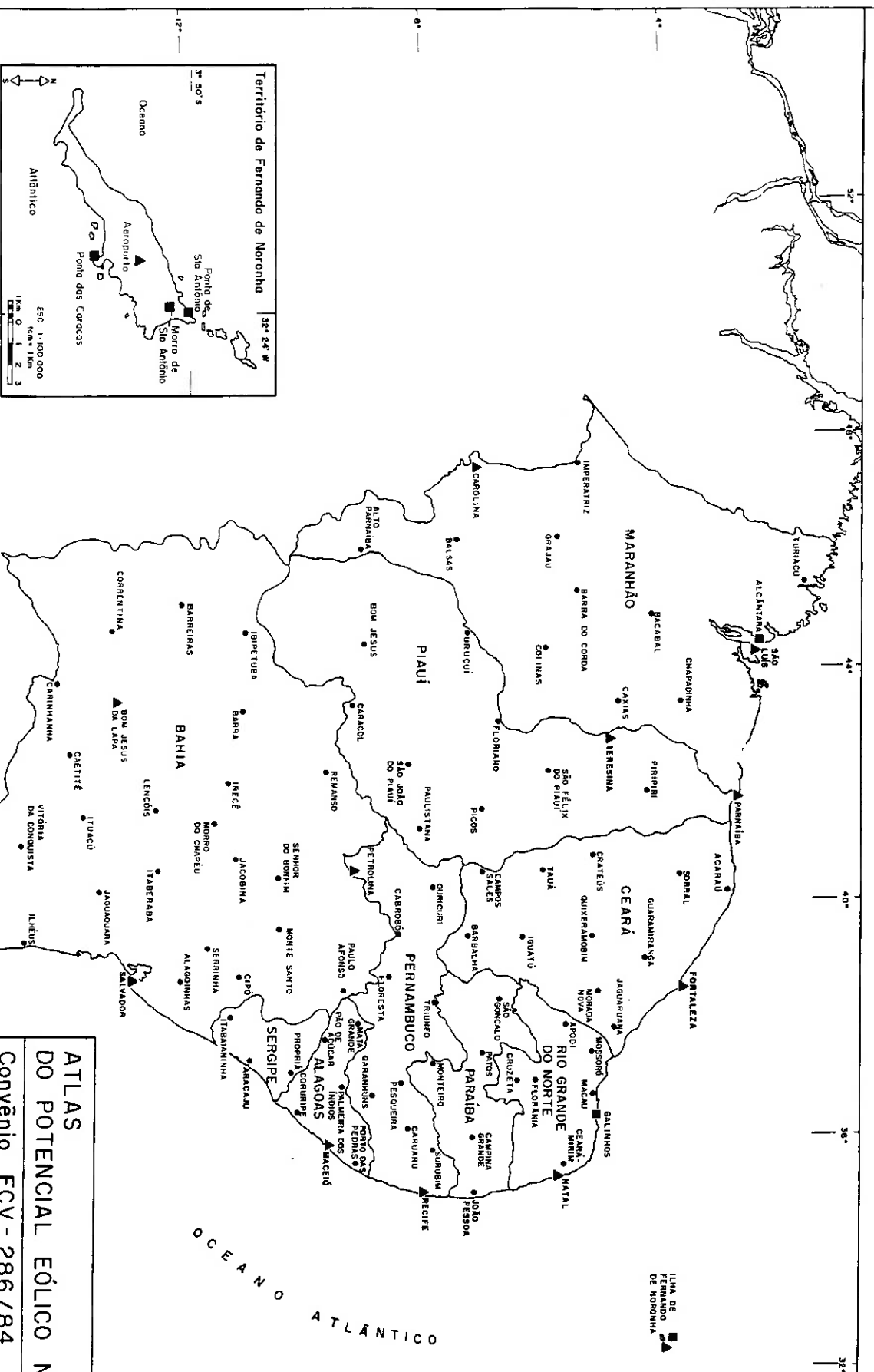
Isolinhas de Velocidade Média (m/s)







NORDESTE



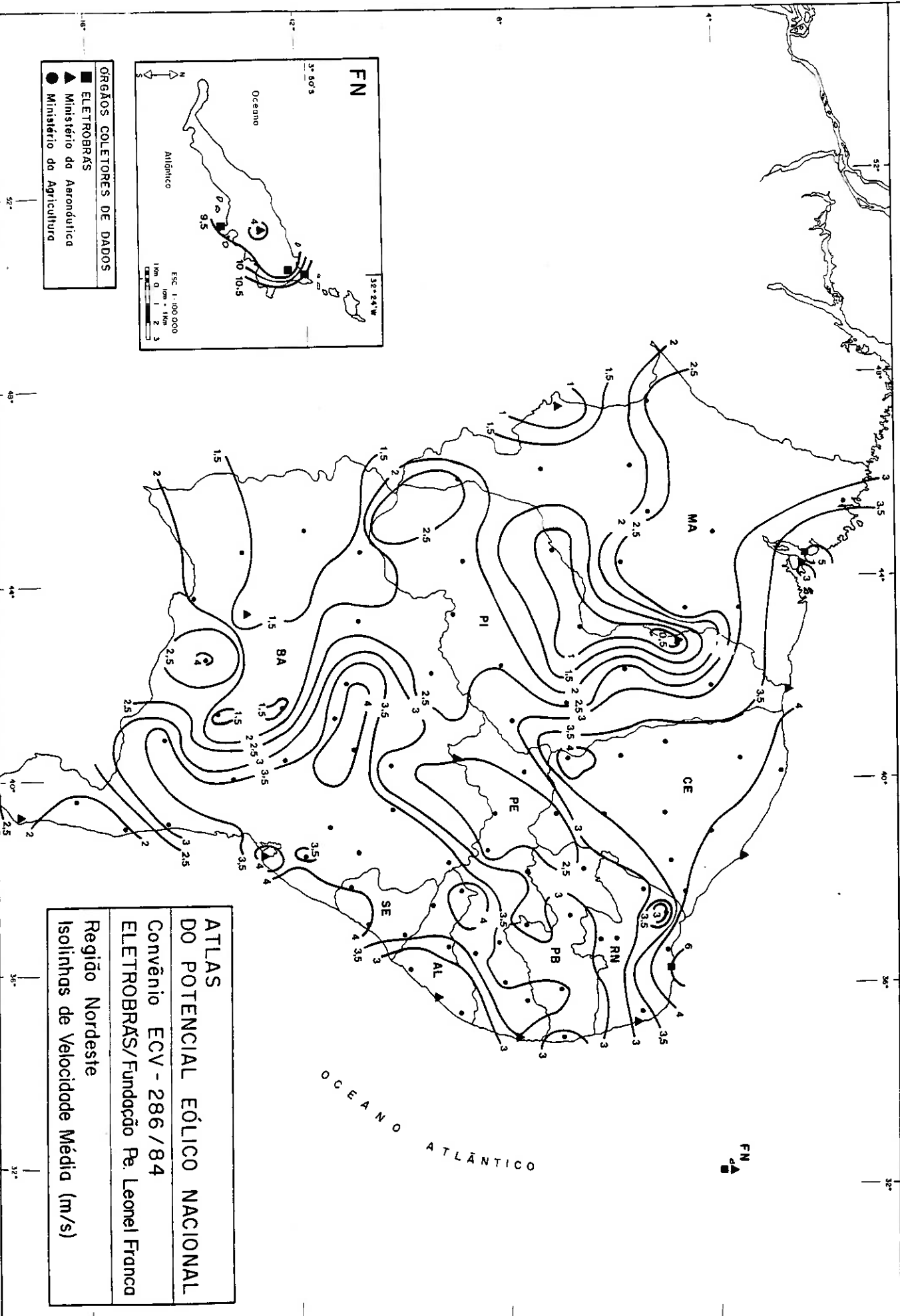
■ ELETOBRAS
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286/84
 ELETOBRAS/Fundação Pe. Leonel Franco
 Região Nordeste
 Coordenado Geral:
 LUCY HACK
 Prof. Dr. PUC/PA

ILHA DE
 FERNANDO
 DE NORONHA

OCEANO ATLÂNTICO

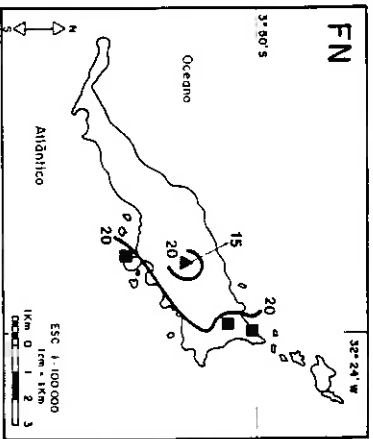
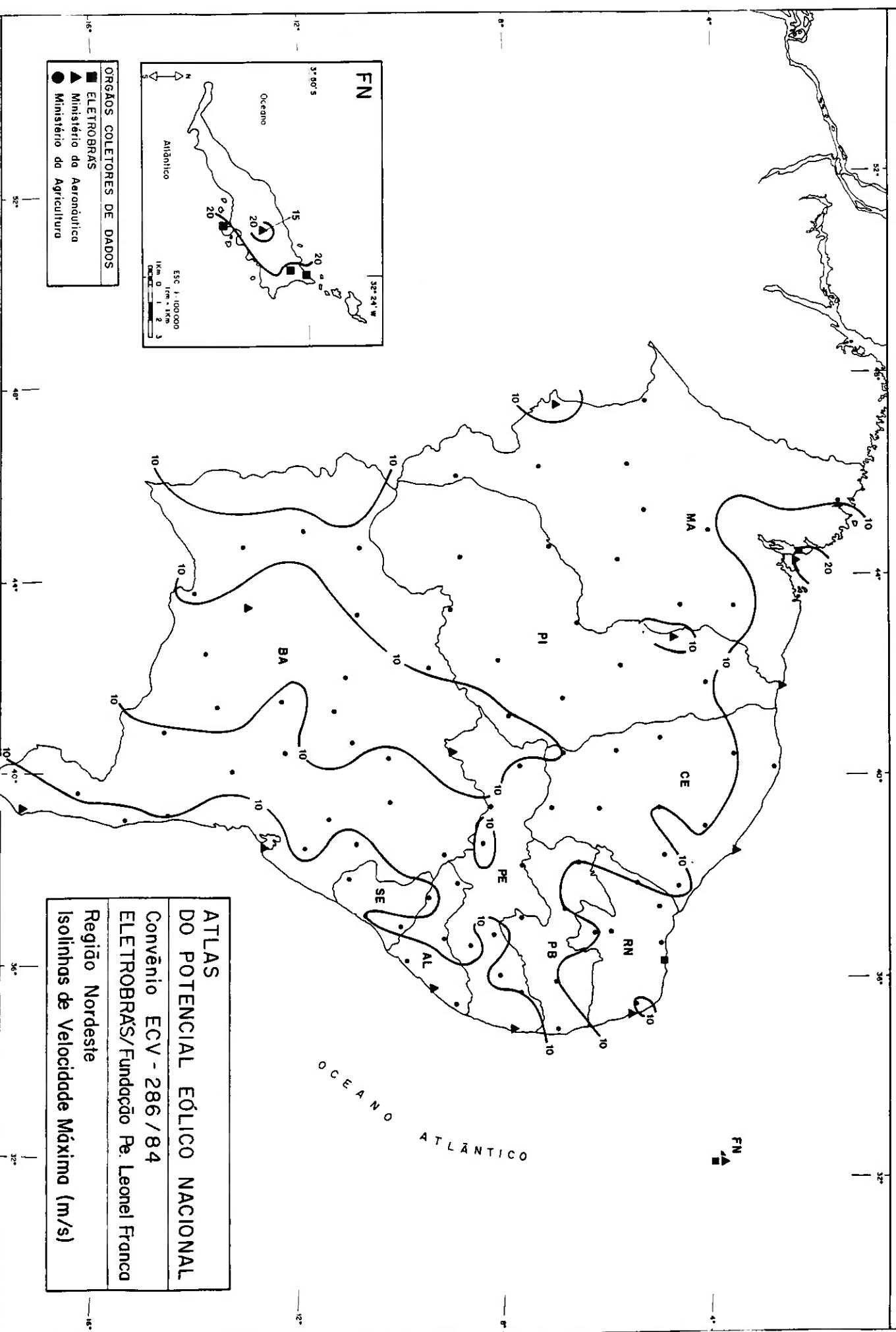
NORDESTE



■ ELETOBRAS
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura

ATLAS
 DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286 / 84
 ELETOBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca
 Região Nordeste
 Isolinhas de Velocidade Média (m/s)

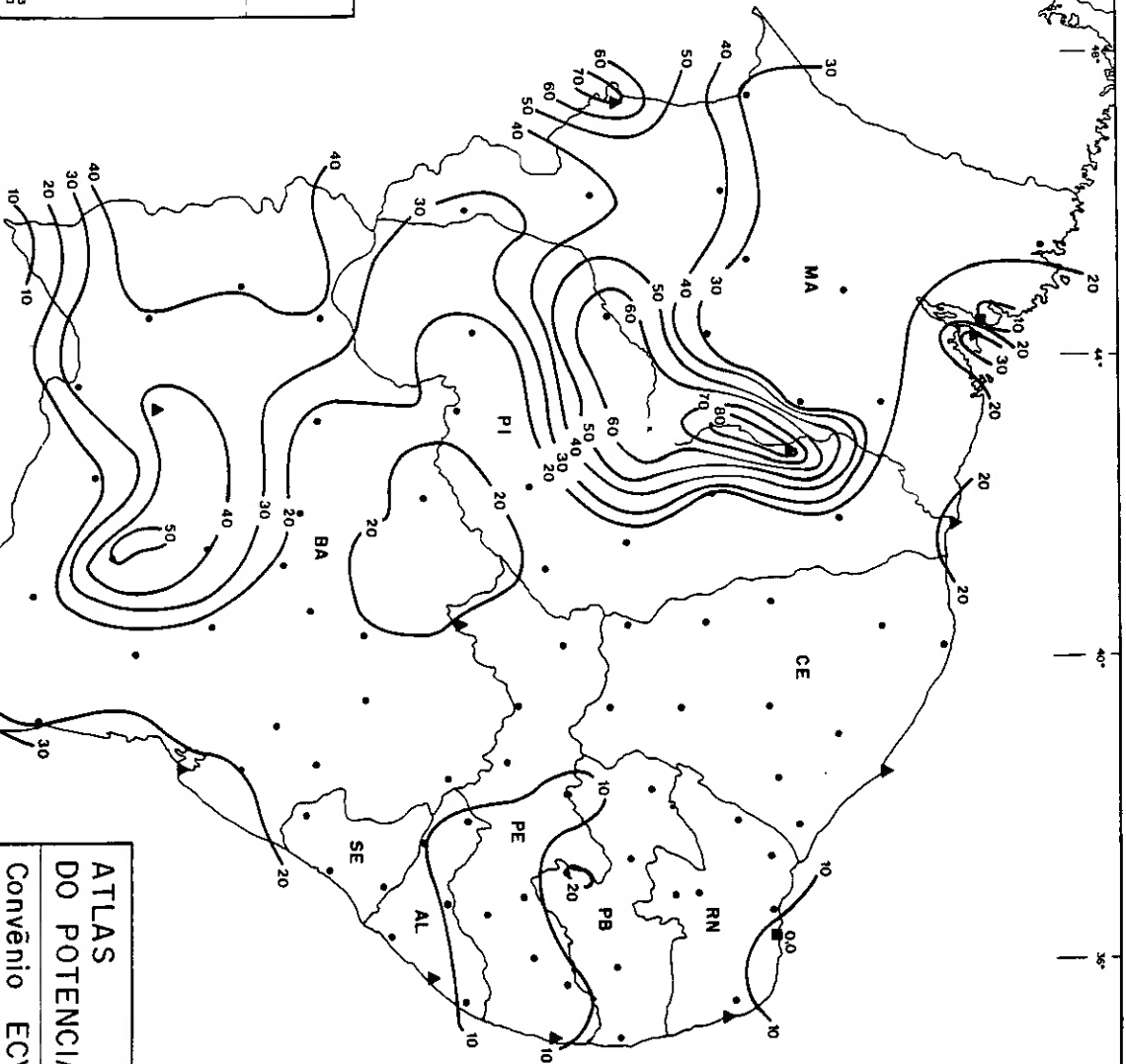
NORDESTE



- ORGÃOS COLETORES DE DADOS**
- ELETROBRÁS
 - ▲ Ministério da Aeronáutica
 - Ministério da Agricultura

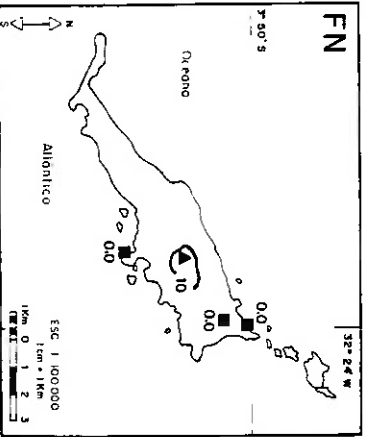
**ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL**
Convênio ECV - 286 / 84
ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Nordeste
Isolinhas de Velocidade Máxima (m/s)

NORDESTE



ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286/84
ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Nordeste
Isolinhas de Calmaria (%)

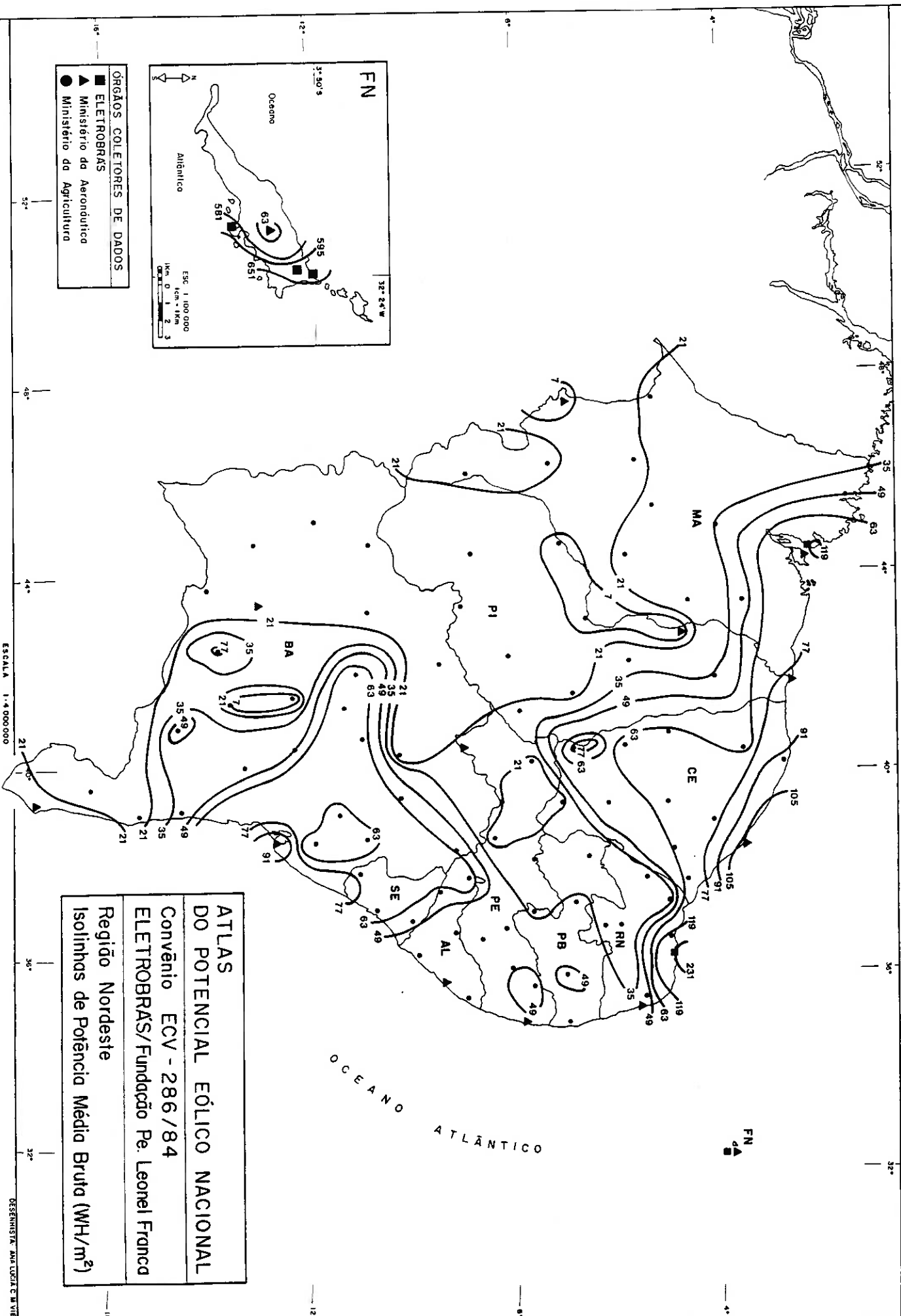
ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
■ ELETROBRAS
▲ Ministério da Aeronáutica
● Ministério da Agricultura



OCEANO ATLÂNTICO

FN

NORDESTE



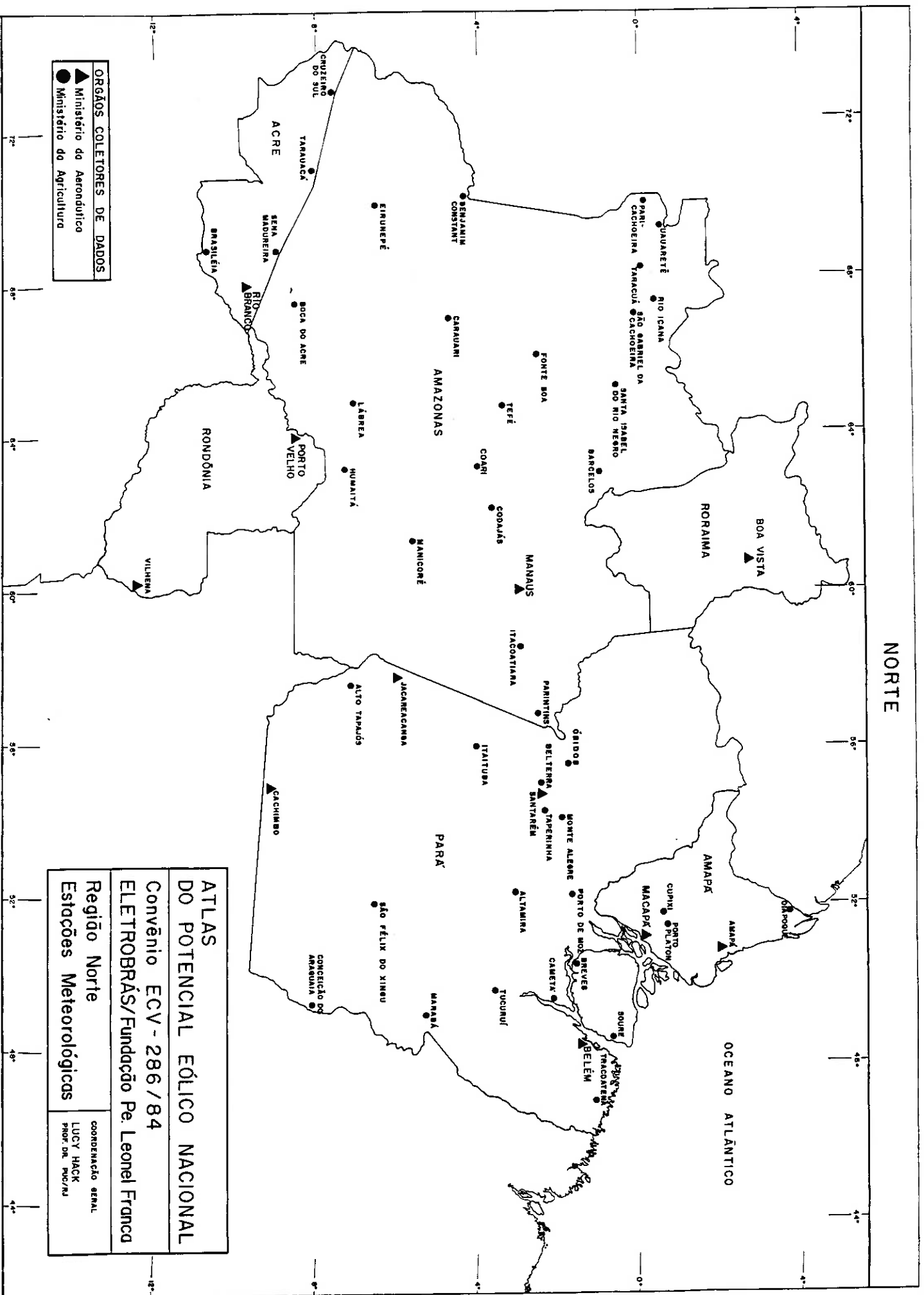
ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286/84
 ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca
 Região Nordeste
 Isolinhas de Potência Média Bruta (Wh/m²)

NORTE

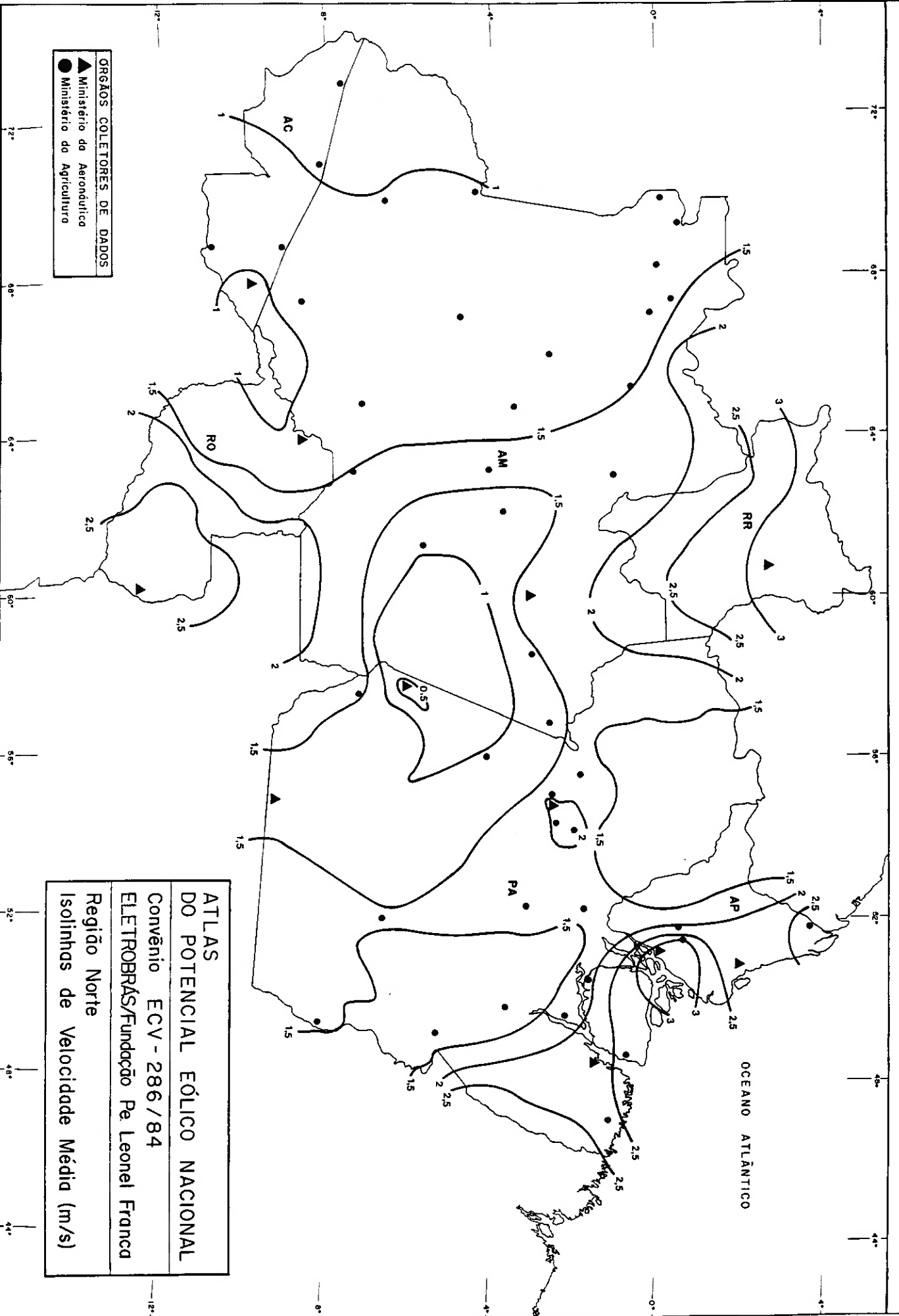
ORGÃOS COLETORES DE DADOS
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura

ATLAS
 DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286 / 84
 ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franco
 Região Norte
 Estações Meteorológicas

COORDENAÇÃO GERAL
 LUCY HACK
 PROF. DR. PUC/RJ



NORTE



ORGÃOS COLETORES DE DADOS
▲ Ministério da Aeronáutica
● Ministério da Agricultura

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286 / 84
ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Norte
Isolinhas de Velocidade Média (m/s)

ESCALA 1:5.000.000

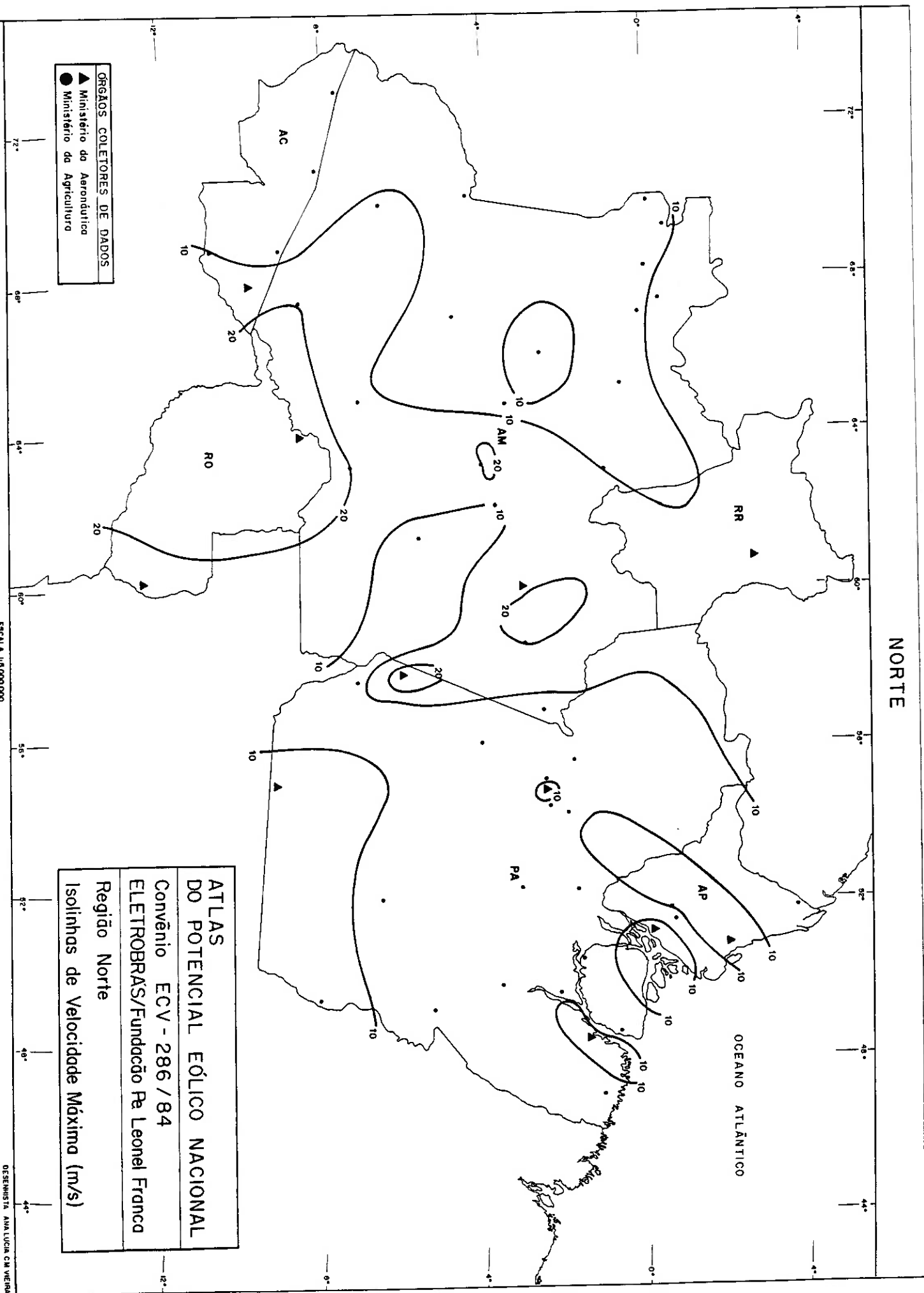
DESENHISTA: ANA LUCIA C.M. VIEIRA

NORTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286 / 84
ELETROBRÁS/Fundação Pa. Leonel Franco
Região Norte
Isolinhas de Velocidade Máxima (m/s)



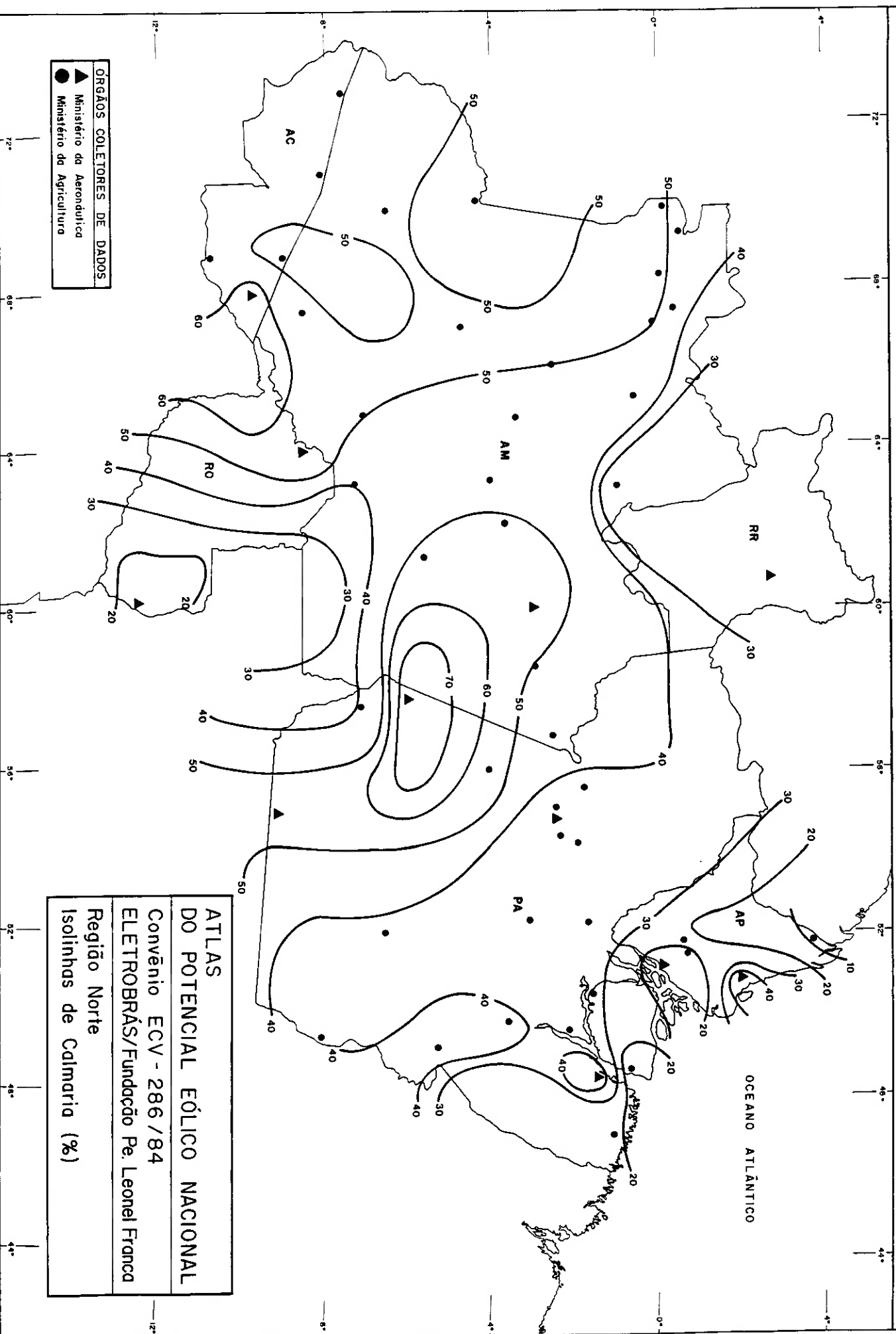
ESCALA 1:8.000.000

DESENHISTA: ANA LÚCIA C.M. VIEIRA

NORTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
▲ Ministério da Aeronáutica
● Ministério da Agricultura

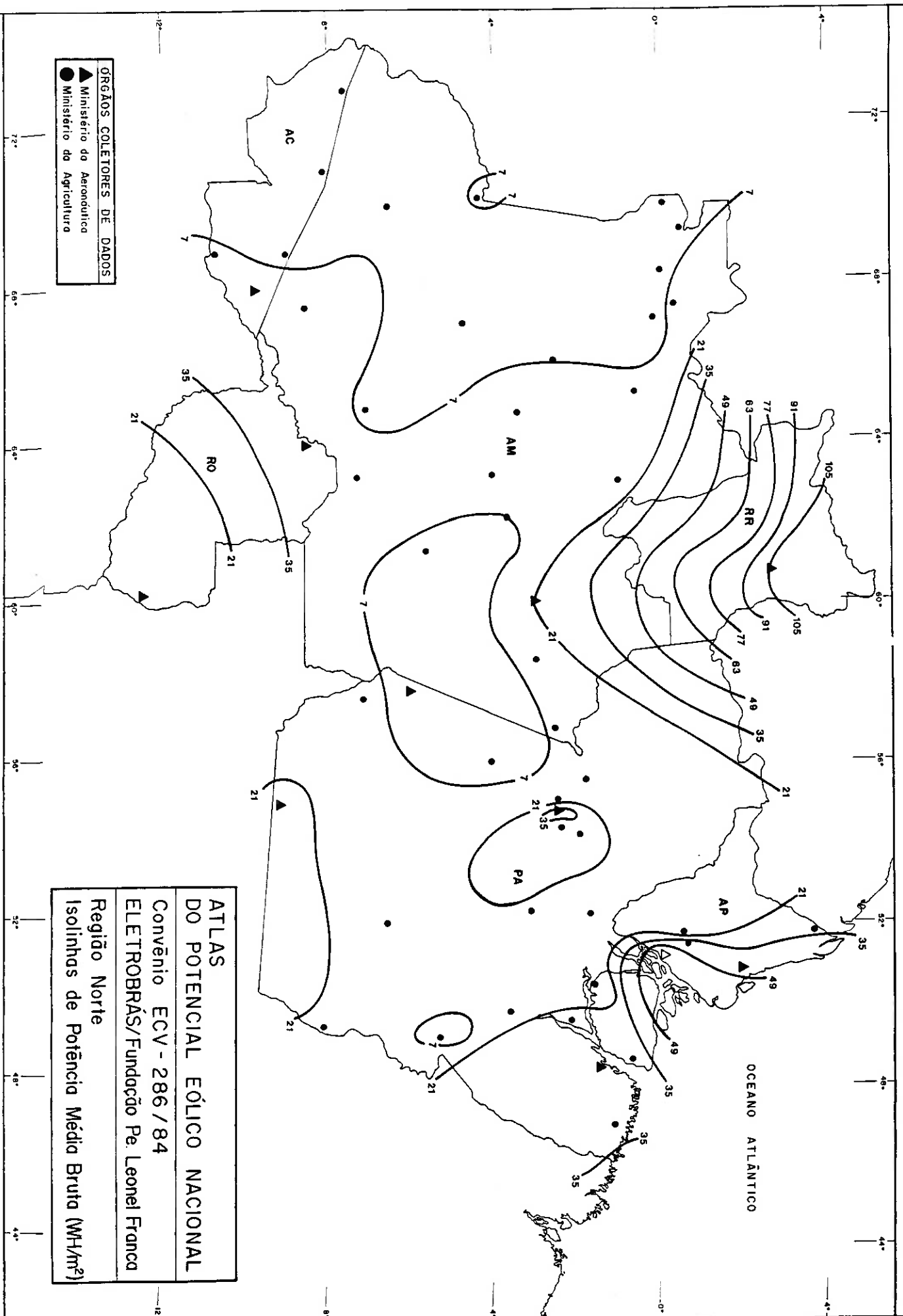
ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286 / 84
ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Norte
Isolinhas de Calmaria (%)



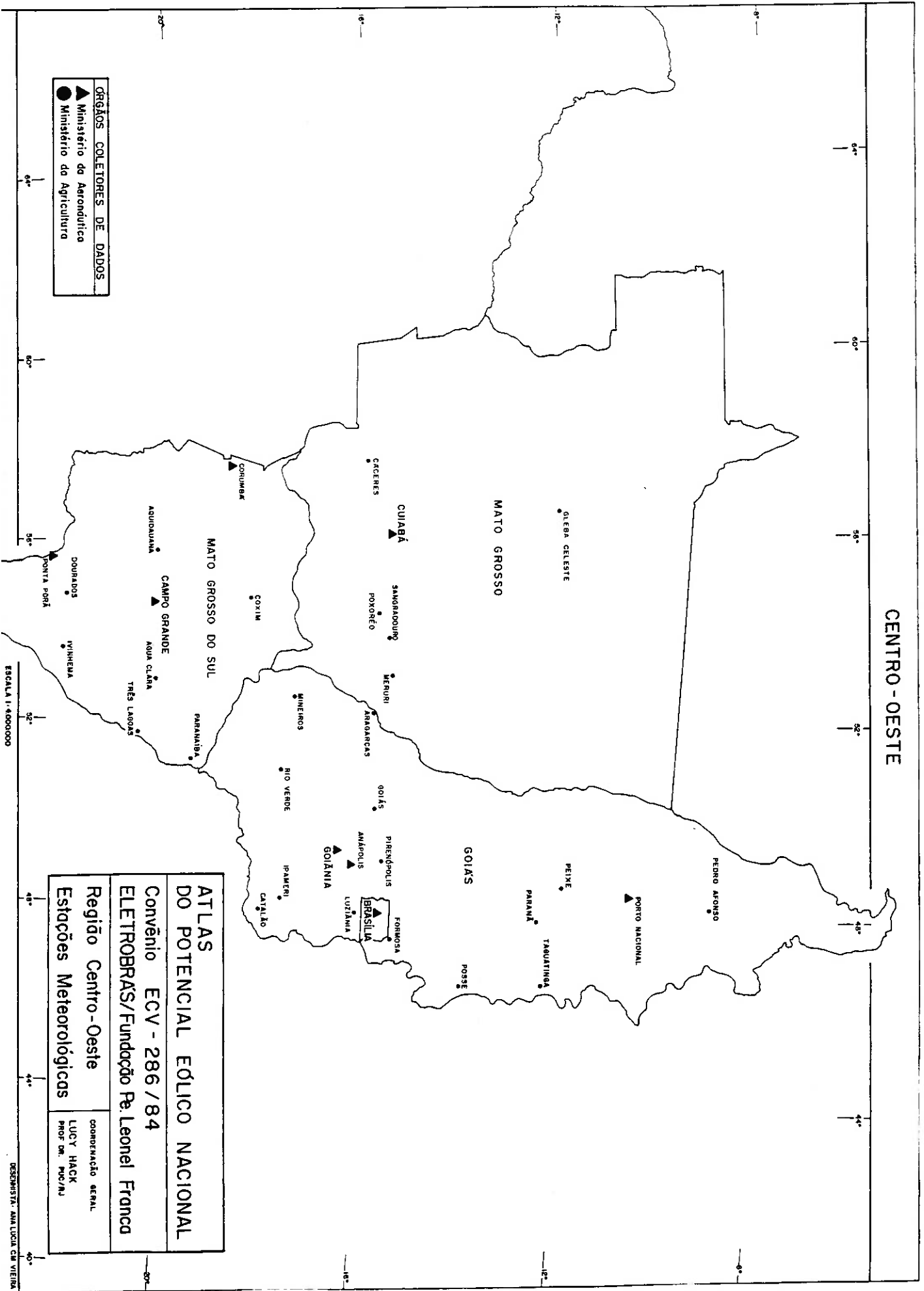
NORTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
▲ Ministério da Aeronáutica
● Ministério da Agricultura

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
Convênio ECV - 286 / 84
ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca
Região Norte
Isolinhas de Potência Média Bruta (W/m²)



CENTRO-OESTE



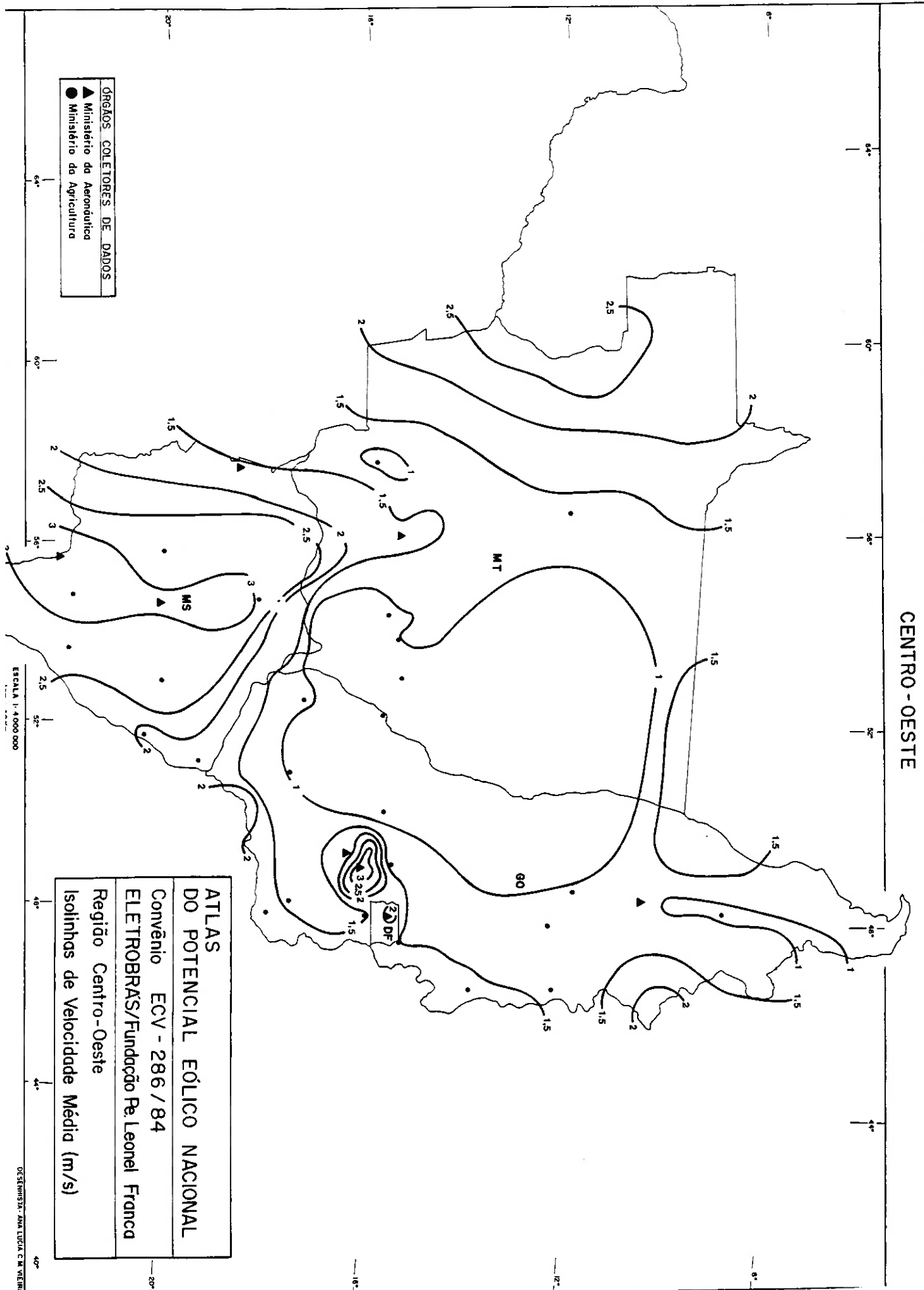
ORGÃOS COLETORES DE DADOS:
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura

ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL Convênio ECV - 286 / 84 ELETROBRÁS/Fundação Fe. Leonel Franco	
Região Centro-Oeste Estações Meteorológicas	COORDENAÇÃO GERAL LUCY HACK PROF. DR. PUC/RJ

ESCALA 1:4000000

DESENHISTA: ANA LUCIA CM VIEIRA

CENTRO-OESTE



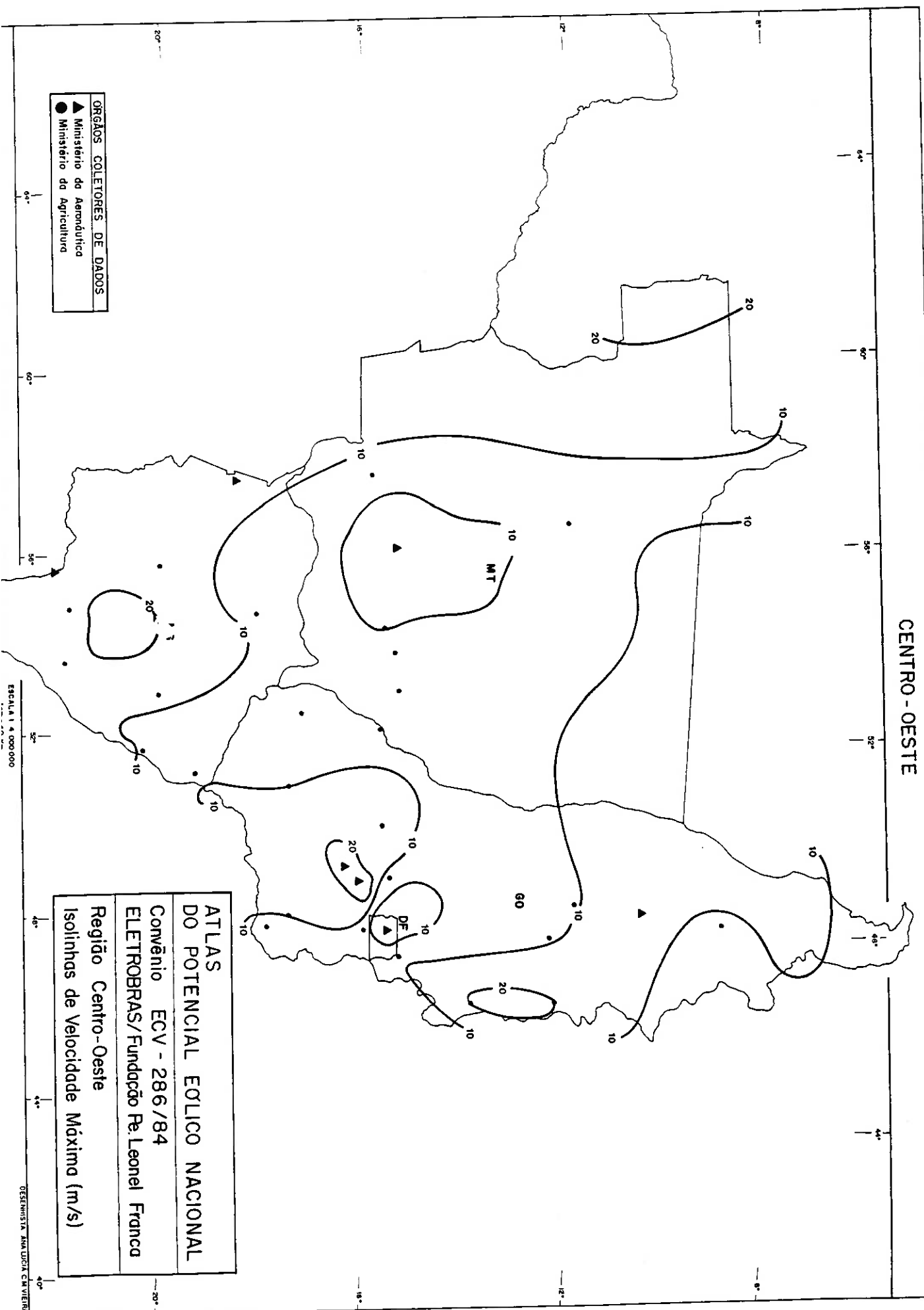
ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS
 ▲ Ministério da Aeronáutica
 ● Ministério da Agricultura

ATLAS
 DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286 / 84
 ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca
 Região Centro-Oeste
 Isolinhas de Velocidade Média (m/s)

ESCALA 1:4.000.000

COORDENADAS - AMPLIADA C. M. VIEIRA

CENTRO-OESTE



ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura

ATLAS DO POTENCIAL EOLICO NACIONAL
 Convênio ECV - 286/84
 ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca
 Região Centro-Oeste
 Isolinhas de Velocidade Máxima (m/s)

ESCALA 1:4.000.000

DESENHISTA: ANA LÚCIA CÂMERA

CENTRO - OESTE

ORGÃOS COLETORES DE DADOS

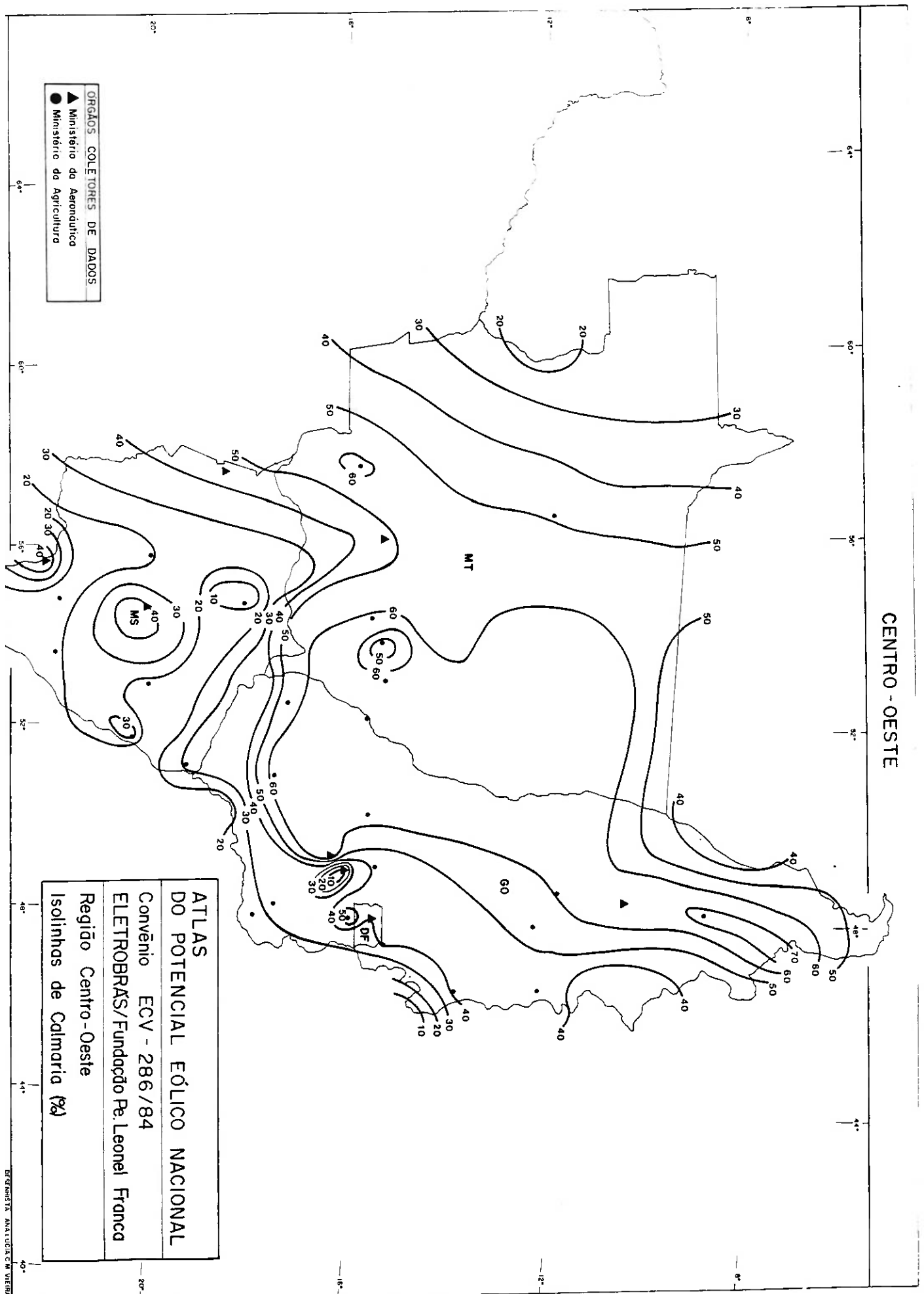
- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura

ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

Convênio ECV - 286/84
ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franca

Região Centro-Oeste

Isolinhas de Calmaria (%)



CENTRO - OESTE

ÓRGÃOS COLETORES DE DADOS

- ▲ Ministério da Aeronáutica
- Ministério da Agricultura

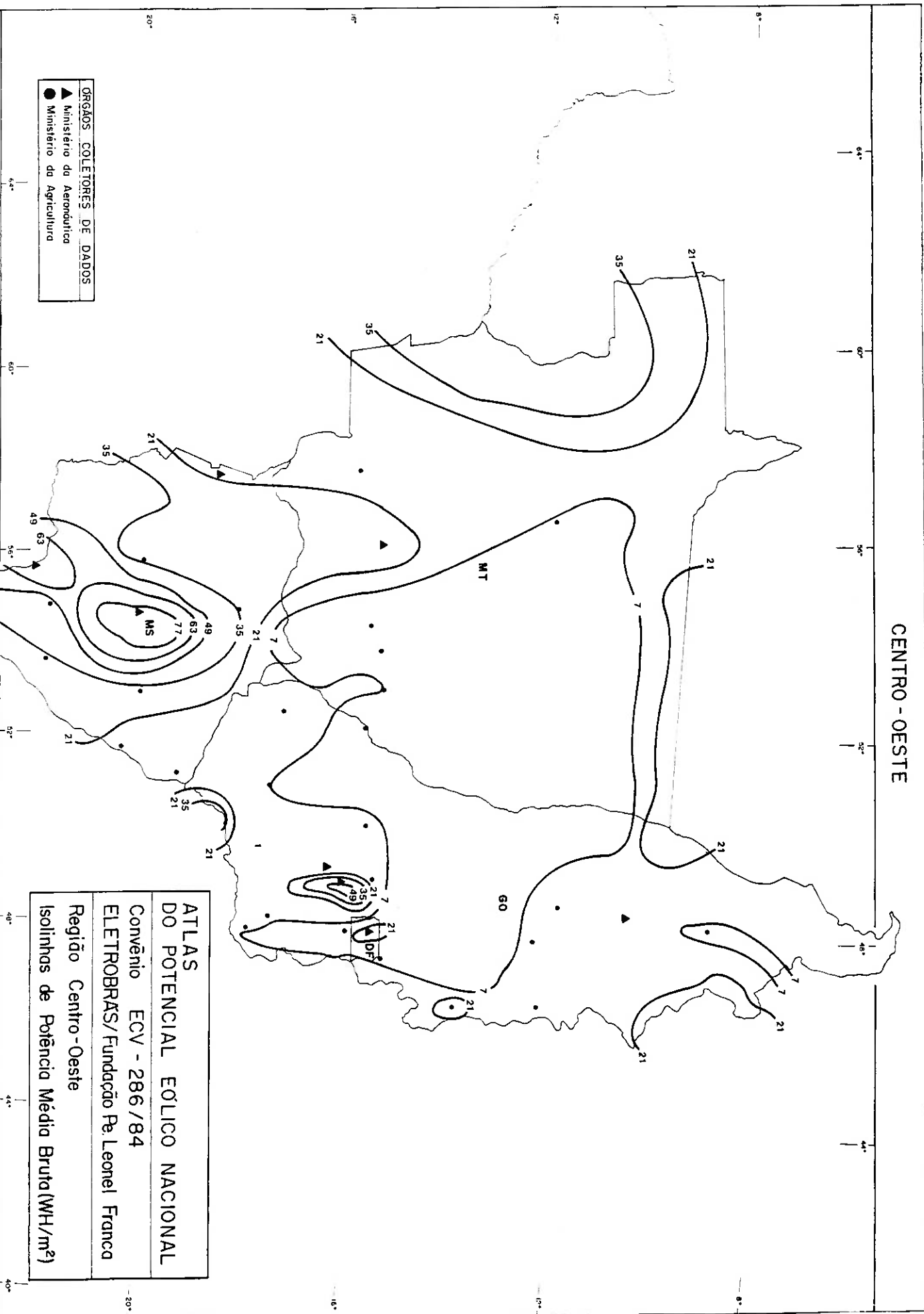
ATLAS
DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL

Convênio ECV - 286 / 84

ELETROBRÁS/Fundação Pe. Leonel Franca

Região Centro-Oeste

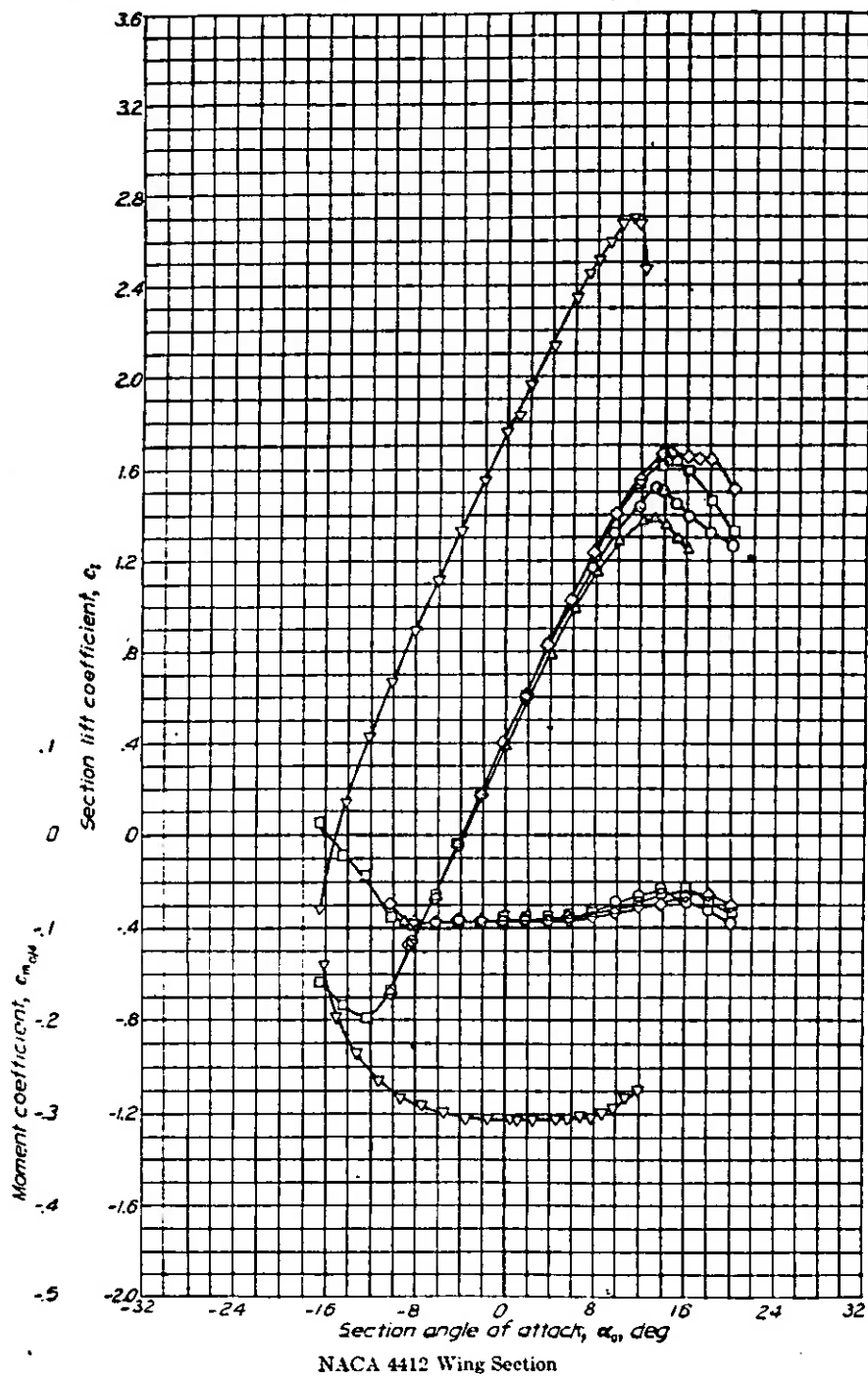
Isolinhas de Potência Média Bruta (W_H/m²)

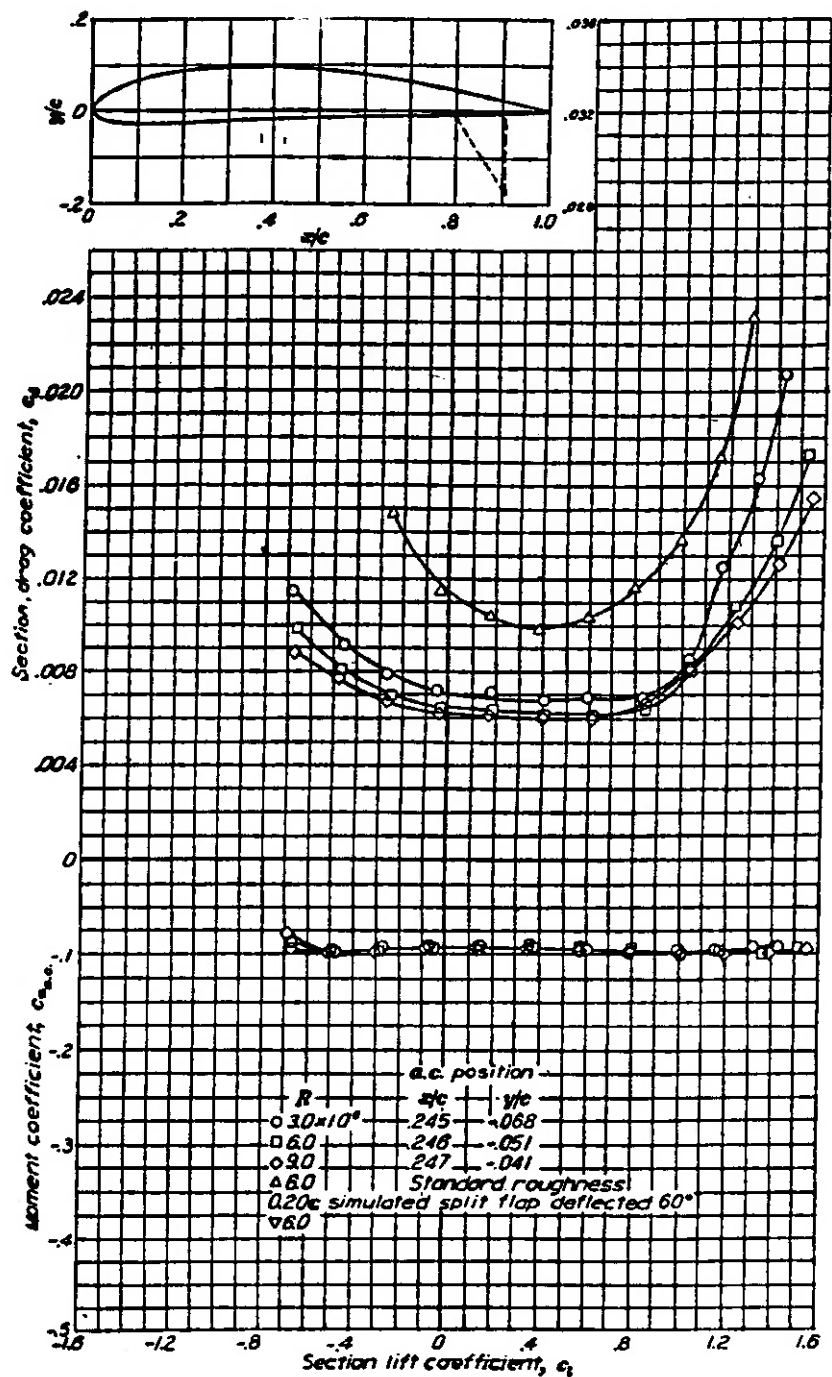


- ANEXO 2 -**ROTOR****➤ Gráficos Ângulo de Ataque x C_L e C_L x C_D :**

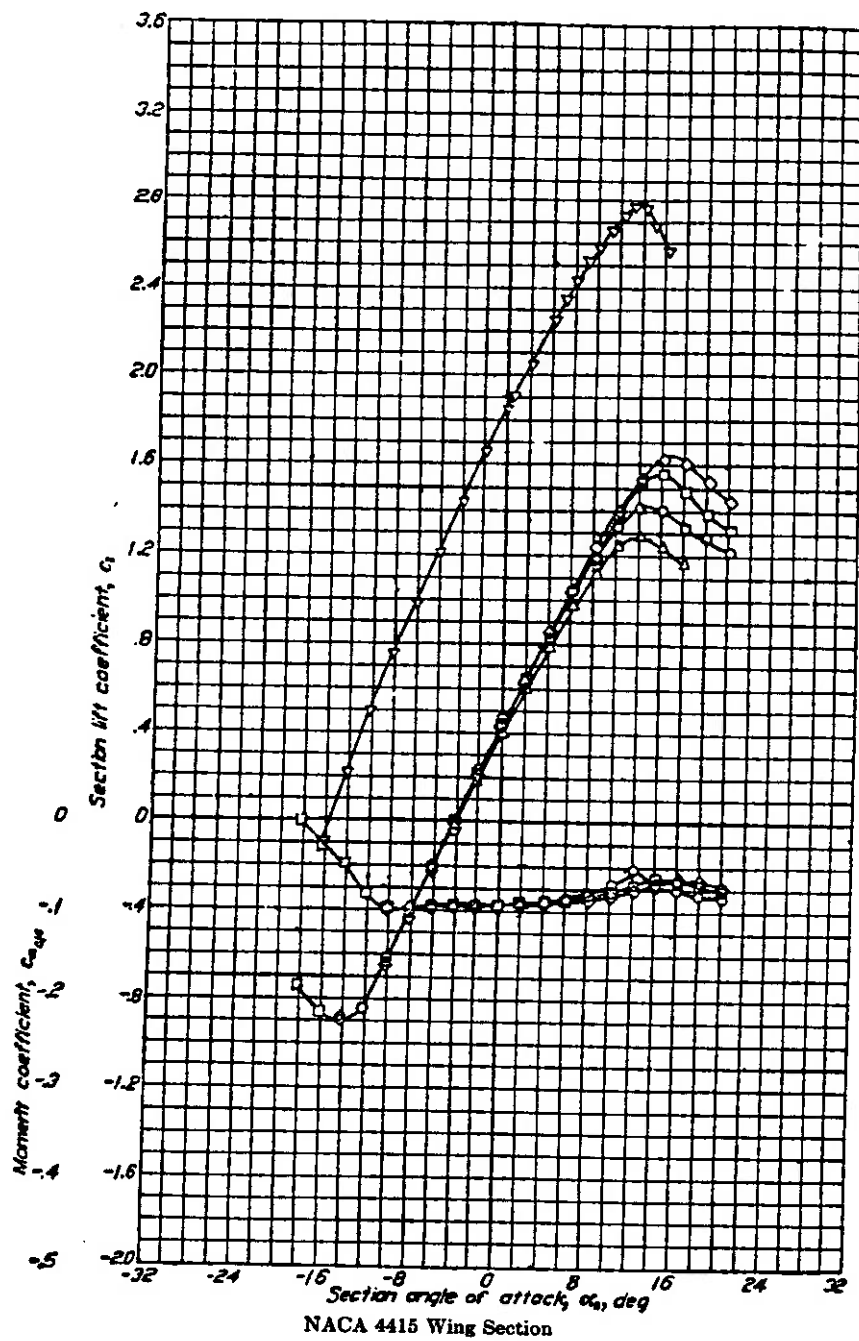
- **NACA 4412**
- **NACA 4415**
- **NACA 4418**
- **NACA 23012**
- **NACA 23015**
- **NACA 23018**
- **NACA 63206**
- **NACA 63209**
- **NACA 63210**

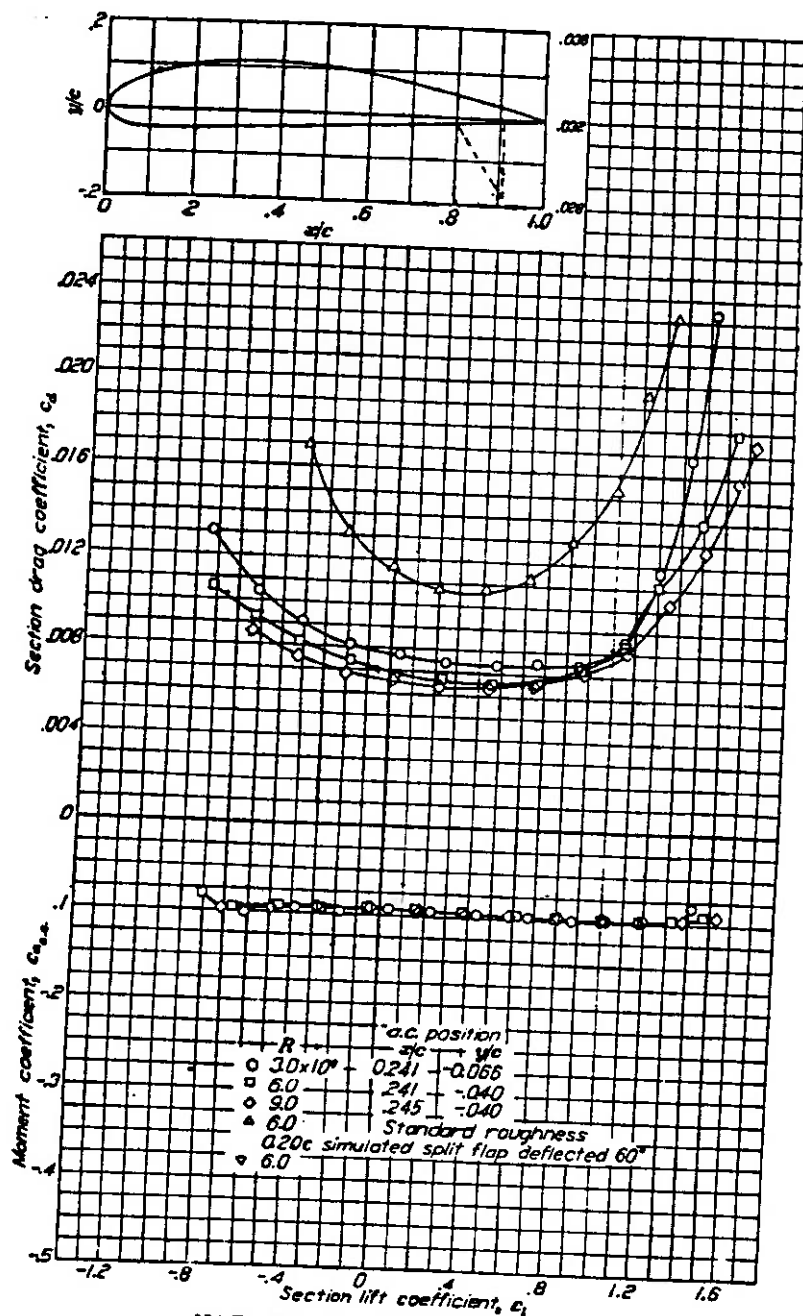
➤ Gráfico TSR x Eficiência (%)**➤ Tabela Fatores de Conversão****➤ Tabela Fator de Correção de Altitude****➤ Tabela Fator de Correção de Temperatura****➤ Gráfico TSR x Solidez****➤ Gráfico TSR x No. de Pás****➤ Gráfico SR x ϕ** **➤ Gráfico SR x SP****➤ Tabela de Parafusos: Diâmetros e Áreas****➤ Tabela de Parafusos: Especificações SAE para parafusos de Aço**



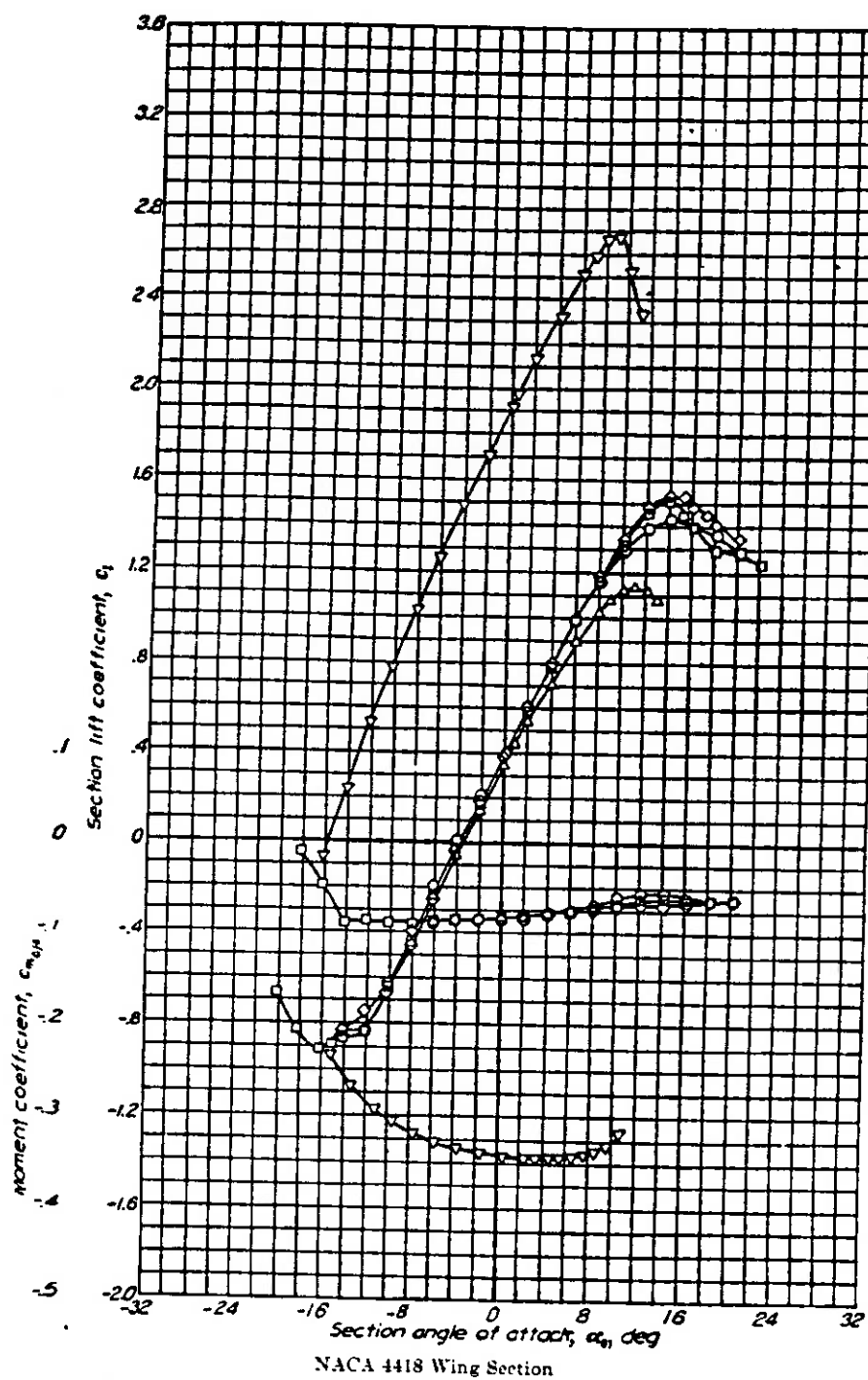


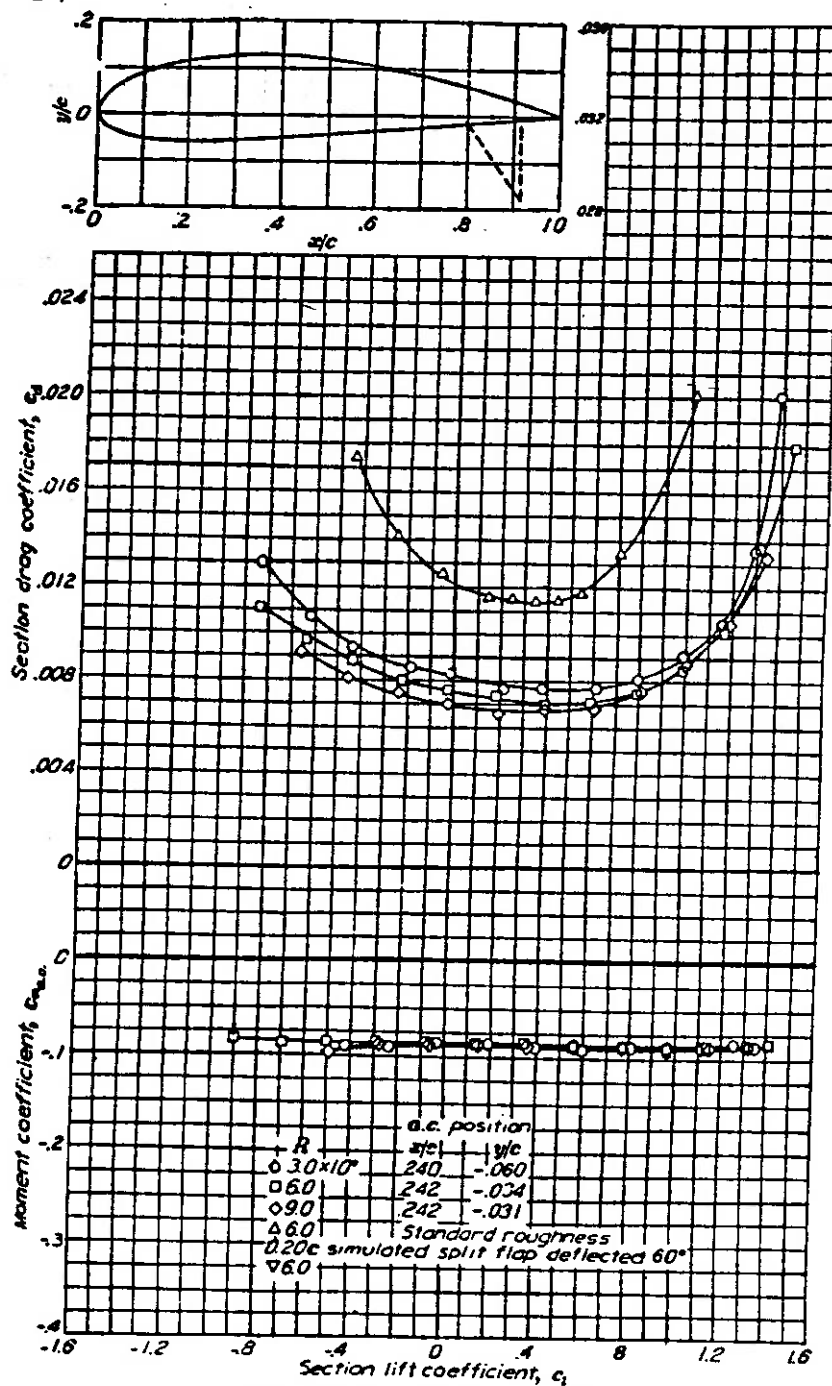
NACA 4412 Wing Section (Continued)



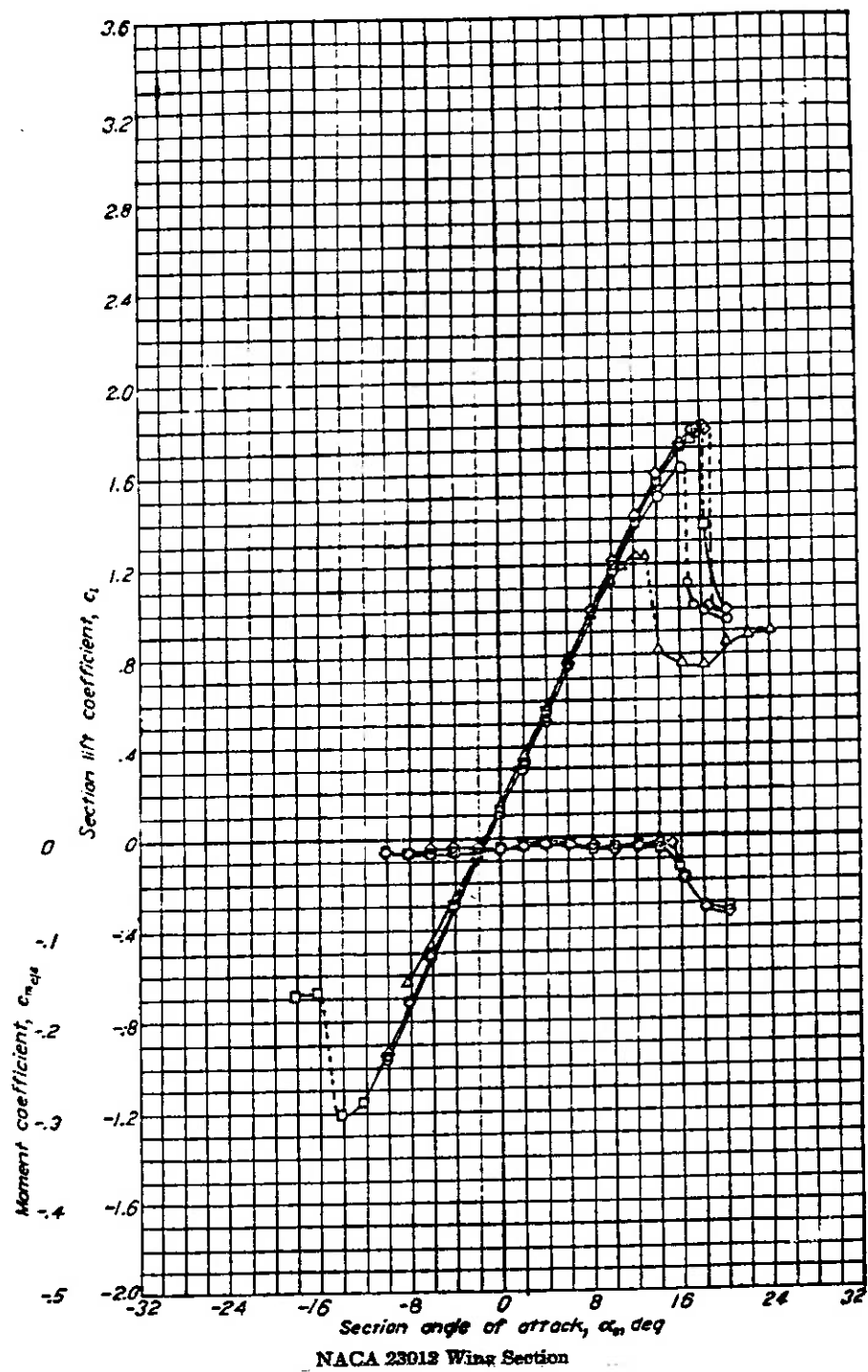


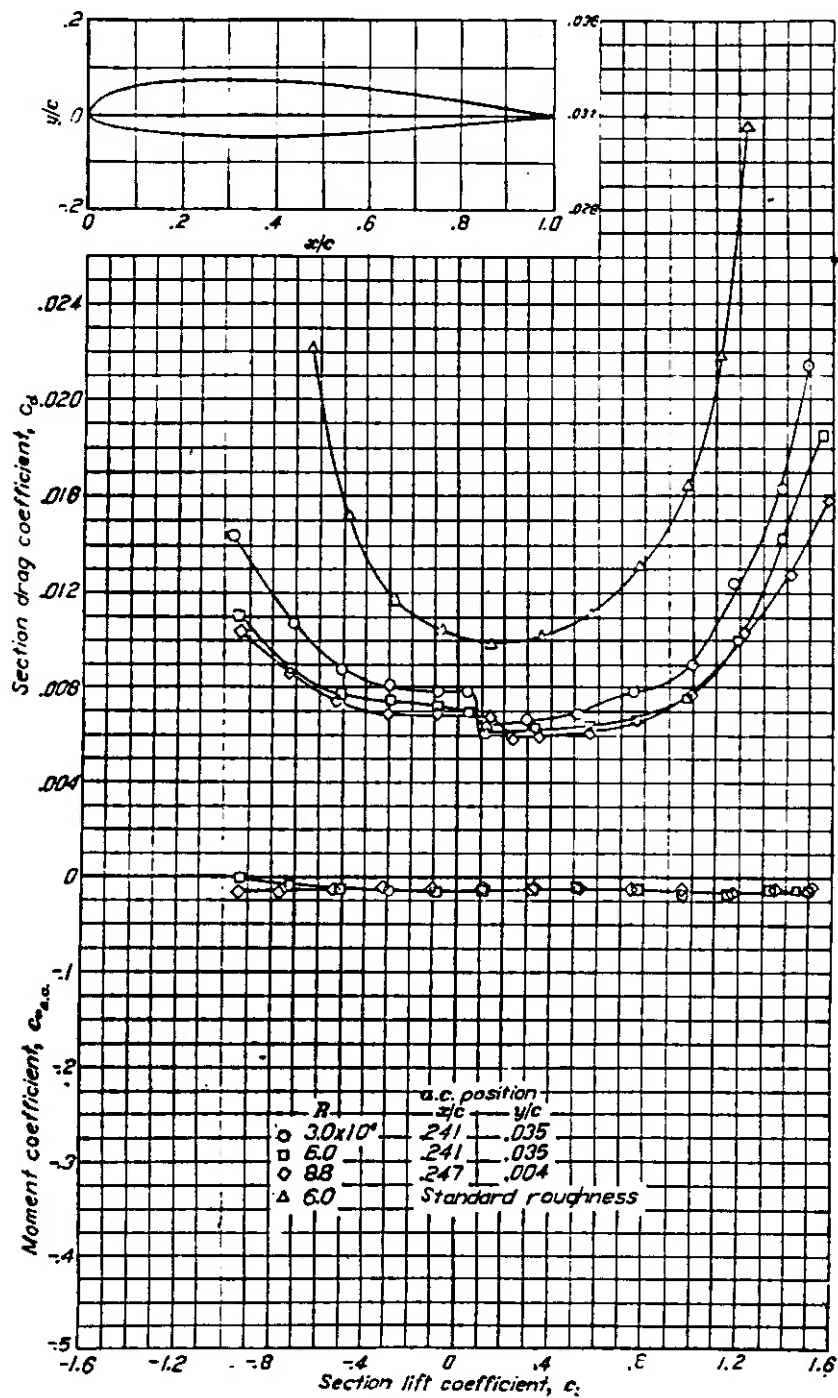
NACA 4415 Wing Section (Continued)



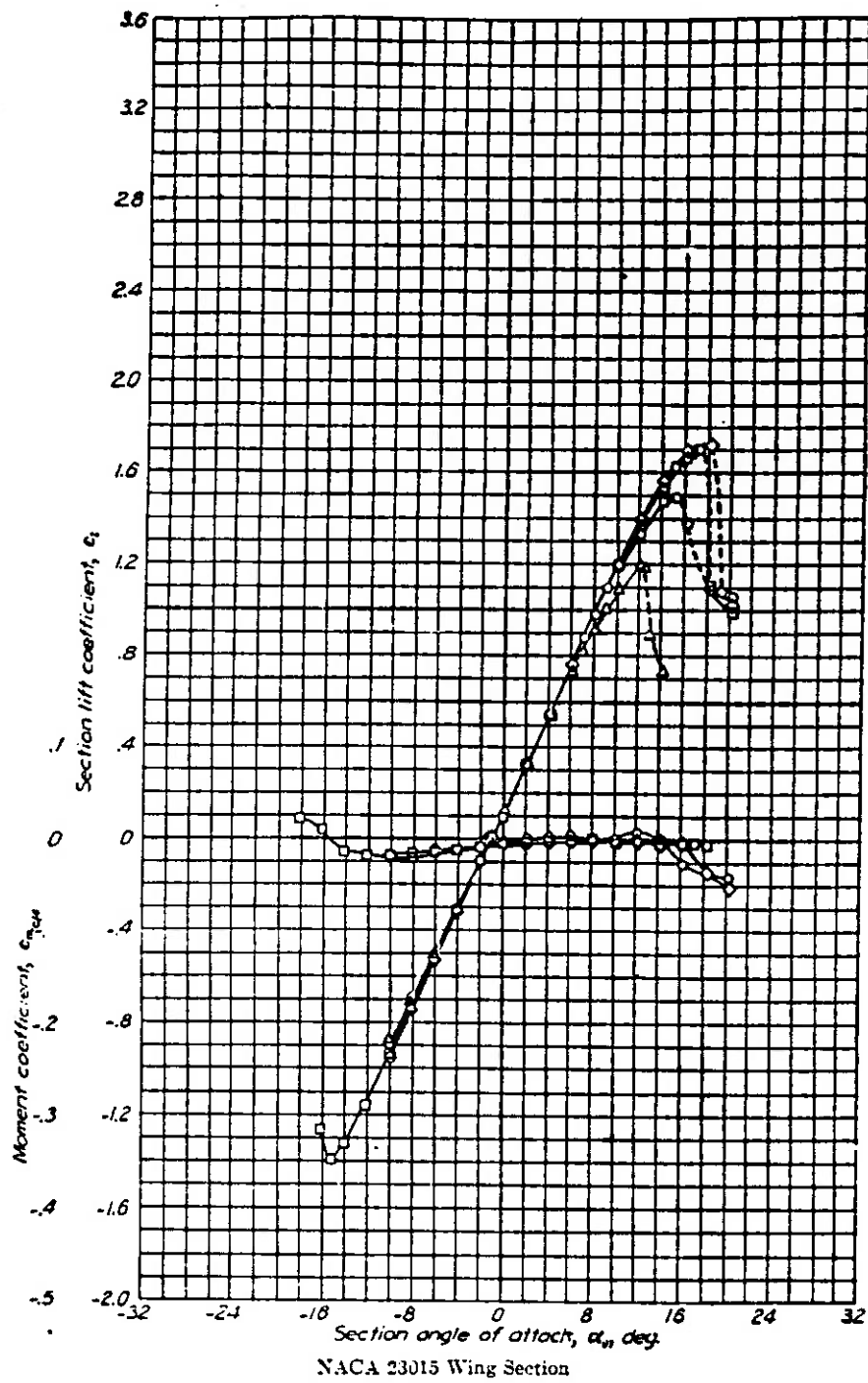


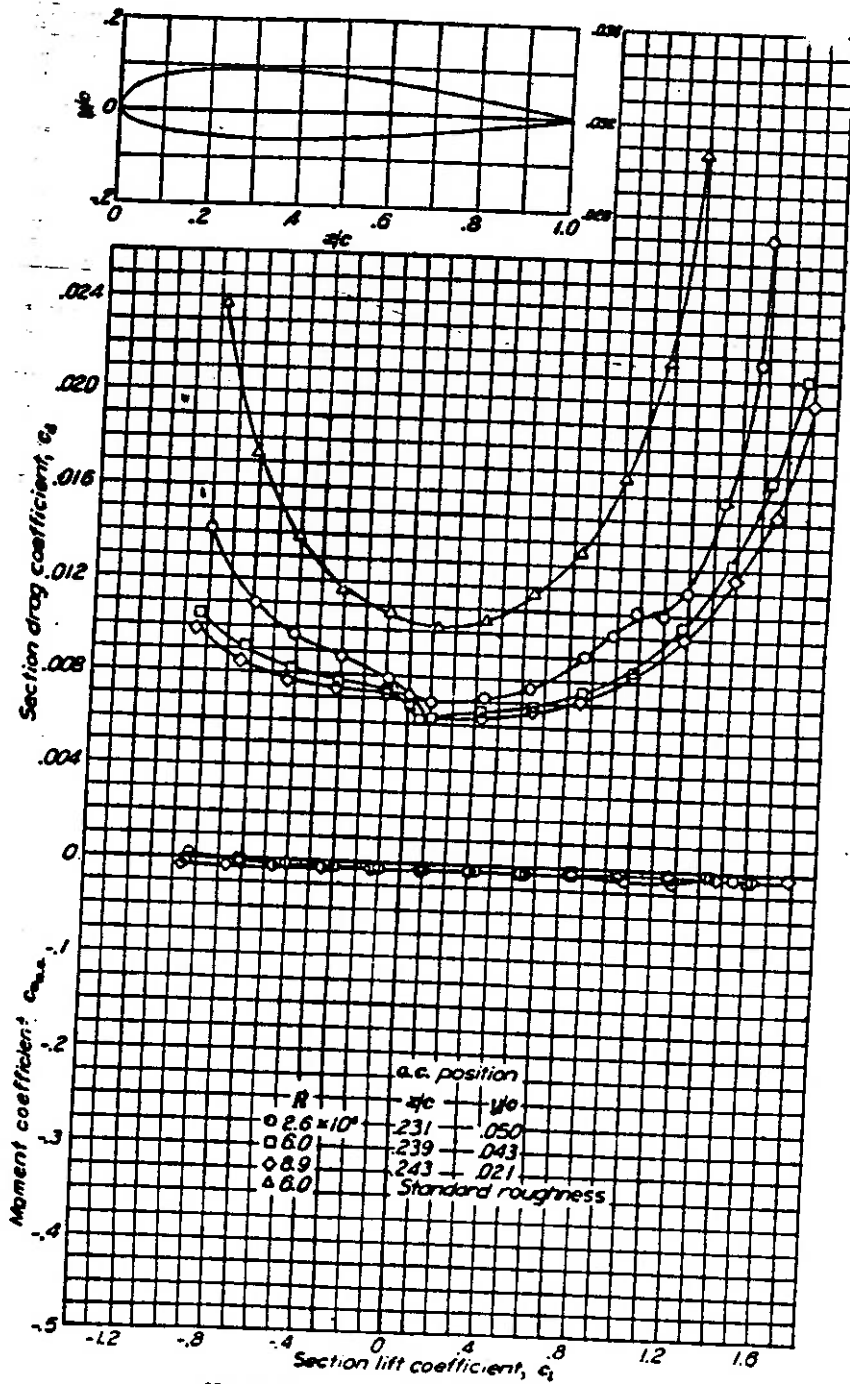
NACA 4418 Wing Section (Continued)



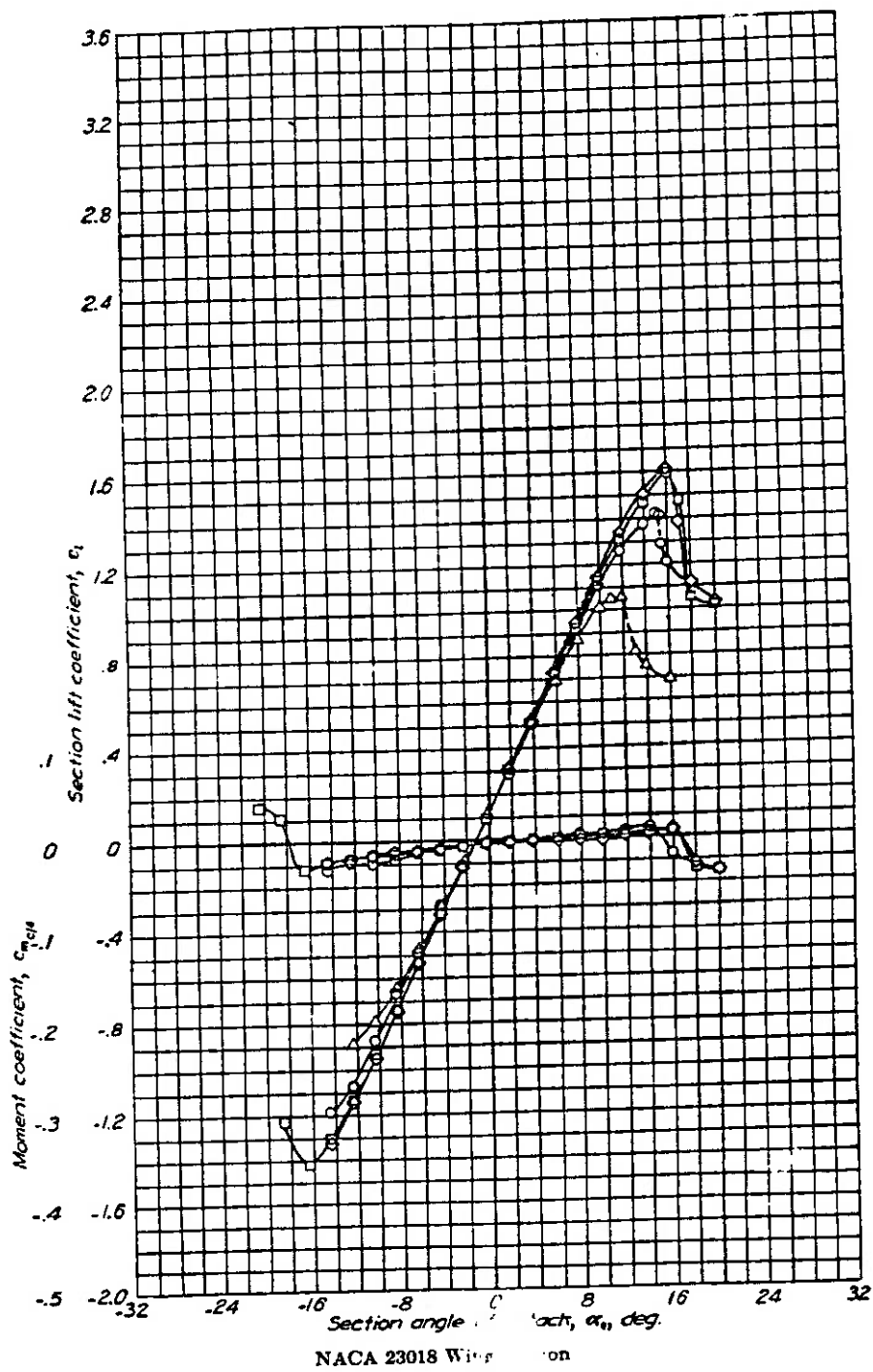


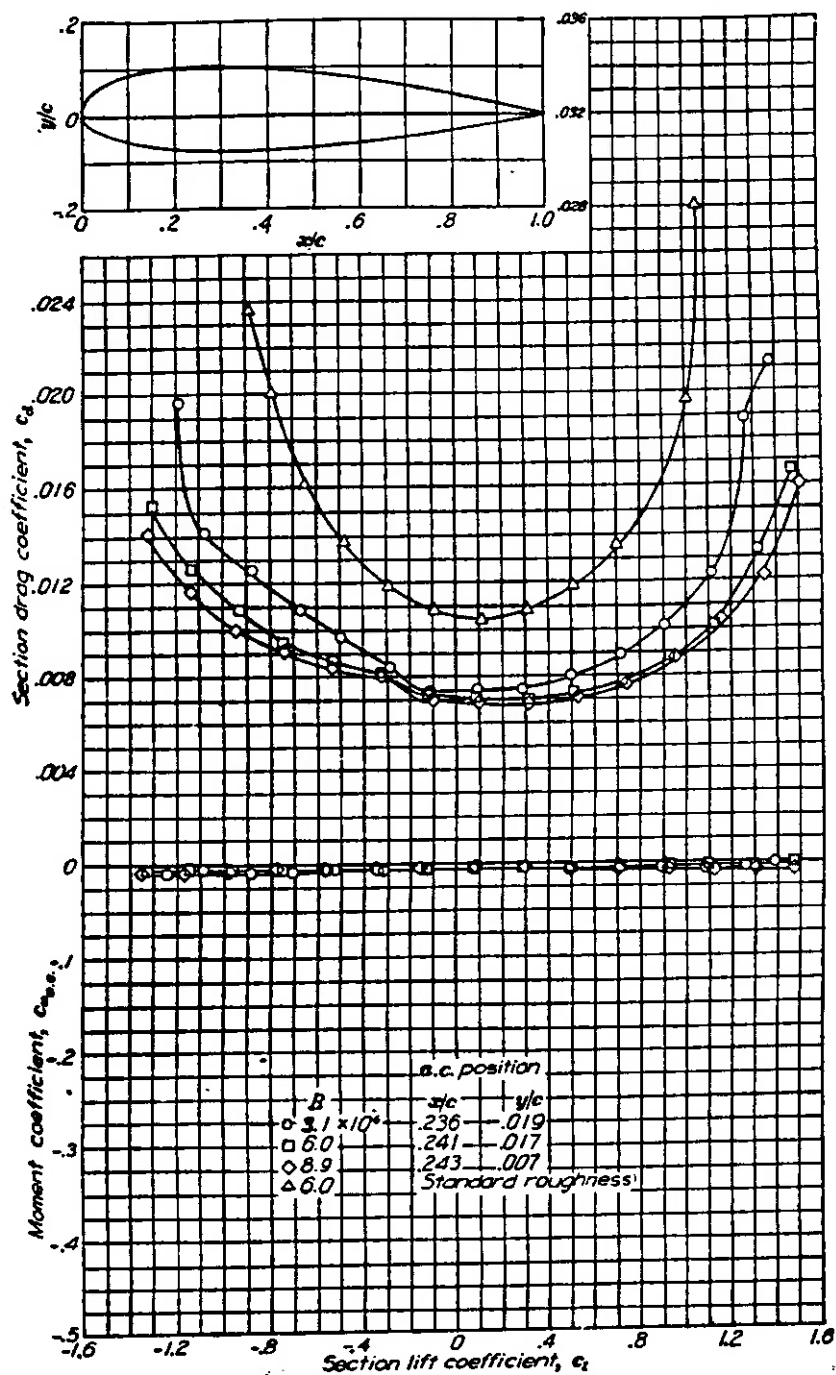
NACA 23012 Wing Section (Continued)



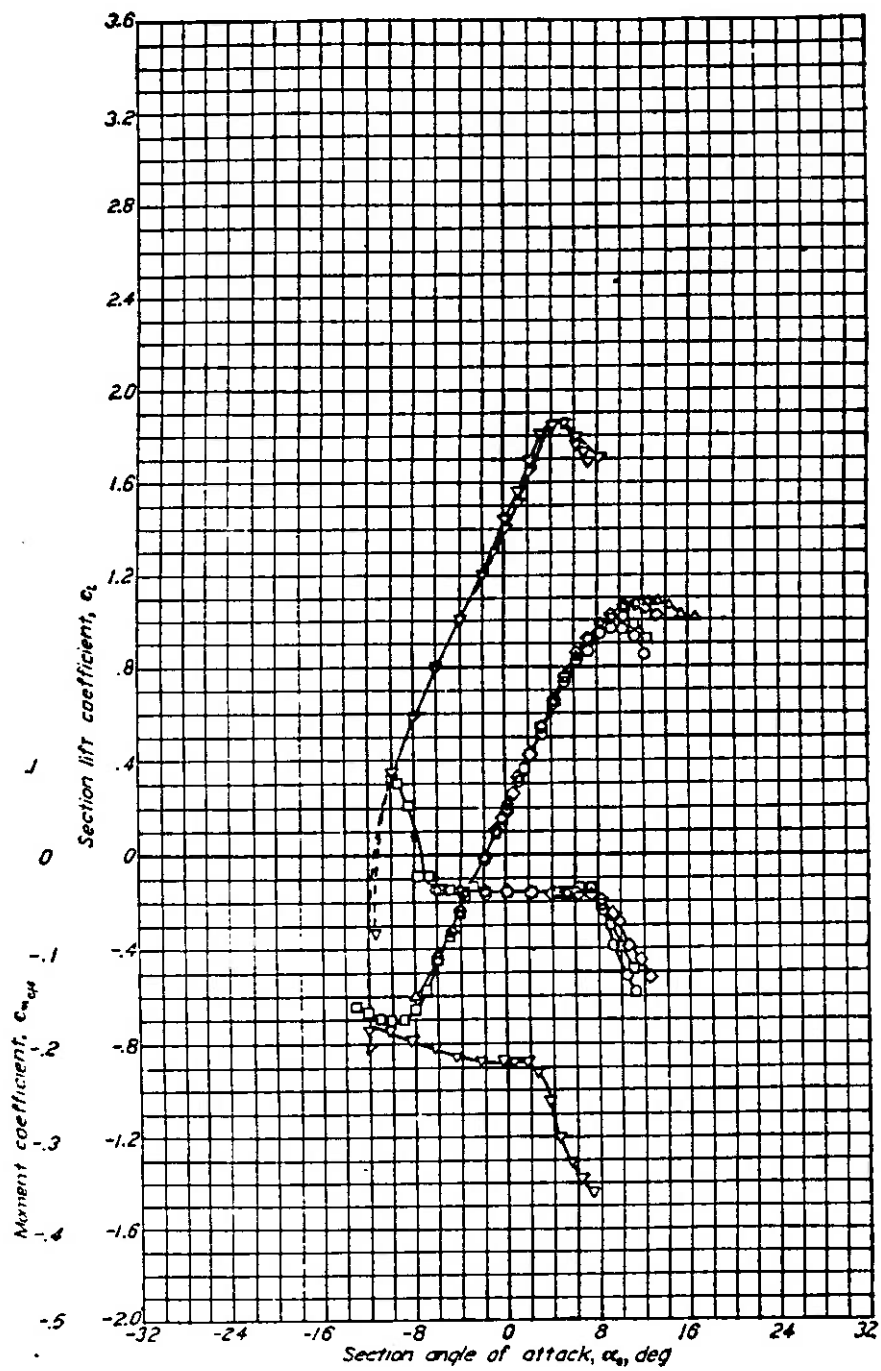


NACA 23015 Wing Section (Continued)

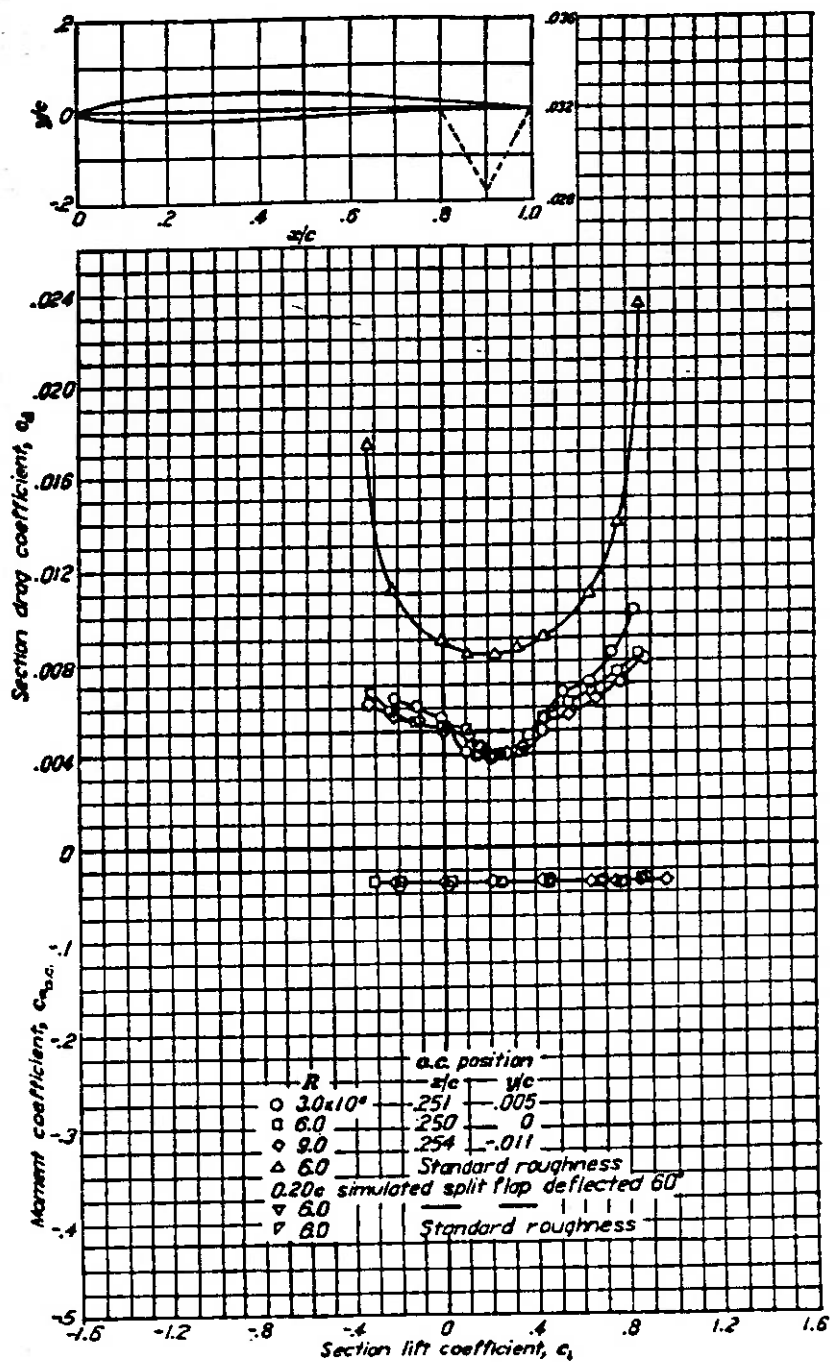




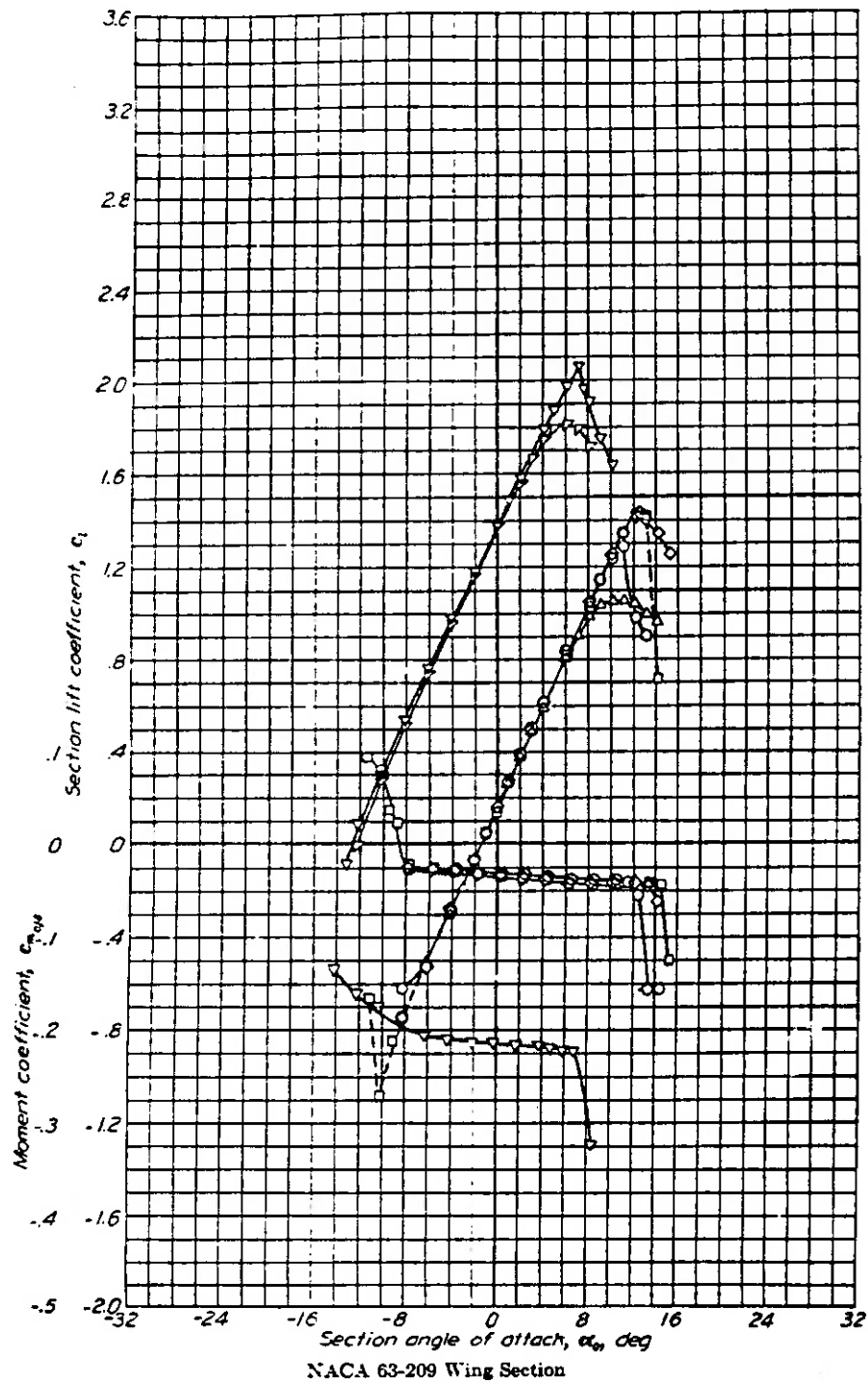
NACA 23018 Wing Section (Continued)

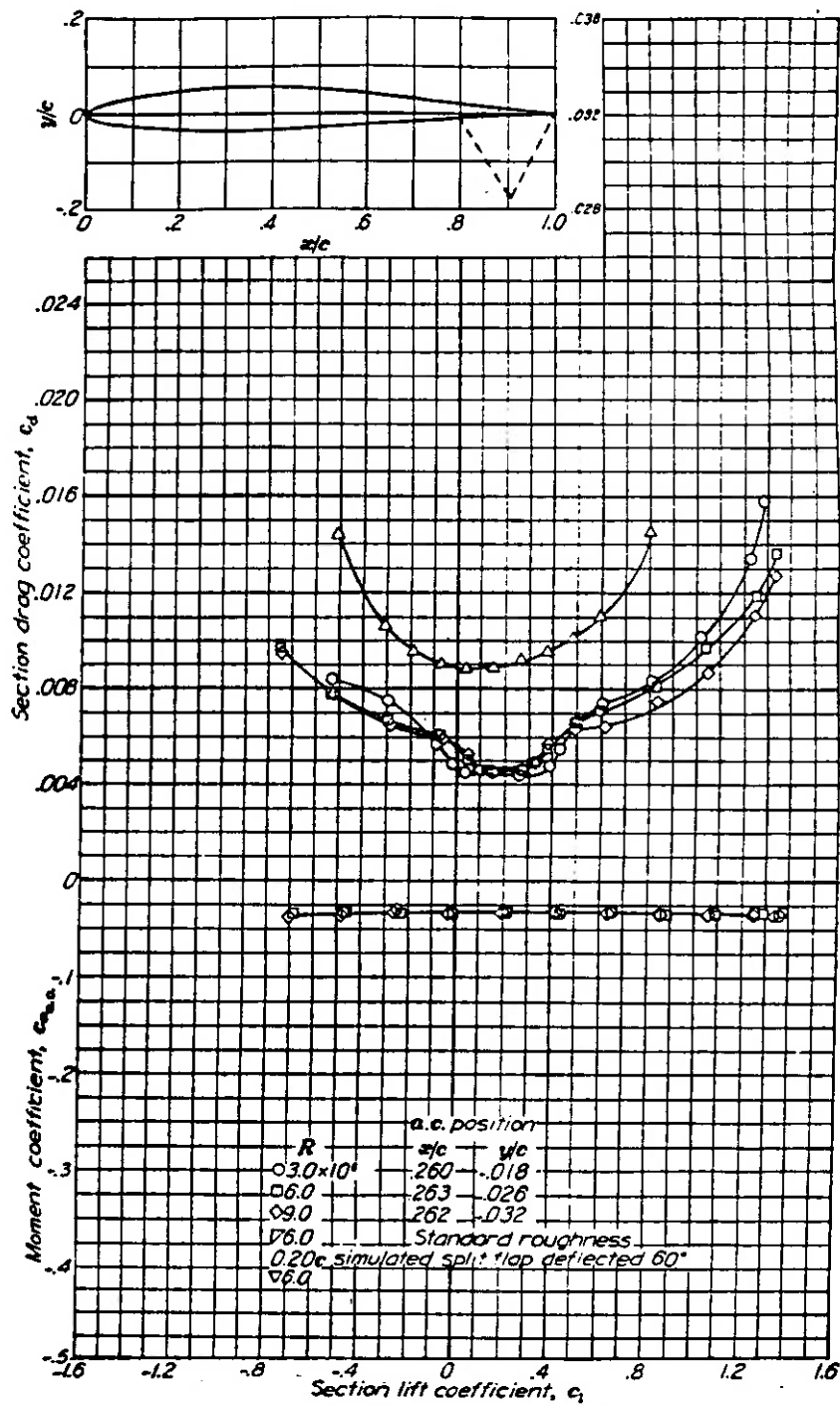


NACA 63-206 Wing Section

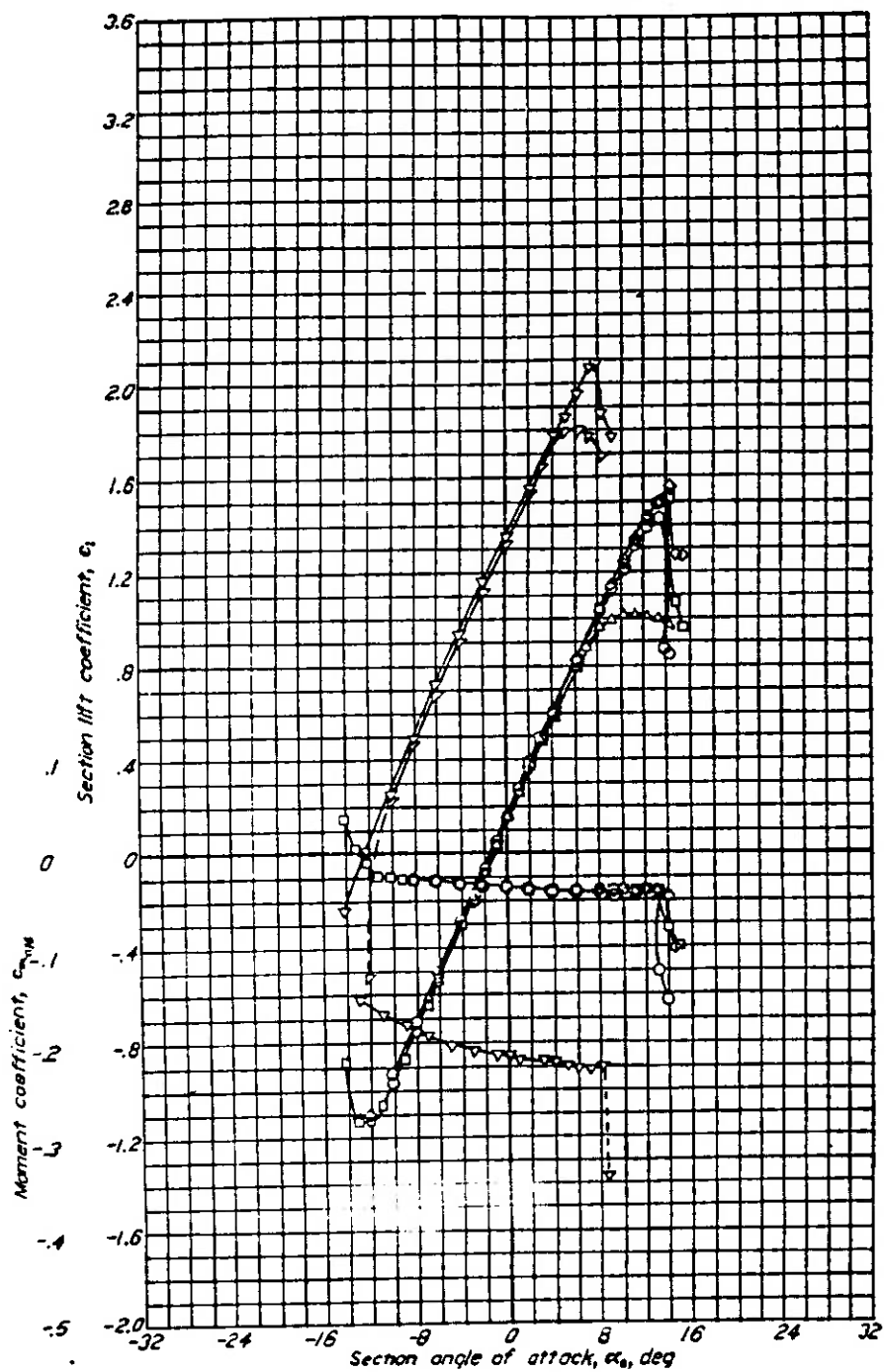


NACA 63-206 Wing Section (Continued)

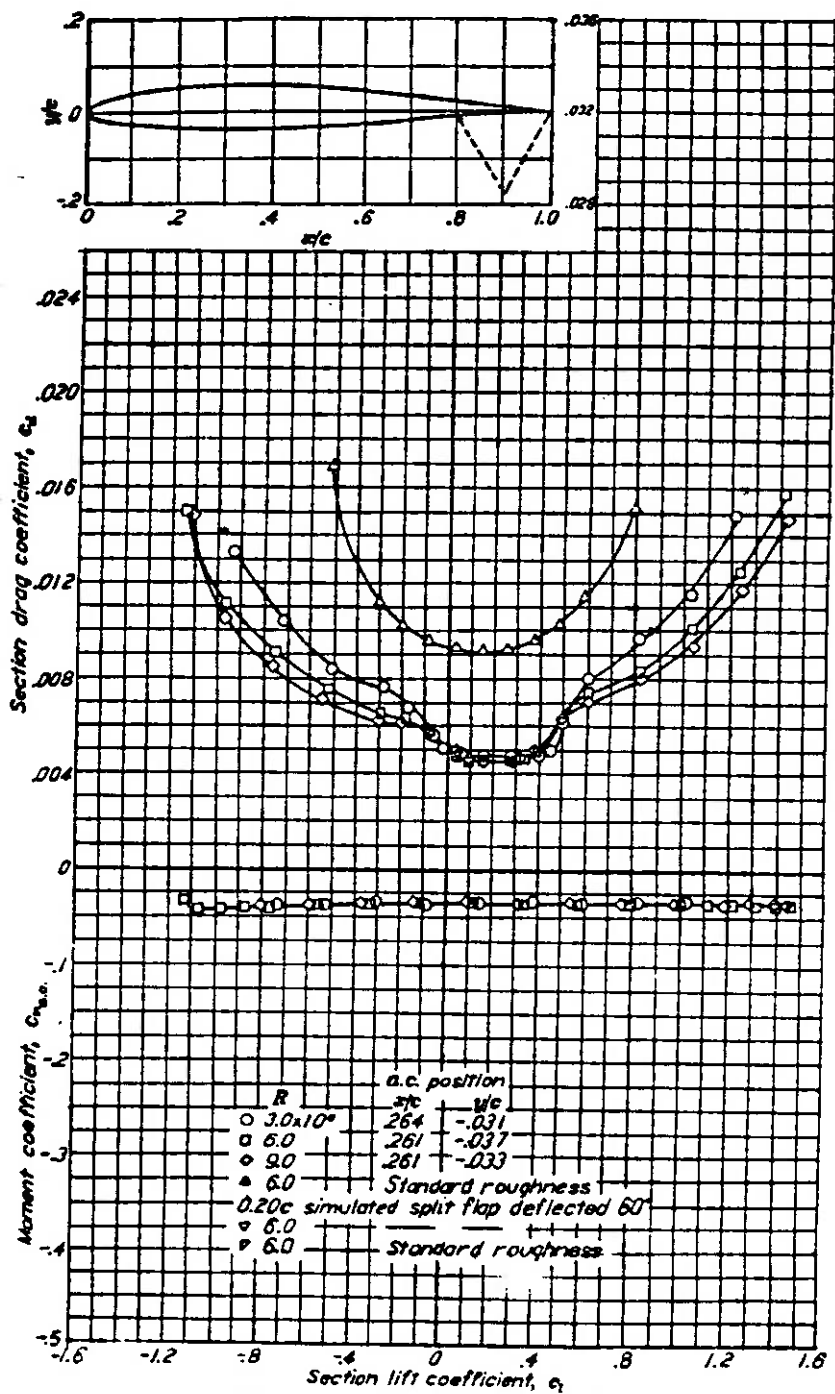




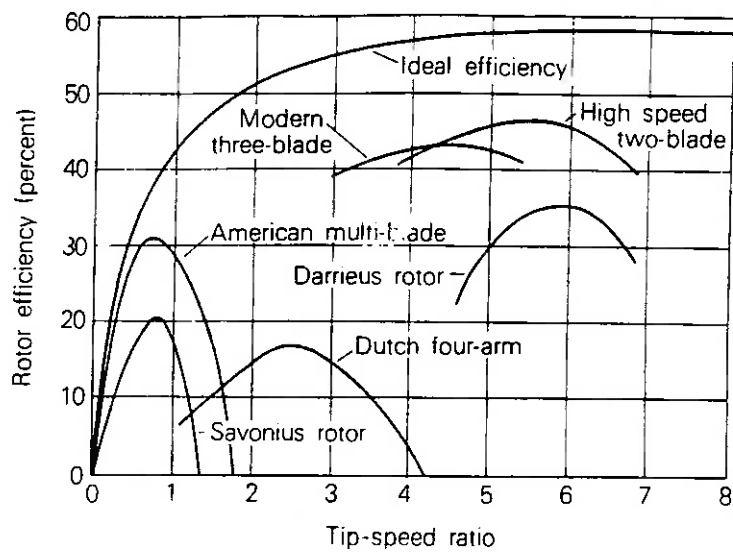
NACA 63-209 Wing Section (Continued)



NACA 63-210 Wing Section



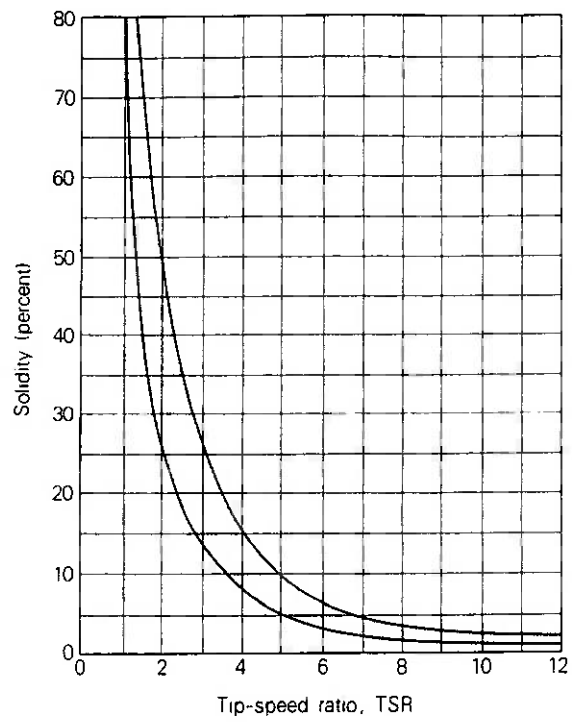
NACA 63-210 Wing Section (Continued)



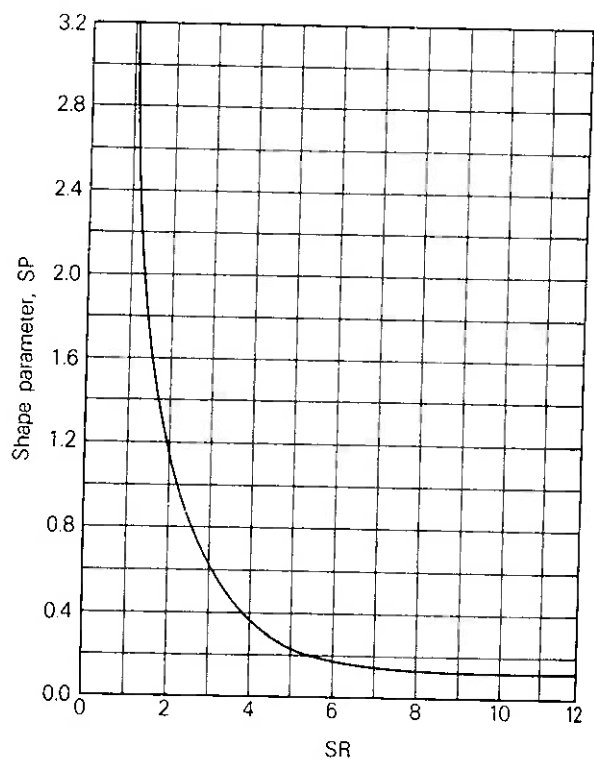
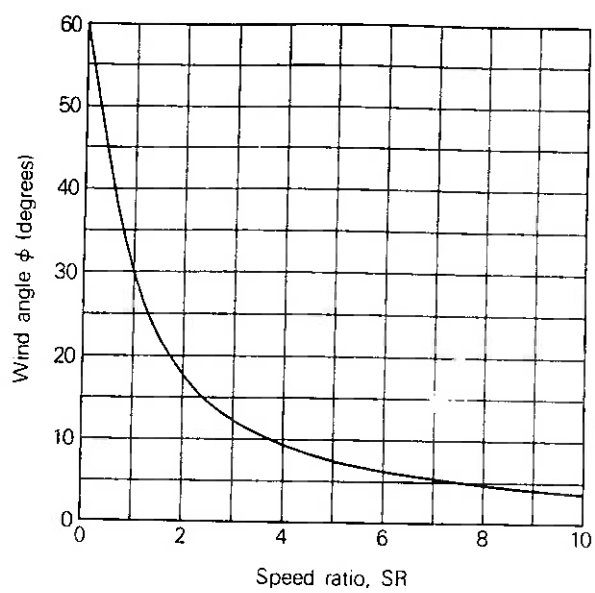
Wind Power Conversion Factors			
For:	Values of K to get wind power in:		
	Horsepower	Watts	Kilowatts
Windspeed in mph Rotor area in ft ²	0.00578	4.31	0.00431
Windspeed in ft/sec Rotor area in ft ²	0.697	520	0.520
Windspeed in meters/sec Rotor area in (meters) ²	0.00183	1.36	0.00136

Altitude Correction Factor	
Altitude (feet)	C _A
0	1.000
2,500	0.912
5,000	0.832
7,500	0.756
10,000	0.687

Temperature Correction Factor	
Temperature (°F)	C _T
0	1.130
20	1.083
40	1.040
60	1.000
80	0.963
100	0.929



BLADE NUMBER VS. TSR	
Tip-Speed Ratio	Number of Blades
1	6-20
2	4-12
3	3-8
4	3-5
5-8	2-4
8-15	1-2



Diameters and Area of Unified Screw Threads UNC and UNF*

SIZE DESIGNATION	NOMINAL MAJOR DIAMETER, in	COARSE SERIES—UNC			FINE SERIES—UNF		
		THREADS PER INCH <i>N</i>	TENSILE- STRESS AREA <i>A_t</i> , in ²	MINOR- DIAMETER AREA <i>A_r</i> , in ²	THREADS PER INCH <i>N</i>	TENSILE- STRESS AREA <i>A_t</i> , in ²	MINOR- DIAMETER AREA <i>A_r</i> , in ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

*This table was compiled from ANSI B1.1-1974. The minor diameter was found from the equation $d_r = d - 1.299\ 038p$, and the pitch diameter from $d_m = d - 0.649\ 519p$. The mean of the pitch diameter and the minor diameter was used to compute the tensile-stress area.

SAE Specifications for Steel Bolts

SAE GRADE NO.	SIZE RANGE INCLUSIVE, in	MINIMUM PROOF STRENGTH, ksi	MINIMUM TENSILE STRENGTH, ksi	MINIMUM YIELD STRENGTH, ksi	MATERIAL	HEAD MARKING
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Low or medium carbon	
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Medium carbon, Q&T	
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

- ANEXO 3 -

CONJUNTO DE POTÊNCIA

- **Tabelas de Capacidade na Entrada (redutores Linha H®)**
- **Tabela 1 – Classificação de Cargas**
- **Tabela 2 – Fatores de Serviço**
- **Dimensões: Redutores H12 – Redução dupla de eixos horizontais**
- **Tabela de Seleção de Tipos de Rolamentos**
- **Dimensões: rolamentos de rolos cônicos de uma carreira dispostos em X**
- **Tabela Fator M**
- **Tabela Fator T_s**
- **Tabela Fator R**
- **Tabelas de Tamanho: Acoplamentos Elásticos TETEFLEX®**
- **Tabela C x Tensões Limite na Torsão para Molas de Aço**
- **Tabela de Geradores – Linha GTA®**
- **Dimensões – Modelos GTA200**

REDUTORES E MOTOREDUTORES A ENGRENAGENS HELICOIDAIS

REDUÇÃO DUPLA EIXOS HORIZONTAIS CAPACIDADES NA ENTRADA (cv)

H12

TIPO	REDUÇÃO NOMINAL															
	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5
	ROTAÇÃO NA ENTRADA 1750 (rpm)															
	ROTAÇÃO NA SAÍDA (rpm)															
H12-10	13,5	11,5	9,9	8,7	7,9	6,8	6,5	5,6	4,9	4,4	4,1	3,6	3,1	2,8	2,4	2,1
H12-11	21,6	18,5	16	14	12,6	11	10,4	9	7,9	7,1	6,6	5,7	5	4,5	3,9	3,3
H12-12	33,3	28,4	24,5	21,4	19,3	16,7	16	13,8	12	10,9	10,2	8,7	7,7	7	6	5
H12-13	53,5	45,5	40	34,4	31	26,8	25,7	22	19,5	17,5	16,3	14	12,3	11	9,6	8,2
H12-14	79	67,5	58	51	46	40	38	33	28,5	26	25	21	18	16,5	14,5	12
H12-15	117*	100*	87*	75,5*	68*	59*	56,5	48,5	42,5	38,5	36	31	27	24,5	21	18
H12-16	185*	158*	136*	119*	107,5*	93*	89	76,5	67	60,5	56,5	48,5	42,5	38,5	33,5	28,5
H12-17	275*	235*	200*	180*	160*	140*	130	115	100	90	84	72	63	57	49	42
H12-18	405*	345*	300*	260*	235*	200*	195	165	140	130	120	105	93	84	73	62
H12-19							235	200	175	160	150	130	110	100	88	75
H12-20							410	355	310	280	260	225	195	180	155	130
H12-21												390	340	305	265	225
	ROTAÇÃO NA ENTRADA 1450 (rpm)															
	ROTAÇÃO NA SAÍDA (rpm)															
	230	204	181	161	145	129	116	104	91	81	73	65	58	52	46	41
	ROTAÇÃO NA SAÍDA (rpm)															
H12-10	11,5	9,9	8,4	7,3	6,7	5,8	5,5	4,8	4,2	3,7	3,5	3	2,6	2,4	2	1,8
H12-11	18,4	15,8	13,5	11,7	10,6	9,2	9	7,6	6,7	6	5,6	4,8	4,5	3,9	3,3	2,8
H12-12	28,3	24,3	20,7	18	16,3	14,2	13,7	11,7	10,3	9,2	8,6	7,4	6,5	6	5	4,3
H12-13	45,5	39	33,2	28,9	26,3	22,8	22	18,8	16,5	15	14	12	10,5	9,5	8,1	7
H12-14	67	57,5	49	43	39	34	32,5	28	24,5	22	20,5	17,5	15,5	14	12	10,5
H12-15	100	86	75	63,5	58	50	48	41	36	32,5	30,5	26	23	21	18	15,5
H12-16	157	135	115	100*	91*	79	76	65	57	51	48	41	36	33	28	24
H12-17	235*	200*	170*	150*	135*	120*	110	97	85	75	72	61	54	49	42	36
H12-18	345*	295*	250*	220*	200*	170*	165	140	125	110	105	90	79	72	61	53
H12-19	415*	355*	305*	265*	240*	210*	200	170	150	135	125	110	95	87	74	63
H12-20							350	300	265	235	220	190	165	150	130	110
H12-21							600	520	455	405	380	330	285	260	220	190
	ROTAÇÃO NA ENTRADA 1170 (rpm)															
	ROTAÇÃO NA SAÍDA (rpm)															
	186	165	146	130	117	104	94	84	73	65	59	52	47	42	37	33
	ROTAÇÃO NA SAÍDA (rpm)															
H12-10	8,8	7,5	6,4	5,7	5,1	4,4	4,2	3,7	3,2	2,9	2,7	2,3	2	1,8	1,6	1,3
H12-11	14	12	10,3	9	8,2	7	6,8	5,9	5,1	4,6	4,3	3,7	3,2	2,9	2,5	2,1
H12-12	21,6	18,4	16	14	12,6	10,8	10,4	9	7,8	7,1	6,6	5,7	5	4,5	4	3,3
H12-13	35	29,5	25,4	22,4	20,2	17,3	16,8	14,4	12,5	11,5	10,6	9,1	8	7,2	6,2	5,3
H12-14	51,5	43,5	37,5	33	30	25,5	25	21,5	18,5	17	16	13,5	12	11	9,2	7,8
H12-15	76,5	65	57	50	44,5	38	37	32	28	25	23,5	20	17,5	15,9	14	11,6
H12-16	120	102	88	77,5	70	60	58	50	43,5	39,5	37	31,5	27,5	25	21,5	18,5
H12-17	180	150	130	115	105	90	85	75	65	58	55	47	41	37	32	27
H12-18	260	220	190	170	150	130	125	110	95	86	81	69	60	55	47	40
H12-19	320	270	230	205	185	160	150	130	115	100	97	83	73	66	57	48
H12-20	560*	470*	410*	360*	325*	280*	270	230	200	180	170	145	125	115	100	85
H12-21	960*	815*	705*	620*	560*	480*	460	400	350	315	295	250	220	200	170	145
	REDUÇÃO NOMINAL															
	6,3	7,1	8	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5

REDUTORES E MOTOREDUTORES A ENGRENAGENS HELICOIDAIS	SELEÇÃO DE REDUTORES CLASSIFICAÇÃO DE CARGAS	H MH
--	---	---------

TABELA 1

U = CARGA UNIFORME		M = CHOQUES MODERADOS		F = CHOQUES FORTES	
APLICAÇÃO	CLASSIFI- CAÇÃO	APLICAÇÃO	CLASSIFI- CAÇÃO	APLICAÇÃO	CLASSIFI- CAÇÃO
AGITADORES		DESTILARIAS			
Líquidos puros	U	Cozinhadores - serviço contínuo	U		
Líquidos e sólidos	M	Tachos de fermentação — ser- viço contínuo	U		
Líquidos de densidade variável	M	Misturadores	U		
ALIMENTADORES		DRAGAS			
Alimentadores de rosca	M	Guinchos, transportadores e bombas	M		
Transportadores (esteira e correia)	M	Cabeçotes rotativos e peneiras	F		
BOBINADEIRAS		EIXOS DE TRANSMISSÃO			
Metal	M	Carga uniforme	U		
Papel	U	Carga pesada	M		
Têxtil	M	ELEVADORES			
BOMBAS		Caçambas - cargas uniformes	U		
Centrífugas	U	Caçambas - cargas pesadas	F		
Dupla ação, multicilíndricas	M	Elevadores de carga	M		
Recíprocas de descarga livre	M	Elevadores de canecas	M		
Rotativas a engrenagem	U	ENGARRAFADORAS E ENLATADORAS			
BORRACHA E PLÁSTICOS			U		
Calandras *	M	FORNOS ROTATIVOS			M
Equipamentos de laboratório	M	GERADORES			U
Extrusoras	M	GUINCHOS			
Moinhos cilíndricos *		Cargas uniformes	M		
Dois em linha	M	Cargas pesadas	F		
Três em linha	U	INDÚSTRIAS AÇUCAREIRAS			
Refinadores *	M	Moendas	F		
Trituradores e misturadores *	F	Facas de cana *	M		
BRITADORES		INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS			
Pedras e minérios	F	Cozinhadores de cereais	U		
CERÂMICA		Misturadores de massa, moedores de carne, picadores	M		
Extrusoras e misturadores	M	INDÚSTRIAS MADEIREIRAS			
Prensas de tijolos e ladrilhos	F	Alimentadores de plaina	M		
CIMENTO		Serras, tambores despoldadores, transportadores de toras	F		
Britadores de mandíbulas	F	INDÚSTRIAS METALÚRGICAS			
Moinhos rotativos *	M	Cortadores de chapa rotativos	M		
Moinhos de bolas e rolos *	F	Cortadores de chapa de faca	F		
CLASSIFICADORES ROTATIVOS	M	Viradeiras	F		
COMPRESSORES		Trefilas	M		
Centrífugos	U				
Multicilíndricos	M				
Unicilíndricos	F				

* APLICAR FATOR DE SERVIÇO CORRESPONDENTE A TEMPO DE TRABALHO ACIMA DE 10 HORAS/DIA.

REDUTORES E MOTOREDUTORES A ENGENHAGENS HELICOIDAIS	SELEÇÃO DE REDUTORES CLASSIFICAÇÃO DE CARGAS FATORES DE SERVIÇO	H MH
--	--	-----------------

TABELA 1 (continuação)

APLICAÇÃO	CLASSIFI- CAÇÃO	APLICAÇÃO	CLASSIFI- CAÇÃO
INDÚSTRIAS TEXTEIS Calandras, cardas, filatórios, retorcedeiras, maçaroqueiras e máquinas de tinturaria	M	PAPEL Esticadores de feltro Prensas Secadores	M U M
MÁQUINAS OPERATRIZES Acionamento principal cargas pesadas cargas uniformes Acionamento auxiliar Prensas Rosqueadoras	F M U F F	PONTES ROLANTES Acionamento do carro e da ponte Acionamento do guincho	F U
MISTURADORES Betoneiras Borracha * Polpa de papel	M F M	SANEAMENTO Aeradores Alimentadores, bombas, decantadores Filtros, mexedores e peneiras Clarificadores	F U M U
MOINHOS ROTATIVOS De bolas e rolos De martelos	F F	SECADORES E RESFRIADORES ROTATIVOS	M
PAPEL Aagitadores (misturadores) Alvejadores Batedores e despulpadores Calandras Super calandras Cilindros Descascadores Hidráulicos e mecânicos Tambores descascadores	M U M M F U M F	TORRES DE REFRIGERAÇÃO	F
		TRANSPORTADORES Caçamba, correia, corrente, esteira, rosca: cargas uniformes cargas pesadas e intermitentes vibratórios	U M F
		VENTILADORES Centrífugos Outros	U M

* APLICAR FATOR DE SERVIÇO CORRESPONDENTE A TEMPO DE TRABALHO ACIMA DE 10 HORAS/DIA

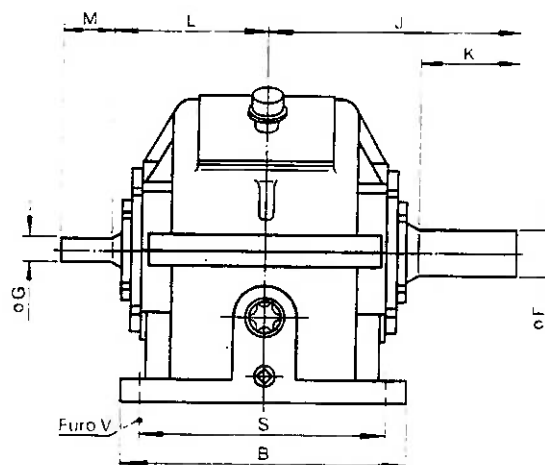
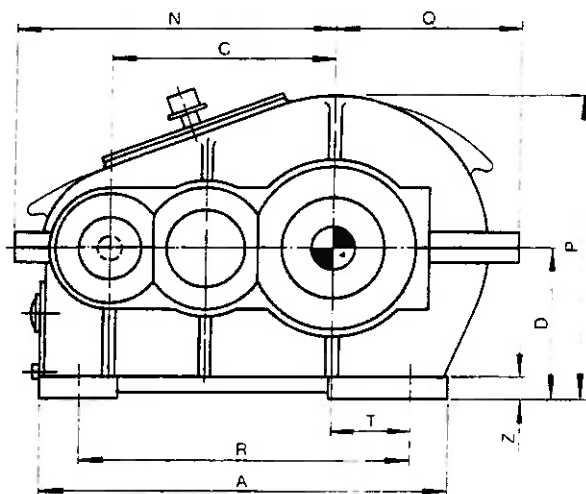
TABELA 2 - FATORES DE SERVIÇO

Acionamento por	Tempo de Trabalho	Classificação de cargas		
		Uniforme U	Choques moderados M	Choques fortes F
Motor Elétrico ou Turbina a Vapor	Intermitente, 3 h/dia	0,80	1,00	1,50
	Até e incluindo 10 h/dia	1,00	1,25	1,75
	Acima de 10 h/dia	1,25	1,50	2,00
Motor a Explosão Multicilíndrico ou Motor Hidráulico	Intermitente 3 h/dia	1,00	1,25	1,75
	Até e incluindo 10 h/dia	1,25	1,50	2,00
	Acima de 10 h/dia	1,50	1,75	2,25
Motor a Explosão Monocilíndrico	Intermitente, 3 h/dia	1,25	1,50	2,00
	Até e incluindo 10 h/dia	1,50	1,75	2,25
	Acima de 10 h/dia	1,75	2,00	2,50

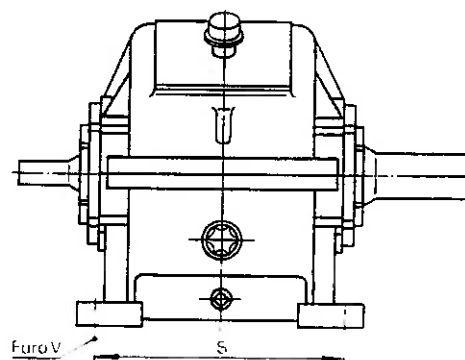
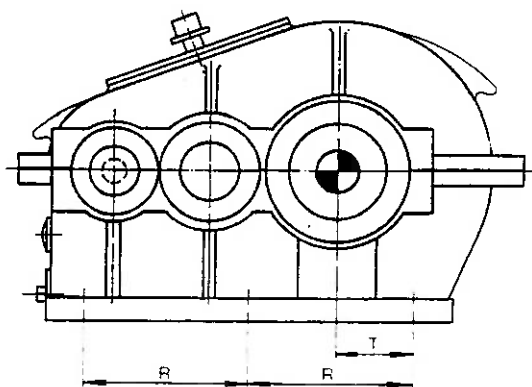
REDUTORES E MOTOREDUTORES A ENGENHAGENS HELICOIDAIS

REDUÇÃO DUPLA EIXOS HORIZONTAIS

H12



Tipo	A	B	C	D	F	G1	G2	J	K	L	M1	M2	N	P	Q	R	S	T	V	Z	Peso (kgf)
H12-10	320	225	175	120	1 1/2"	3/4"	7/8"	200	80	120	40	45	250	242	145	260	195	60	9 1/16"	18	55
H12-11	375	250	205	135	1 3/4"	7/8"	1 1/8"	225	90	135	45	55	295	270	155	305	210	65	9 1/16"	22	82
H12-12	435	290	235	150	2"	1"	1 1/4"	255	100	155	50	60	330	295	170	345	250	75	11 1/16"	26	115
H12-13	490	320	275	170	2 3/8"	1 1/4"	1 3/8"	295	120	175	60	70	370	345	200	400	275	90	11 1/16"	30	170
H12-14	560	365	315	200	2 3/4"	1 3/8"	1 1/2"	330	130	200	70	80	420	385	215	460	315	105	13 1/16"	34	240



Tipo	A	B	C	D	F	G1	G2	J	K	L	M1	M2	N	P	Q	R	S	T	V	Z	Peso (kgf)
H12-15	640	440	368	235	3"	1 1/2"	1 3/4"	370	140	230	80	90	480	455	255	270	380	135	13 1/16"	36	340
H12-16	750	510	430	275	3 1/2"	1 3/4"	2"	420	160	260	90	100	552	535	296	320	440	160	15 1/16"	42	500
H12-17	860	550	505	315	4"	2"	2 3/8"	470	180	290	100	120	650	617	340	376	488	188	11 1/8"	55	720
H12-18	1010	620	600	360	4 1/2"	2 3/8"	2 3/4"	520	200	320	120	130	750	715	395	440	550	220	11 1/8"	60	1080
H12-19	1190	720	710	430	5 1/2"	2 3/4"	3 1/4"	615	250	365	130	150	900	850	470	520	640	260	13 1/8"	65	1600
H12-20	1440	800	850	530	6 1/2"	3 1/4"	3 1/2"	710	300	410	150	160	1085	1040	575	620	700	310	13 1/8"	70	2400
H12-21	1700	960	1015	620	7 1/2"	4"	4"	835	350	485	180	180	1280	1220	680	740	840	370	15 1/8"	80	3700

1-G1 e M1 para reduções maiores ou igual a 20.

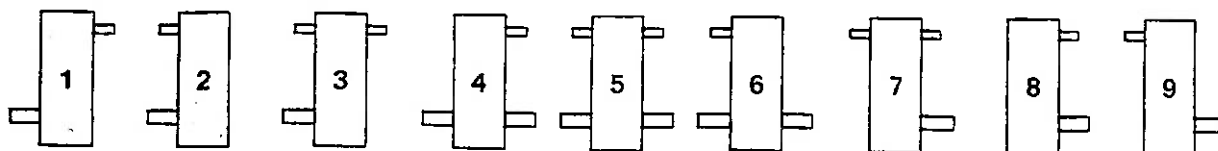
2-G2 e M2 para reduções menores que 20.

3-Detalhes dos eixos vide pagina B-1240.

4-Capacidades e reduções vide páginas B-1152 e B-1153.

5-Tipos H12-15 e H12-16 possuem pés transversais.

Formas construtivas



Bearing table KD 320 External gear

Bearing table KD 320

External gear

Load diagram number	Drawing number	Weight [kg]	Outer diameter D _a [mm]	Inner diameter D _i [mm]	Total height H [mm]	Outer bore L _a [mm]	Inner bore L _i [mm]	Outer bore p.c.d. L _a [mm]	Inner bore p.c.d. L _i [mm]	Number of holes per bolt circle n	Bolt hole diameter B [mm]	Size of bolts M [mm]	Depth of thread t [mm]	n ₁ Number of grease points per track	O Z _u U _i [mm]	Height of outer ring H ₁ [mm]	Height of inner ring H ₂ [mm]	H _u [mm]	H _o [mm]	H _u [mm]	Module m [mm]	z Number of teeth	x-m [mm]	k-m [mm]	b Modification of tip diameter [mm]	Permissible tangential tooth load (normal) [10 ³ N]	Permissible tangential tooth load (maximum) [10 ³ N]	Load diagram number	
1	011.20.0755.000.11.1504 011.20.0755.001.21.1504	106 862.8	679	82	82	800	706	800	706	24	18	16	35	2	797 833	68 78	4	24	8		852	6	142	-0.6	50	1.5600 2.1600	3.1200 4.3200	1	
2	011.20.0971.000.11.1504 011.20.0971.001.21.1504	132 1078.4	895	82	82	1015	922	1015	922	30	18	16	35	2	1012 1042	58 78	4	24	8		1064	8	133	-0.8	50	2.0800 2.8800	4.1600 5.7600	2	
3	011.20.1220.000.11.1504 011.20.1220.001.21.1504	185 1342.4	1140	82	82	1270	1170	1270	1170	48	18	16	35	3	1261 1238	58 78	4	24			1320	8	165	+ 4	-0.8	58	2.9150 4.0340	5.8300 8.0680	3
4	011.25.1200.000.11.1503 011.25.1200.001.21.1503	308 1378.0	1100	102	102	1290	1135	1290	1135	36	22	20		3	1223 1215	76 96	6	26			1350	10	135	+ 5	-1.0	76	4.7700 6.6080	9.5400 13.2160	4
5	011.20.1385.000.11.1504 011.20.1385.001.21.1504	206 1502.4	1305	82	82	1435	1335	1435	1335	54	18	16	35	3	1426 1403	58 78	4	24			1480	8	185	+ 4	-0.8	58	2.9150 4.0340	5.8300 8.0680	5
6	011.25.1461.000.11.1503 011.25.1461.001.21.1503	387 1648.0	1360	102	102	1555	1395	1555	1395	40	22	20		3	1484 1479	76 96	6	26			1620	10	162	+ 5	-1.0	76	4.7700 6.6080	9.5400 13.2160	6
7	011.30.1440.000.11.1503 011.30.1440.001.21.1503	527 1863.6	1320	120	120	1545	1365	1545	1365	36	26	24		3	1469 1460	91 114	6	29			1620	12	135	+ 6	-1.2	91	6.8550 9.4850	13.7100 18.9900	7
8	011.30.1734.000.11.1503 011.30.1734.001.21.1503	645 1953.6	1615	120	120	1845	1660	1845	1660	44	26	24		3	1763 1757	91 114	6	29			1920	12	160	+ 6	-1.2	91	6.8550 9.4850	13.7100 18.9900	8
9	011.35.1750.700.11.1503 011.35.1750.701.21.1503	805 1985.2	1620	138	138	1860	1670	1860	1670	44	26	24		3	1784 1779	104 132	6	34			1946	14	139	+ 7	-1.4	104	9.1440 12.6600	18.2880 25.3200	9
10	011.25.1800.000.11.1503 011.25.1800.001.21.1503	496 2001.6	1700	102	102	1890	1735	1890	1735	48	22	20		4	1823 1818	76 96	6	26			1968	12	164	+ 6	-1.2	76	5.7250 7.9300	11.4500 15.8600	10
11	011.30.2031.600.11.1503 011.30.2031.601.21.1503	766 2253.6	1910	120	120	2140	1955	2140	1955	48	26	24		4	2060 2054	91 114	6	29			2220	12	185	+ 6	-1.2	91	6.8550 9.4850	13.7100 18.9900	11
12	011.30.2235.000.11.1503 011.30.2235.001.21.1503	841 2457.6	2115	120	120	2345	2160	2345	2160	52	26	24		4	2264 2258	91 114	6	29			2424	12	202	+ 6	-1.2	91	6.8550 9.4850	13.7100 18.9900	12
13	011.35.2220.000.11.1503 011.35.2220.001.21.1503	1036 2261.2	2090	138	138	2335	2135	2335	2135	60	26	24		4	2254 2249	104 132	6	34			2480	16	155	+ 8	-1.6	117	11.7550 16.2750	23.5100 32.5500	13
14	011.40.2240.000.11.1502 011.40.2240.001.21.1502	1373 2524.8	2090	156	156	2375	2145	2375	2145	48	33	30		4	2272 2275	117 150	6	39			2480	16	177	+ 8	-1.6	104	10.4500 14.4700	20.9000 28.9400	14
15	011.35.2620.000.11.1503 011.35.2620.001.21.1503	1268 2876.8	2490	138	138	2735	2540	2735	2540	60	26	24		6	2654 2649	104 132	6	34			2832	16	159	+ 9	-1.8	117	13.2250 18.3100	26.4500 36.6200	15
16	011.40.2615.000.11.1502 011.40.2615.001.21.1502	1647 2912.4	2465	156	156	2785	2520	2785	2520	52	33	30		6	2651 2654	117 150	6	39			2852	18	159	+ 9	-1.8	117	14.6850 20.3400	29.3900 40.6800	16
17	011.40.2795.000.11.1502 011.40.2795.001.21.1502	1757 3096.0	2645	156	156	2930	2700	2930	2700	54	33	30		6	2827 2830	117 150	6	39			3040	20	152	+ 10	-2.0	117	14.6850 20.3400	29.3900 40.6800	17
18	011.40.2915.000.11.1502 011.40.2915.001.21.1502	1826 3216.0	2765	156	156	3050	2820	3050	2820	60	33	30		6	2947 2950	117 150	6	39			3160	20	159	+ 10	-2.0	117	14.6850 20.3400	29.3900 40.6800	18
19	011.50.2987.000.39.1502 011.50.2987.001.49.1502	2243 3290.4	2820	185	185	3130	2880	3130	2880	66	33	30		6	3025 3022	138 178	7	47			3240	18	180	+ 9	-1.8	138	15.6000 21.6000	31.2000 43.2000	19
20	011.40.3150.000.11.1502 011.40.3150.001.21.1502	2004 3456.0	3000	156	156	3285	3055	3285	3055	60	33	30		6	3182 3185	117 150	6	39			3400	20	170	+ 10	-2.0	117	14.6850 20.3400	29.3900 40.6800	20
21	011.50.3167.000.39.1502 011.50.3167.001.49.1502	2490 3470.4	3000	185	185	3310	3060	3310	3060	66	33	30		6	3205 3202	138 178	7	47			3420	18	180	+ 9	-1.8	138	15.6000 21.6000	31.2000 43.2000	21
22	011.50.3347.000.39.1502 011.50.3347.001.49.1502	2626 3650.4	3180	185	185	3480	3240	3480	3240	72	33	30		6	3385 3382	138 178	7	47			3600	18	200	+ 9	-1.8	138	15.6000 21.6000	31.2000 43.2000	22
23	011.50.3567.000.39.1502 011.50.3567.001.49.1502	2767 3666.4	3400	185	185	3710	3480	3710	3480	78	33	30		6	3605 3602	138 178	7	47			3816	18	212	+ 9	-1.8	138	15.6000 21.6000	31.2000 43.2000	23
24	011.50.3747.000.39.1502 011.50.3747.001.49.1502	2901 4045.4	3580	185	185	3890	3640	3890	3640	84	33	30		6	3785 3782	138 178	7	47			3996	18	222	+ 9	-1.8	138	15.6000 21.6000	31.2000 43.2000	24
25	011.50.4140.000.19.1602 011.50.4140.001.49.1502	3357 4456.4	3970	187	187	4285	4030	4285	4030	90	33	30		6	4178 4175	140 178	9	47			4400	20	220	+ 10	-2.0	140	17.5800 24.3450	35.1600 48.6900	25

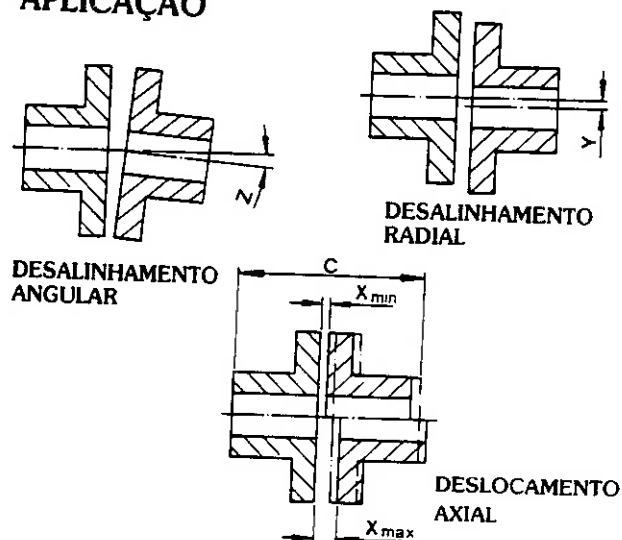
We reserve the right to modify these designs

FATOR M	
Refere-se ao tipo de acionamento.	
Motor de combustão 1 a 3 cilindros	1,5
Motor de combustão 4 a 6 cilindros	1,2
Motor elétrico	1,0

FATOR T _S	
Aplica-se para tempo de serviço.	
até 2h/dia	0,9
2 - 8h/dia	1,0
8 - 16h/dia	1,06
16 - 24h/dia	1,12

FATOR R			
Refere-se à máquina acionada por motor elétrico ou turbina.			
Geradores de luz Ventiladores $N/n \leq 0,1$ Bombas centrífugas	1,2	Centrífugas Máquinas lavadeiras Bombas de pistão com volante Transportadores de corrente Moinhos em geral Tambores e moinhos rotativos Pontes rolantes Elevadores de prédio	1,8
Elevadores de canecas Exaustores e ventiladores $N/n \leq 0,1$ Máquinas ferramenta rotativas Turbo-compressores Transportadores de correia Hélices marítimas	1,4	Vibradores Estiragem de arame Galgas Grupos de máquinas de papel Prensas e tesouras	2,2
Misturadores Guinchos Máquinas para madeiras Monta-cargas Fornos e cilindros rotativos Betoneiras	1,6	Britadores Misturadores de borracha Bombas de pistão sem volante Marombas Laminadores para metais	3,0

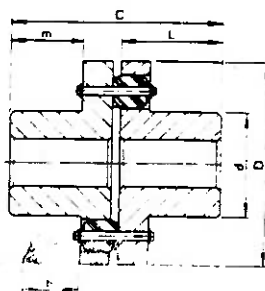
APLICAÇÃO



Tamanho	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	$\frac{N}{n} \times F$	Mt (mkgf)	GD ² (kgf.m ²)	rpm max. (*)
D - 3	4 ± 1,5	0,4 máx.	1.º máx.	0,02	14,2	0,0172	4500
D - 4				0,03	22,5	0,0280	4000
D - 5				0,05	36	0,0562	3600
D - 6				0,08	55	0,0991	3400
D - 7				0,13	90	0,1383	3200
D - 9	7 ± 2	0,8 máx.		0,25	180	0,5245	2500
D - 11				0,5	360	1,3030	2200
D - 13	10 ± 2			1	720	5,5923	1700
D - 15				2	1430	17,650	1300
D - 17	12 ± 2			4	2860	49,250	1000
D - 18				5,6	4000	85,205	850

(*) rpm_{max.} - rotação limite para uso sem balanceamento dinâmico

DIMENSÕES



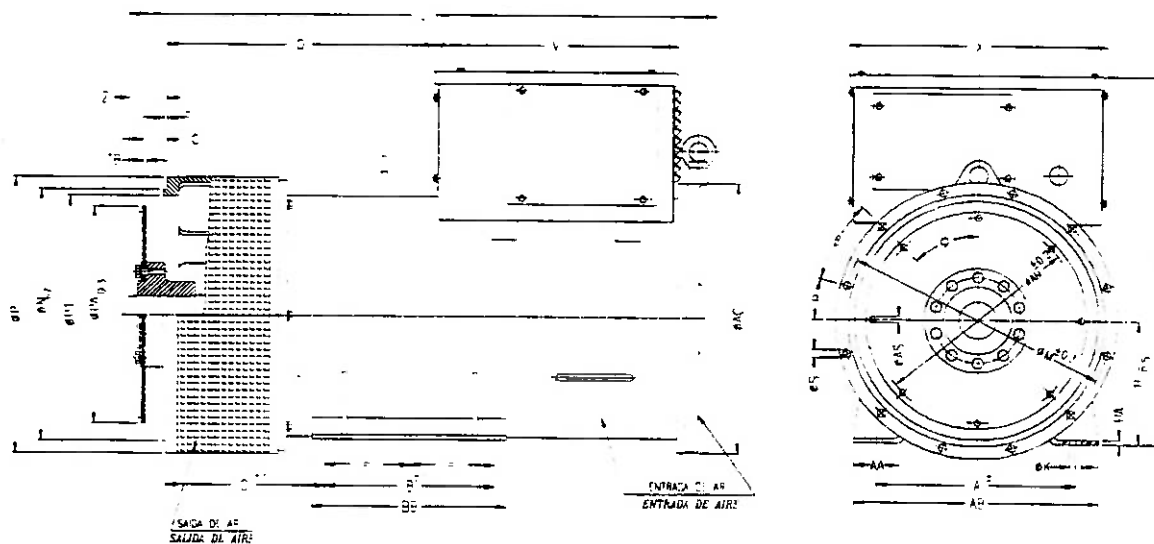
Tamanho	Furo		b	C	d	D	L	m	Massa (kg)
	máx.	min.							
D - 3	38		35	104	58	112	50	33	3,1
D - 4	42		35	114	68	125	55	36	4,5
D - 5	48		42	124	74	140	60	37	6,4
D - 6	55		45	144	85	160	70	47	9,5
D - 7	60		47	164	98	170	80	57	12,7
D - 9	80		63	197	125	225	95	65	25,9
D - 11	110		68	237	170	270	115	85	49,8
D - 13	150	55	87	300	220	360	145	100	107,6
D - 15	180	60	110	380	270	450	185	125	213,9
D - 17	220	90	140	462	330	560	225	155	390,9
D - 18	250	100	140	542	380	630	265	195	574,3

Nota: dimensões dadas em mm.

INDEX C	STRESS RANGE	
	MPa	KSI
4	115-183	16.7-26.6
6	95-160	13.8-23.2
8	82-127	11.9-18.4
10	60-106	8.71-15.4
12	48-86	6.97-12.5
14	37-60	5.37-8.71
16	25-50	3.63-7.26

Source: Associated Spring-Barnes Group, *Design Handbook*, Bristol, Conn., 1981, p. 50.

MODELO Modelo GTA	220/440 -- 480V -- 60Hz				380V -- 60Hz				380 -- 400V 50Hz				Xd''	Rendimento Rendimientos (%) p/ 440 V				Inércia Inertia J (kgm ²)	Massa Masa (kg)	D. H. (%)
	POTENCIA 220/440 V		POTENCIA 480 V		POTENCIA		POTENCIA		POTENCIA		POTENCIA			cos $\phi = 0.80$						
	KVA	KW	KVA	KW	KVA	KW	KVA	KW	KVA	KW	KVA	KW		50	75	100				
200SI12	50	40	50	40	50	40	50	40	42	34	42	34	11,6	81,0	84,3	86,0	0,33	235	≤ 3	
200SI17	80	64	80	64	70	56	70	56	66	53	66	53	13,0	86,9	89,3	90,0	0,44	270	≤ 3	
200MI30	122	98	122	98	112	90	112	90	95	76	95	76	10,5	89,1	90,2	90,0	0,75	370	≤ 3	
250SI14	139	111	139	111	122	98	122	98	115	92	115	92	14,0	88,0	89,9	91,0	0,91	430	≤ 3	
250SI17	165	132	165	132	139	111	139	111	115	92	115	92	14,0	88,9	90,6	91,0	1,10	460	≤ 3	
250MI33	230	184	230	184	210	168	210	168	190	152	190	152	10,5	89,9	92,0	93,0	2,00	660	≤ 3	
250MI38	280	224	280	224	265	212	265	212	235	188	235	188	10,4	91,8	93,2	94,0	2,28	800	≤ 3	
315SI25	360	288	360	288	340	272	340	272	300	240	300	240	13,0	93,1	94,2	94,0	3,60	920	≤ 4	
315SI31	405	324	405	324	360	288	360	288	330	264	330	264	11,4	92,5	93,5	94,0	4,40	1010	≤ 4	
315MI38	450	360	450	360	450	360	450	360	375	300	375	300	10,5	92,1	93,4	94,0	5,30	1150	≤ 4	
315MI48	512	410	512	410	480	384	480	384	425	340	425	340	10,6	93,1	93,9	94,0	6,90	1310	≤ 4	
315MI48	590	472	590	472	512	409	512	409	490	392	490	392	10,2	92,4	93,7	94,0	6,90	1310	≤ 4	
*400MI	700	560	700	560	700	560	700	560	580	464	580	464	12,2	93,2	93,7	94,2	11,6	1450	≤ 4	
*400MI	900	720	900	720	900	720	900	720	750	600	750	600	10,7	93,0	94,0	94,5	14,9	1650	≤ 4	
*400LI	1250	1000	1250	1000	1250	1000	1250	1000	1000	800	1000	800	10,5	93,4	94,2	95,0	21,6	2100	≤ 4	
*400LI	1400	1120	1400	1120	1400	1120	1400	1120	1150	920	1150	920	11,3	94,0	94,5	95,2	24,9	2450	≤ 4	



CARCAÇA CARCASA	Pacote Largo	DIMENSÕES (mm) / DIMENSIONES														Rolamento/Roamuento			
		A	B	AB	BB	AA/HA	ØK	H	HD	ØAC	X	V	C	Z	O	L	Diant./Delant	Tras./trasero	
200	S	318	228	390	268	70	11	19	200	598	440	410	385	250	59	260	765	--	6210-2RS
	M		267		307											420	925		

FLANGE / BRIDA								
SAE	ØP	ØN	ØP1	ØM	T	ØS	α	β
4	404	361,9	346	381	6	12,5	15°	30°
3	450	409,6	388	428,6				
2	490	447,7	410	466,7				

DISCO DE ACOPLAMENTO / DISCO DE ACOPLAMIENTO							
SAE	ØPA	ØAM	G	TB	AS	Φ	QTDE. FUROS CAT. AGUJERO
8	263,4	244,5	61,9	6,2	10,3	60°	6
10	314,2	295,3	53,9			45°	8
11,5	352,3	333,3	39,6				

- ANEXO 4 -

ESTRUTURA

- **Tabela de Propriedade de Materiais**
- **Tabela de Perfis C**
- **Tabela de Cantoneiras de Abas Iguais**
- **Tabelas de Rolamentos Especiais de Grande Porte**
- **Gráfico de Carregamento para Rolamento 26**
- **Tabela de Tubos de Aço de Grande Diâmetro com Costura**

Propriedades dos Materiais mais Usados em Engenharia

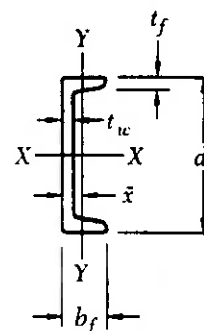
Material	Peso Especí- fico Kg/m ³	Tensões de Rutura			Tensões de Escoamento		Módulos de Elasticidade		Coeficiente de Dilatação Térmica 10 ⁻⁶ /°C	Alonga- mento Porcentual mm
		Tração	Compressão ***	Cisalha- mento	Tração	Cisalha- mento	Longitu- dinal	Transver- sal		
Aços para concreto armado										
CA-25	7860	300			250		210	79	11,7	18
CA-32	7860	384			320		210	79	11,7	14
CA-40	7860	440			400		210	79	11,7	10
CA-50	7860	550			500		210	79	11,7	8
CA-60	7860	660			600		210	79	11,7	5
Aços para concreto protendido										
– CP 150	7860	1570			1500		210	79	11,7	8
– CP 160	7860	1670			1500		210	79	11,7	7
Perfis laminados										
Cor-Ten A	7860	471 ou 492			352					18 a 19
Cor-Ten B	7860	492			352					19
Cor-Ten C	7860	562			422					16
ASTM A-36	7860	408 a 562			253					16 a 20
Aço inoxidável 302										
Laminado a frio	7920	860	–	–	520	–	190	73	17,3	12
Temperado	7920	620	–	–	275	152	190	73	17,3	50
Ferro fundido										
ASTM A-48	7200	170	650	240	–	–	70	28	12,1	0,5
ASTM A-47	7300	340	620	330	230	–	165	64	12,1	10
Alumínio (1%Mg)	2710	290	–	185	255	140	69	26	23,6	17
Latão (65%Cu; 35%Zn)										
Laminado a frio	8470	540	–	300	435	250	105	39	20	8
Temperado	8470	330	–	220	105	65	105	39	20	62
Magnésio (8,5%Al)	1800	380	–	165	275	–	45	–	26	7
Titânio (6,0%Al; 4%V)	4460	900	–	–	825	–	114	–	9,5	10
Concreto	2320	–	20 a 40	–	–	–	25 a 30	–	10	–
Madeira*										
Peroba rosa	790 a 870	** 760 a 1400	340 a 700	10 a 15	–	–	10 a 20	–	–	–
Pinho	520 a 600	** 1100 a 1600	450 a 750	15 a 17	–	–	12 a 15	–	–	–
Eucalipto	690 a 900	** 500 a 900	230 a 500	10 a 15	–	–	15 a 24	–	–	–
Poliestireno	1050	48 **	90	55	–	–	3	–	72	4
Vidro plano	2500	2,4 a 6,0	60 a 125	–	–	–	65 a 80	–	950	–

* Tensões paralelas às fibras

** Tensões na flexão

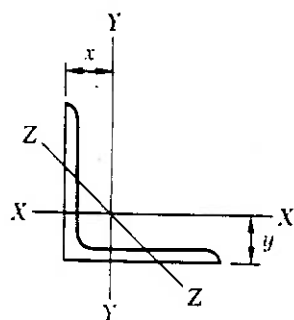
*** Para metais dúcteis valores iguais à tração

Propriedades dos Perfis de Aço Laminados – Perfis C



Dimensão nominal*	Área A, mm ²	Altura d, mm	Aba		Espes-sura da Alma t _w , mm	Eixo X-X			Eixo Y-Y			
			Largura b _f , mm	Espes-sura t _f , mm		I _x 10 ⁶ mm ⁴	W _x 10 ³ mm ³	r _x mm	I _y 10 ⁶ mm ⁴	W _y 10 ³ mm ³	r _y mm	$\bar{x}$ mm
C380 × 74	9480	381	94	16,5	18,2	168,2	883	133,1	4,58	62,1	22,0	20,3
60	7610	381	89	16,5	13,2	145,3	763	138,2	3,84	55,5	22,5	19,76
50,4	6426	381	86	16,5	10,2	131,1	688	142,7	3,38	51,2	23,0	19,99
C310 × 45	5690	305	80	12,7	13,0	67,4	442	109,0	2,14	34,0	19,38	17,12
37	4742	305	77	12,7	9,8	59,9	393	112,5	1,861	31,1	19,81	17,12
30,8	3929	305	74	12,7	7,2	53,7	352	117,1	1,615	28,7	20,29	17,73
C250 × 45	5690	254	76	11,1	17,1	42,9	338	86,9	1,640	27,6	16,99	16,48
37	4742	254	73	11,1	13,4	38,0	299	89,4	1,399	24,4	17,17	15,67
30	3794	254	69	11,1	9,6	32,8	258	93,0	1,170	21,8	17,55	15,39
22,8	2897	254	65	11,1	6,1	28,1	221	98,3	0,949	18,29	18,11	16,10
C230 × 30	3794	229	67	10,5	11,4	25,4	222	81,8	1,007	19,29	16,31	14,81
22	2845	229	63	10,5	7,2	21,2	185,2	86,4	0,803	16,69	16,79	14,88
19,9	2542	229	61	10,5	5,9	19,94	174,2	88,4	0,733	16,03	16,97	15,27
C200 × 27,9	3555	203	64	9,9	12,4	18,31	180,4	71,6	0,824	16,60	15,21	14,35
20,5	2606	203	59	9,9	7,7	15,03	148,1	75,9	0,637	14,17	15,62	14,05
17,1	2181	203	57	9,9	5,6	13,57	133,7	79,0	0,549	12,92	15,88	14,50
C180 × 22,0	2794	178	58	9,3	10,6	11,32	127,2	63,8	0,574	12,90	14,33	13,51
18,2	2323	178	55	9,3	8,0	10,07	113,2	66,0	0,487	11,69	14,50	13,34
14,6	1852	178	53	9,3	5,3	8,86	99,6	69,1	0,403	10,26	14,76	13,74
C150 × 19,3	2471	152	54	8,7	11,1	7,24	95,3	54,1	0,437	10,67	13,34	13,06
15,6	1994	152	51	8,7	8,0	6,33	83,3	56,4	0,360	9,40	13,44	12,70
12,2	1548	152	48	8,7	5,1	5,45	71,7	59,4	0,288	8,23	13,64	13,00
C130 × 13,4	1703	127	47	8,1	8,3	3,70	58,3	46,5	0,263	7,54	12,42	12,14
10,0	1271	127	44	8,1	4,8	3,12	49,1	49,5	0,199	6,28	12,52	12,22
C100 × 10,8	1374	102	43	7,5	8,2	1,911	37,5	37,3	0,180	5,74	11,43	11,6
8,0	1026	102	40	7,5	4,7	1,602	31,4	39,6	0,133	4,69	11,40	11,6
C75 × 8,9	1135	76	40	6,9	9,0	0,862	22,7	27,4	0,127	4,47	10,57	11,5
7,4	948	76	37	6,9	6,6	0,770	20,3	28,4	0,103	3,98	10,41	11,1
6,1	781	76	35	6,9	4,3	0,691	18,18	29,7	0,082	3,43	10,26	11,1

Os perfis C são designados pela letra C seguida da altura nominal em milímetros e da massa em quilogramas por metro.

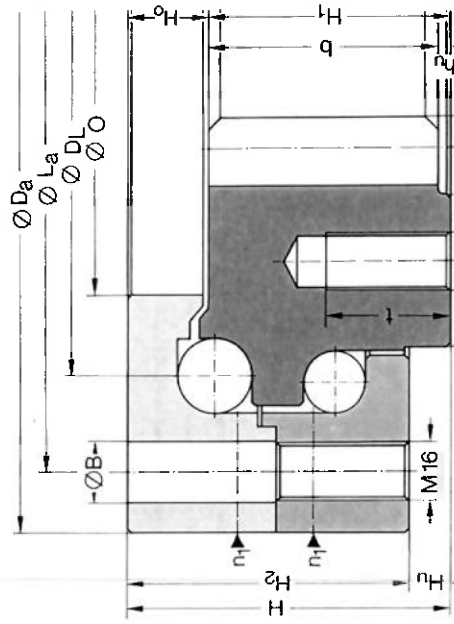
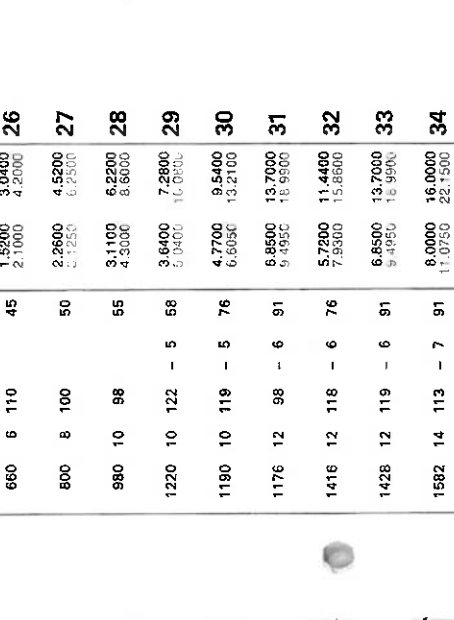
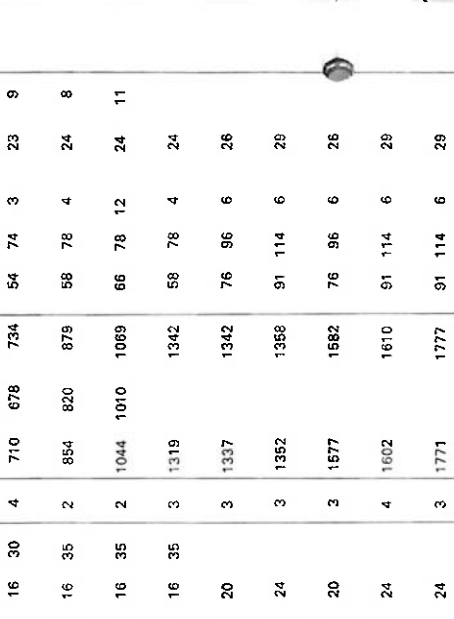
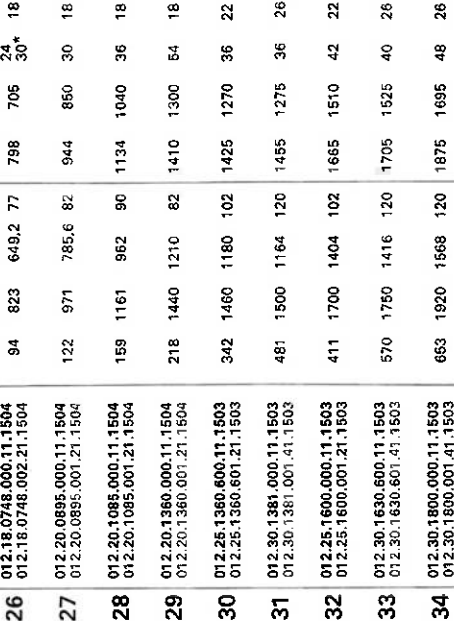
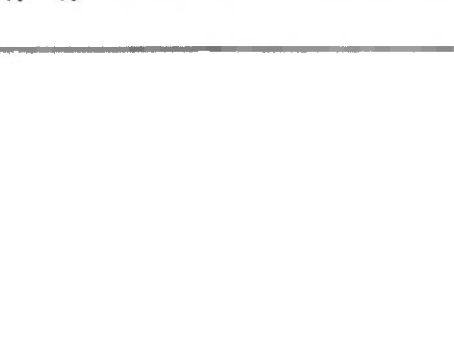


Propriedades dos Perfis de Aço Laminados – Cantoneiras de Abas Iguais

Lados e espessura, mm	Massa por metro, kg/m	Área, mm ²	Eixo X-X e Eixo Y-Y				Eixo Z-Z r mm
			I 10 ⁶ mm ⁴	W 10 ³ mm ³	r mm	x ou y mm	
L203 × 203 × 25,4	75,9	9680	37,0	259	61,8	60,2	39,6
19,0	57,9	7360	29,0	200	62,8	57,9	40,1
12,7	39,3	5000	20,2	137,0	63,6	55,6	40,4
L152 × 152 × 25,4	55,7	7100	14,78	140,4	45,6	47,2	29,7
19,0	42,7	5445	11,74	109,1	46,4	45,2	29,7
15,9	36,0	4590	10,07	92,8	46,8	43,9	30,0
12,7	29,2	3710	8,28	75,5	47,2	42,7	30,0
9,5	22,2	2800	6,41	57,8	47,8	41,7	30,2
L127 × 127 × 19,0	35,1	4480	6,53	74,2	38,2	38,6	24,8
15,9	29,8	3780	5,66	63,3	38,7	37,6	24,8
12,7	24,1	3070	4,70	51,8	39,2	36,3	25,0
9,5	18,3	2330	3,64	39,7	39,5	35,3	25,1
L102 × 102 × 19,0	27,5	3510	3,19	46,0	30,1	32,3	19,76
15,9	23,4	2970	2,77	39,3	30,5	31,2	19,79
12,7	19,0	2420	2,31	32,3	30,9	30,0	19,86
9,5	14,6	1845	1,815	24,9	31,4	29,0	20,0
6,4	9,8	1252	1,265	17,21	31,8	27,7	20,2
L89 × 89 × 12,7	16,5	2100	1,515	24,4	26,9	26,9	17,35
9,5	12,6	1600	1,195	18,85	27,3	25,7	17,45
6,4	8,6	1090	0,837	13,01	27,7	24,6	17,63
L76 × 76 × 12,7	14,0	1774	0,924	17,53	22,8	23,7	14,83
9,5	10,7	1361	0,733	13,65	23,2	22,6	14,91
6,4	7,3	929	0,516	9,46	23,6	21,4	15,04
L64 × 64 × 12,7	11,4	1452	0,512	11,86	18,78	20,5	12,37
9,5	8,7	1116	0,410	9,28	19,17	19,35	12,37
6,4	6,1	768	0,293	6,46	19,53	18,21	12,47
4,8	4,6	581	0,228	4,97	19,81	17,63	12,57
L51 × 51 × 9,5	7,0	877	0,1994	5,75	15,08	16,15	9,88
6,4	4,7	605	0,1448	4,05	15,47	15,04	9,93
3,2	2,4	312	0,0791	2,15	15,92	13,87	10,11

Bearing table KD 320

Internal gear

Load diagram number	Drawing number	Weight [kg]	Outer diameter D _a [mm]	Inner diameter D _i [mm]	Total height H [mm]	Outer bore L _s [mm]	Inner bore L _i [mm]	Number of holes per pitch circle n	Bore hole diameter B [mm]	Size of balls M [mm]	Depth of thread t [mm]	Number of grease points n ₁ per track	O [mm]	Z ₀ [mm]	U ₀ [mm]	Height of inner ring H ₁ [mm]	Height of outer ring H ₂ [mm]	H ₀ [mm]	h ₀ [mm]	Gear p.c.d. d [mm]				Module m [mm]	Number of teeth z	Profile correction x · m [mm]	Gear face width b [mm]	Permissible tangential tooth load (normal) [10 ³ N]	Permissible tangential tooth load (maximum) [10 ³ N]	Load diagram number	
26	012.18.0748.000.11.1504 012.18.0748.002.21.1504	94	823	649,2	77	798	705	24 30*	18	16	30	4	710	678	734	54	74	3	23	9	660	6	110		45	1.5200 2.1000	3.0400 4.2000	26			
27	012.20.0895.000.11.1504 012.20.0895.001.21.1504	122	971	785,6	82	944	850	30	18	16	35	2	854	820	879	58	78	4	24	8	800	8	100		50	2.2600 2.7250	4.5200 6.3500	27			
28	012.20.1085.000.11.1504 012.20.1085.001.21.1504	159	1161	962	90	1134	1040	36	18	16	35	2	1044	1010	1069	66	78	12	24	11	980	10	98		55	3.1100 4.3000	6.2200 8.6000	28			
29	012.20.1360.000.11.1504 012.20.1360.001.21.1504	218	1440	1210	82	1410	1300	54	18	16	35	3	1319	1342	1342	58	78	4	24		1220	10	122	- 5	58	3.6400 5.0400	7.2800 10.0800	29			
30	012.25.1360.600.11.1503 012.25.1360.601.21.1503	342	1480	1180	102	1425	1270	36	22	20		3	1337	1342	1342	76	96	6	26		1190	10	119	- 5	76	4.7700 6.6050	9.5400 13.2100	30			
31	012.30.1381.000.11.1503 012.30.1381.001.41.1503	481	1500	1164	120	1455	1275	36	26	24		3	1352	1358	1358	91	114	6	29		1176	12	98	- 6	91	6.8500 9.4950	13.7000 18.9900	31			
32	012.25.1600.000.11.1503 012.25.1600.001.21.1503	411	1700	1404	102	1665	1510	42	22	20		3	1577	1582	1582	76	96	6	26		1416	12	118	- 6	76	5.7200 7.9300	11.4400 15.8600	32			
33	012.30.1630.600.11.1503 012.30.1630.601.41.1503	570	1750	1416	120	1705	1525	40	26	24		4	1602	1610	1610	91	114	6	29		1428	12	119	- 6	91	6.8500 9.4950	13.7000 18.9900	33			
34	012.30.1800.000.11.1503 012.30.1800.001.41.1503	663	1920	1568	120	1875	1695	48	26	24		3	1771	1777	1777	91	114	6	29		1582	14	113	- 7	91	8.0000 11.0750	16.0000 22.1500	34			
35	012.35.1960.400.11.1503 012.35.1960.401.41.1503	863	2090	1722	138	2045	1850	52	26	24		4	1926	1931	1931	104	132	6	34		1736	14	124	- 7	104	9.1400 12.6600	18.2800 25.3200	35			
36	012.30.1995.000.11.1503 012.30.1995.001.41.1503	728	2115	1764	120	2070	1890	48	26	24		4	1966	1972	1972	91	114	6	29		1778	14	127	- 7	91	8.0000 11.0750	16.0000 22.1500	36			
37	012.40.2199.300.11.1502 012.40.2199.301.41.1502	1267	2390	1920	156	2295	2065	52	33	30		4	2168	2164	2164	117	150	6	39		1936	16	121	- 8	117	11.7500 16.2750	23.5000 37.5500	37			
38	012.30.2330.000.11.1503 012.30.2330.001.41.1503	852	2450	2100	120	2405	2225	54	26	24		4	2301	2307	2307	91	114	6	29		2114	14	151	- 7	91	8.0000 11.0750	16.0000 22.1500	38			
39	012.35.2500.000.11.1503 012.35.2500.001.41.1503	1134	2630	2254	138	2585	2385	66	26	24		5	2466	2471	2471	104	132	6	34		2288	14	162	- 7	104	9.1400 12.6600	18.2800 25.3200	39			
40	012.30.2538.000.11.1503 012.30.2538.001.41.1503	978	2660	2288	120	2615	2430	60	26	24		6	2509	2515	2515	91	114	6	29		2304	16	144	- 8	91	9.1400 12.6600	18.2800 25.3200	40			
41	012.50.2559.200.39.1502 012.50.2559.201.49.1502	1940	2725	2250	185	2670	2410	60	33	30		6	2522	2524	2524	138	178	7	47		2288	18	126	- 9	138	15.6000 21.6000	31.2000 42.2000	41			
42	012.40.2622.400.11.1502 012.40.2622.401.41.1502	1528	2770	2336	156	2715	2485	60	33	30		6	2580	2587	2587	117	150	6	39		2352	16	147	- 8	117	11.7500 16.2750	23.5000 37.5500	42			
43	012.35.2690.000.11.1503 012.35.2690.001.41.1503	1250	2820	2432	138	2775	2580	72	26	24		6	2656	2661	2661	104	132	6	34		2448	16	153	- 8	104	10.4500 14.4700	20.9000 28.9400	43			
44	012.40.2950.000.11.1502 012.40.2950.001.41.1502	1799	3100	2646	156	3045	2815	60	33	30		6	2918	2915	2915	117	150	6	39		2664	18	148	- 9	117	13.2250 18.3100	26.4500 36.6200	44			
45	012.45.2940.000.19.1502 012.45.2940.001.49.1502	1996	3100	2656	175	3045	2800	66	33	30		6	2903	2900	2900	132	168	7	43		2672	16	167	- 8	132	13.2600 18.3600	26.5200 36.7300	45			
46	012.40.3300.000.11.1502 012.40.3300.001.41.1502	1975	3450	3006	156	3395	3165	66	33	30		6	3268	3265	3265	117	150	6	39		3024	18	168	- 9	117	13.2250 18.3100	26.4500 36.6200	46			
47	012.45.3400.100.19.1502 012.45.3400.101.49.1502	2490	3560	3080	175	3505	3260	72	33	30		5	3363	3358	3358	132	168	7	43		3100	20	155	-10	132	16.5800 22.9550	33.1600 45.9100	47			
48	012.50.3520.000.39.1502 012.50.3520.001.49.1502	2722	3685	3200	185	3630	3370	76	33	30		6	3482	3485	3485	138	178	7	47		3220	20	161	-10	138	17.3300 24.0000	34.6600 48.0000	48			
49	012.50.3739.000.39.1502 012.50.3739.001.49.1502	2894	3905	3420	185	3850	3590	84	33	30		6	3701	3704	3704	138	178	7	47		3440	20	172	-10	138	17.3300 24.0000	34.6600 48.0000	49			
50	012.50.3839.000.39.1502 012.50.3839.001.49.1502	2978	4005	3520	185	3950	3690	84	33	30		6	3801	3804	3804	138	178	7	47		3540	20	177	-10	138	17.3300 24.0000	34.6600 48.0000	50			

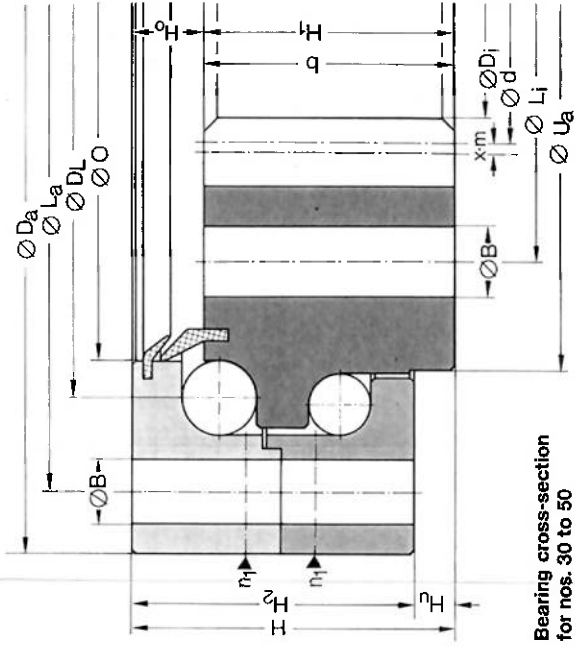
Black numbers
= gear ring normalized
Red numbers
= gear ring hardened and tempered

Larger diameters
on request

* 24 on L
30 on L

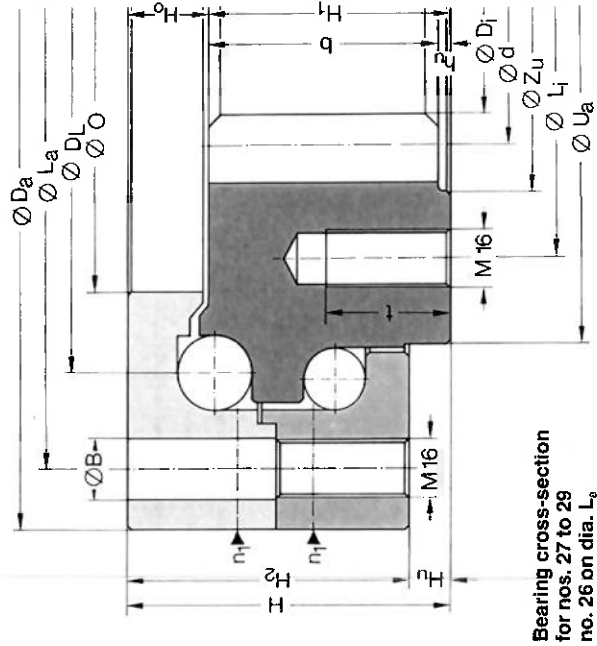
Black numbers
= gear ring normalized
Red numbers
= gear ring hardened and tempered

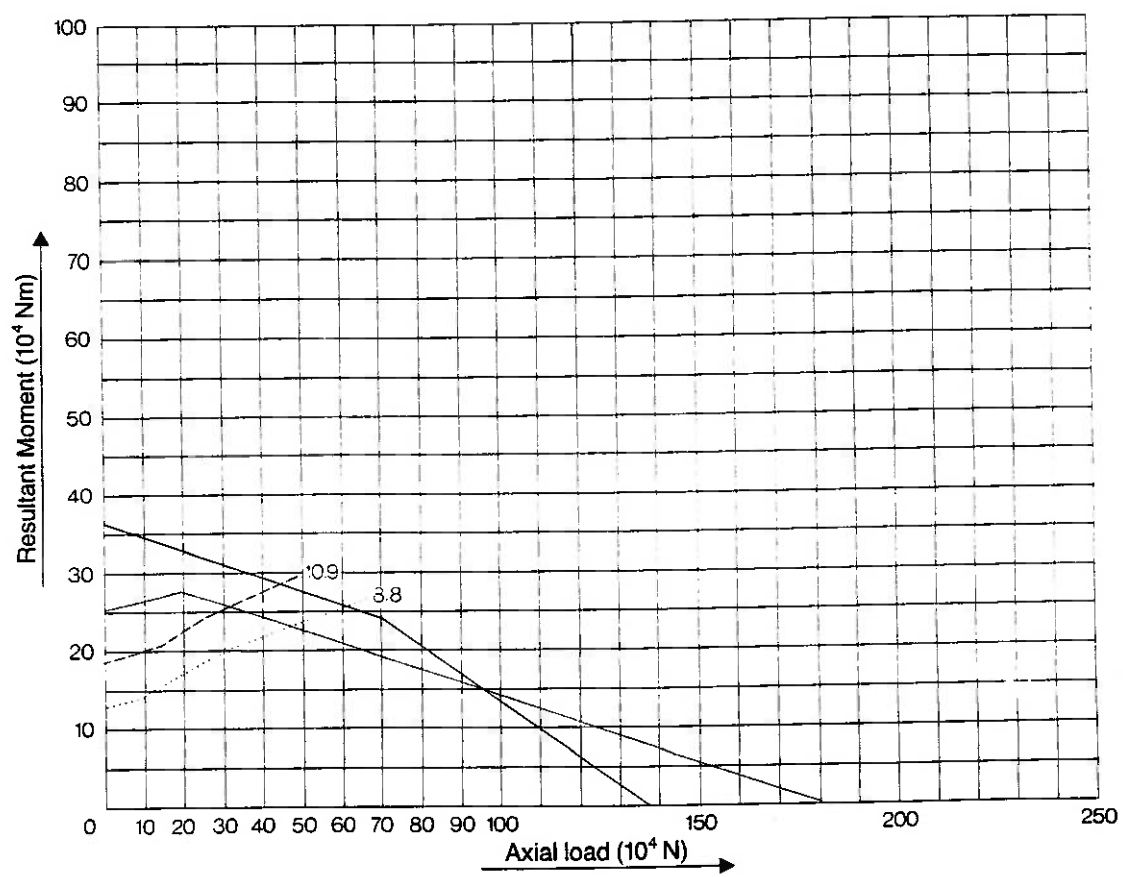
Bearing cross-section
for nos. 30 to 50



► Grease nipples AM 10 x 1 DIN 71412 equi-spaced or unequally spaced

Bearing cross-section
for nos. 27 to 29
no. 26 on dia. L₀
through-holes dia. 18;
without thread





LARGE DIAMETER WELDED STEEL PIPE

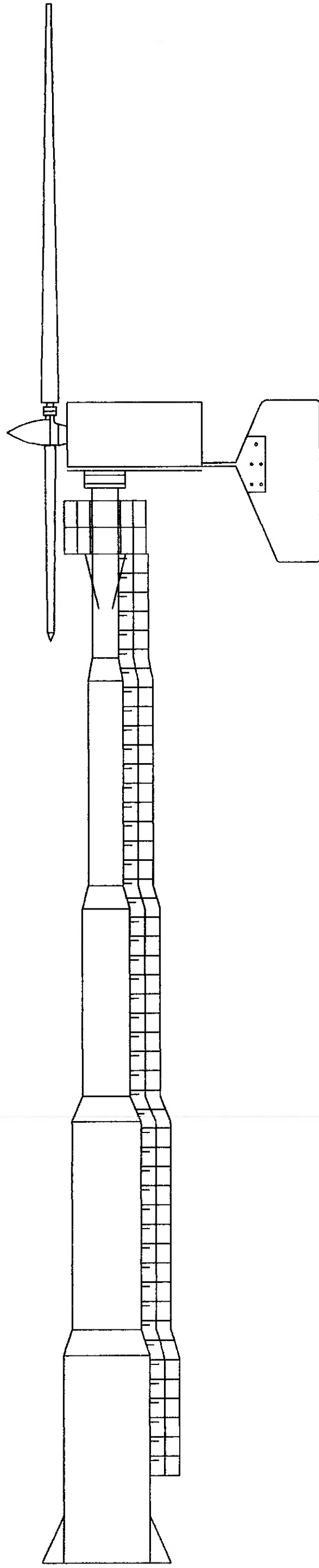
Outside Diameter		Wall Thickness																mm in	
mm	in	5.16	5.56	6.35	7.14	7.92	8.74	9.52	10.3	11.1	11.9	12.7	15.9	19.1	22.2	25.4	28.6		
406.4	16	.203	.219	.250	.281	.312	.344	.375	.406	.438	.469	.500	.625	.750	.875	1.000	1.125	1.250	1.375
457.2	18																	1.500	1.625
508.0	20																	1.750	1.875
558.8	22																		
609.6	24																		
660.4	26																		
711.2	28																		
762.0	30																		
812.8	32																		
863.6	34																		
914.4	36																		
965.2	38																		
1016.0	40																		
1066.8	42																		
1117.6	44																		
1168.4	46																		
1219.2	48																		
1320.8	52																		
1422.4	56																		
1524.0	60																		
1625.6	64																		
1727.2	68																		
1828.8	72																		
1930.4	76																		
2032.0	80																		
2235.2	88																		
2438.4	96																		
2641.6	104																		
2844.8	112																		
3048.0	120																		
3200.0	126																		

Note: Sizes not listed in this table are also available upon request.

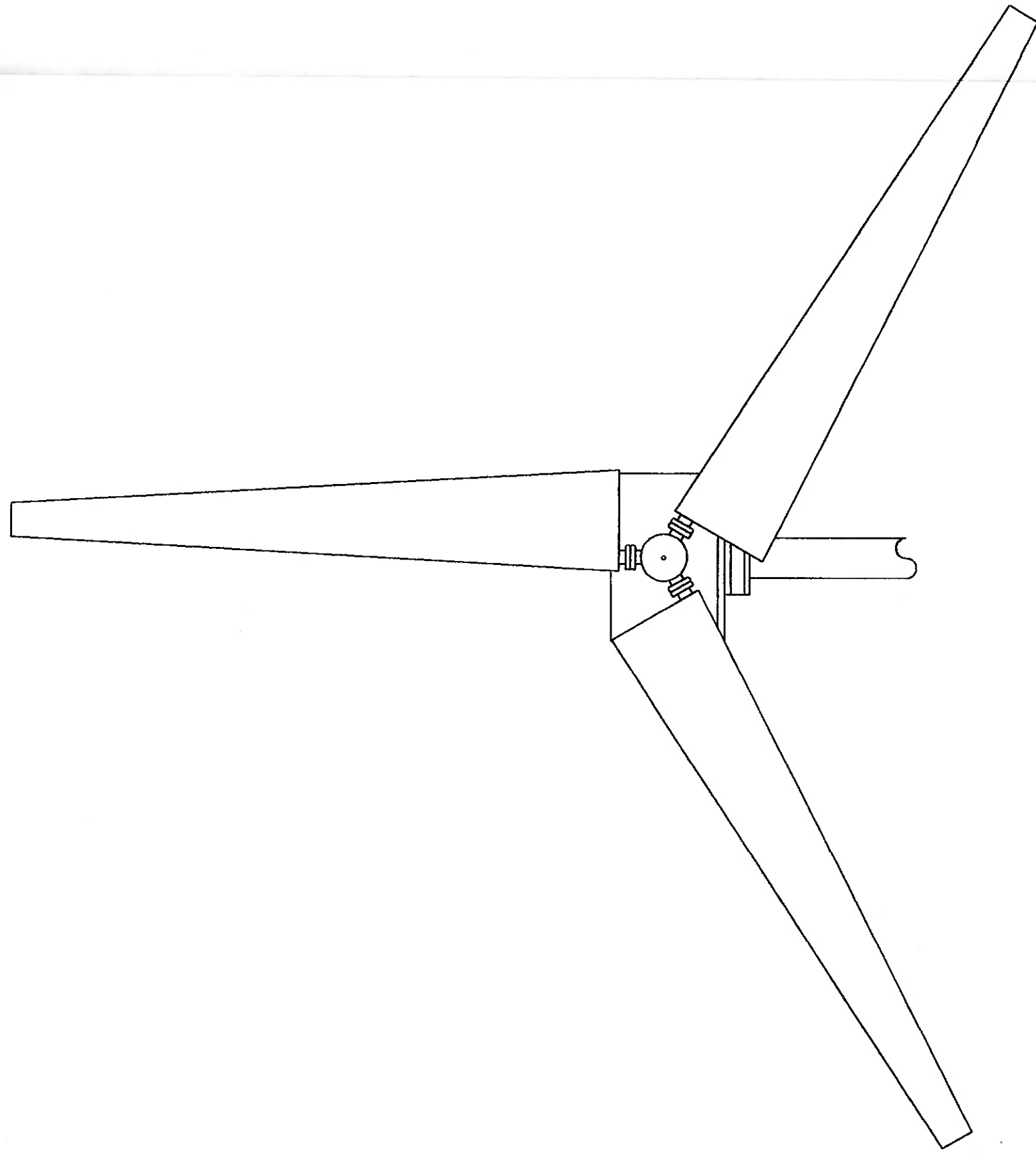
- ANEXO 5-

DESENHOS

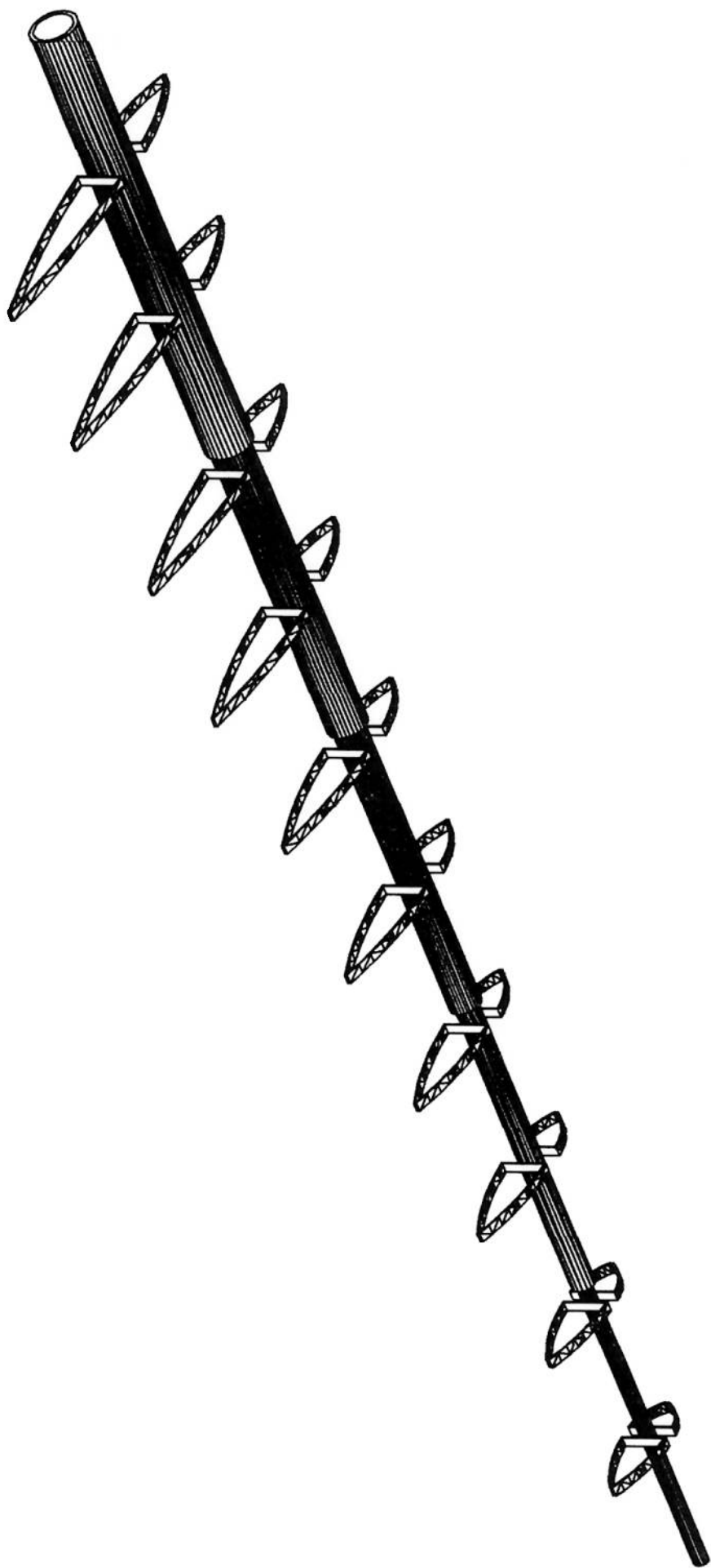
- **Vista Lateral da Turbina Eólica**
- **Vista frontal do Rotor**
- **Vistas Isométricas da Estrutura da Pá**
- **Vistas Ortogonais do Cubo de Fixação do Rotor ao Eixo**
- **Vistas Ortogonais do Mancal de Escora**
- **Vistas Ortogonais do Multiplicador de Velocidades**
- **Vista Frontal do Freio**
- **Vista Frontal do Gerador**
- **Vista Isométrica da Base do Conjunto de Potência**

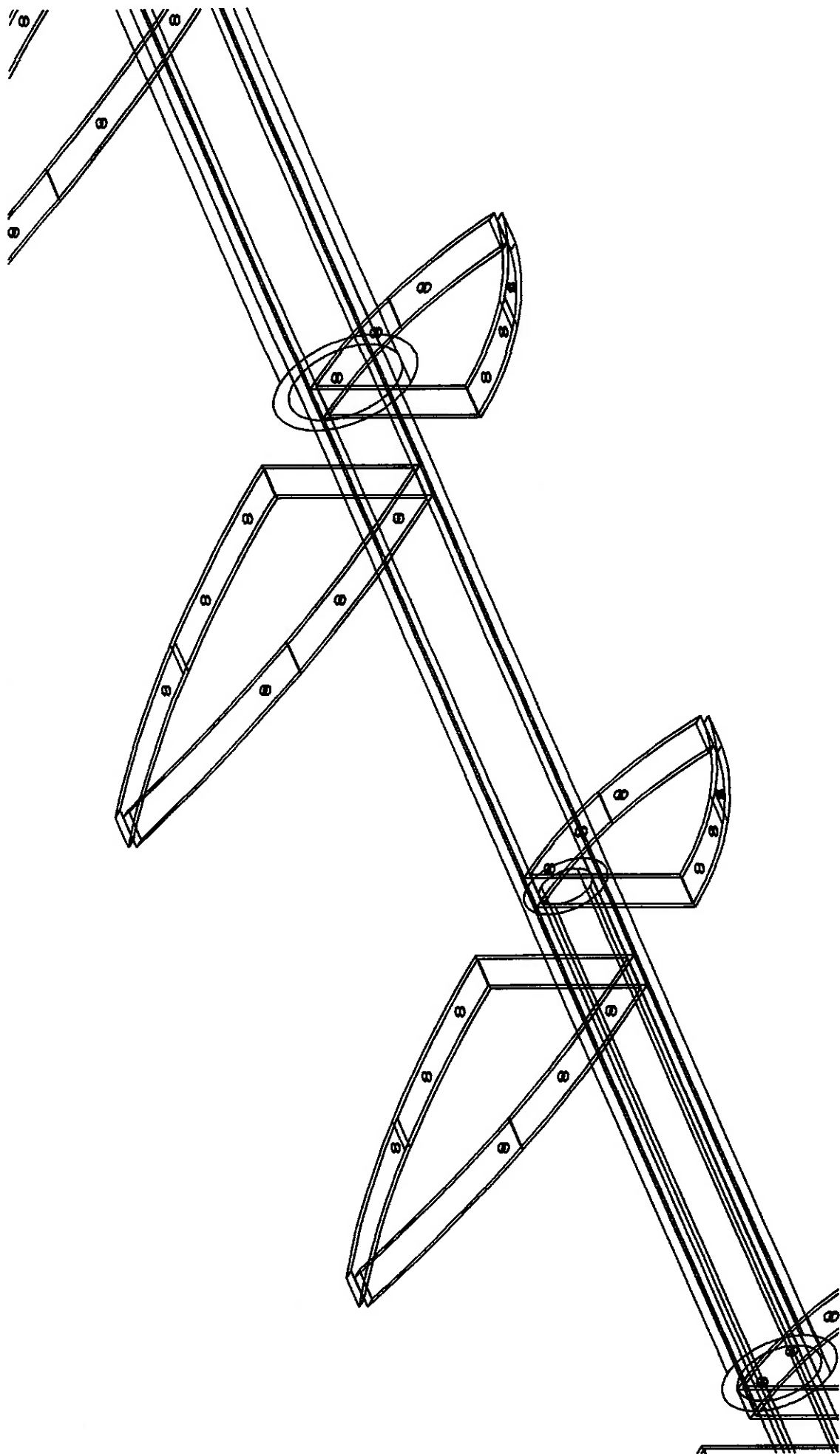


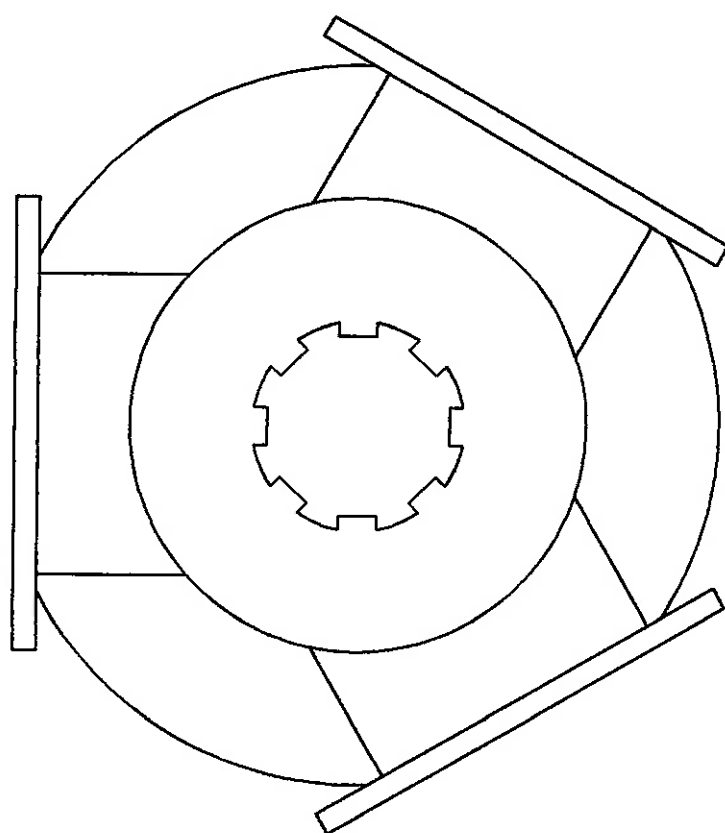
escala 1:100



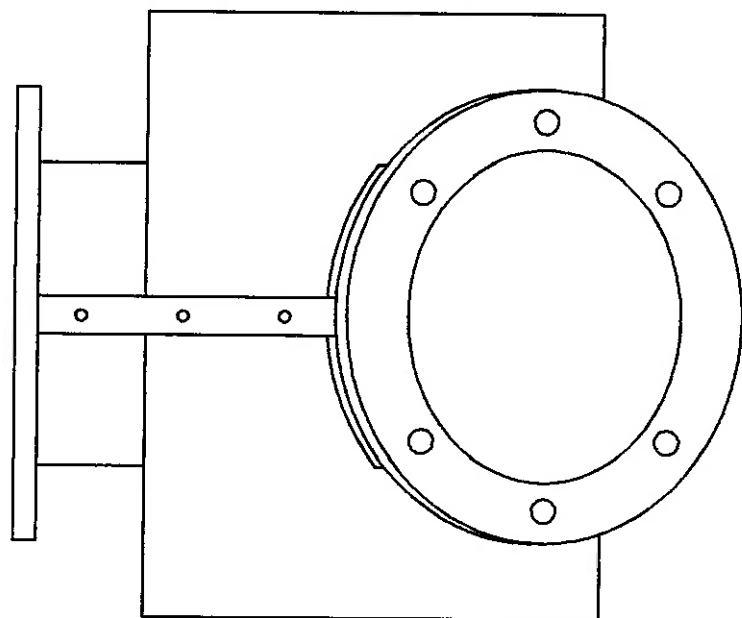
escala 1:75



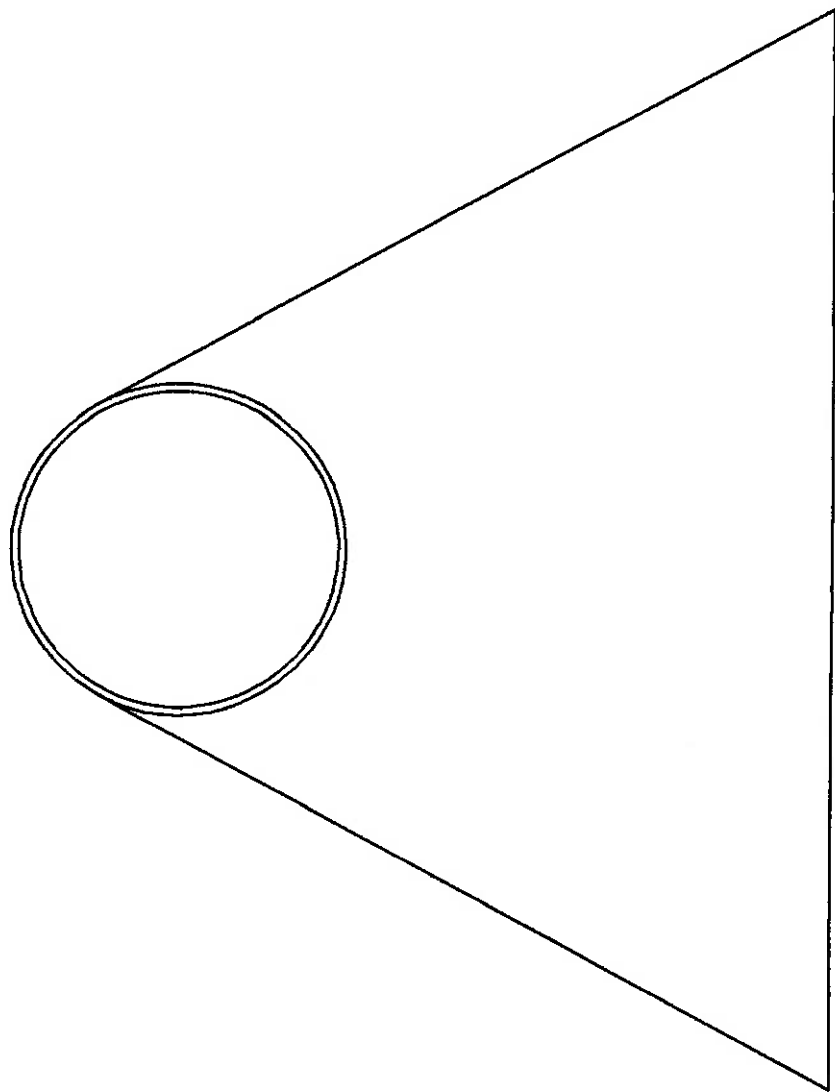




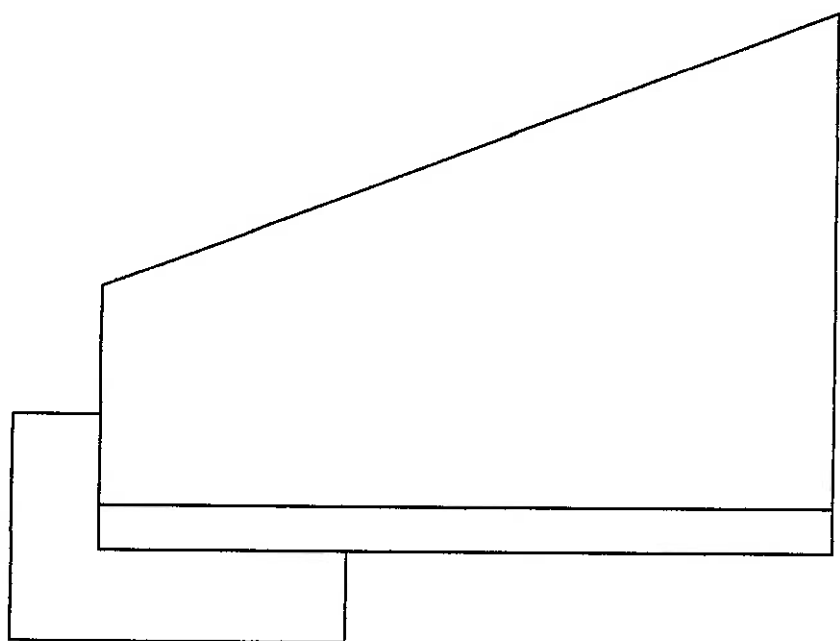
escala 1:5



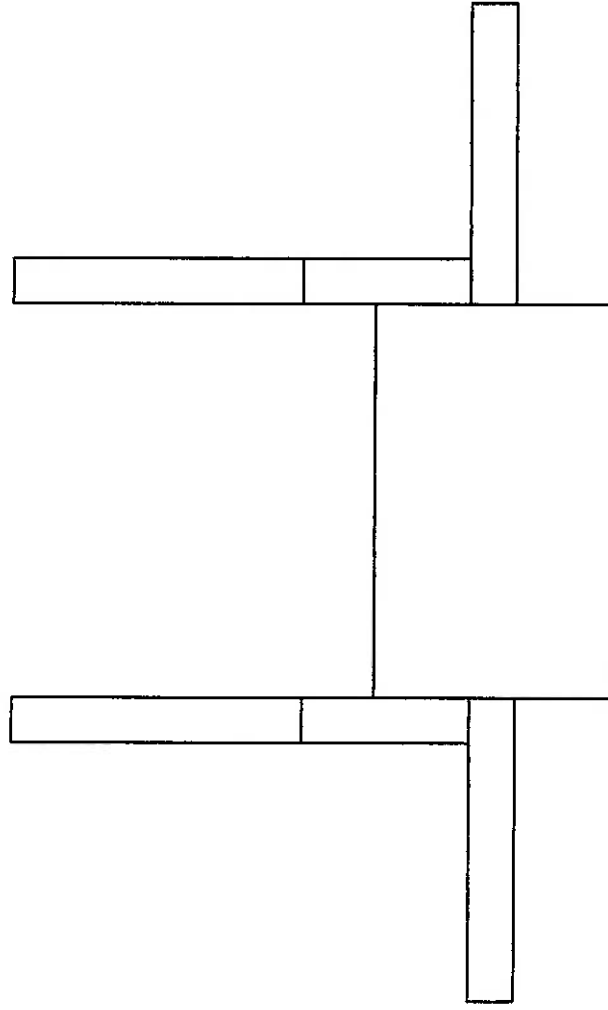
escala 1:5



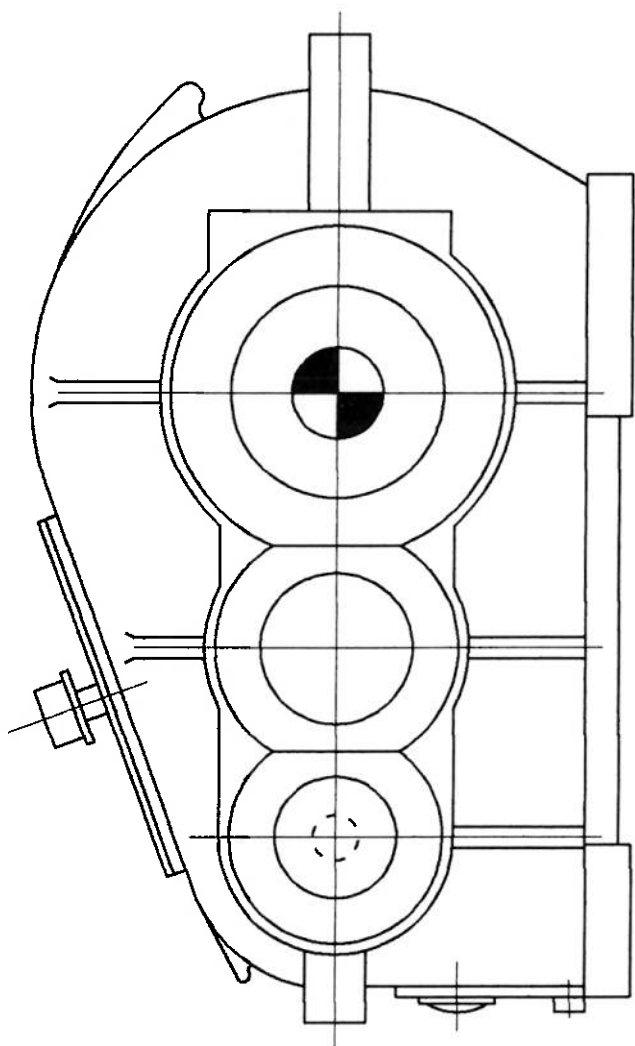
escala 1:5



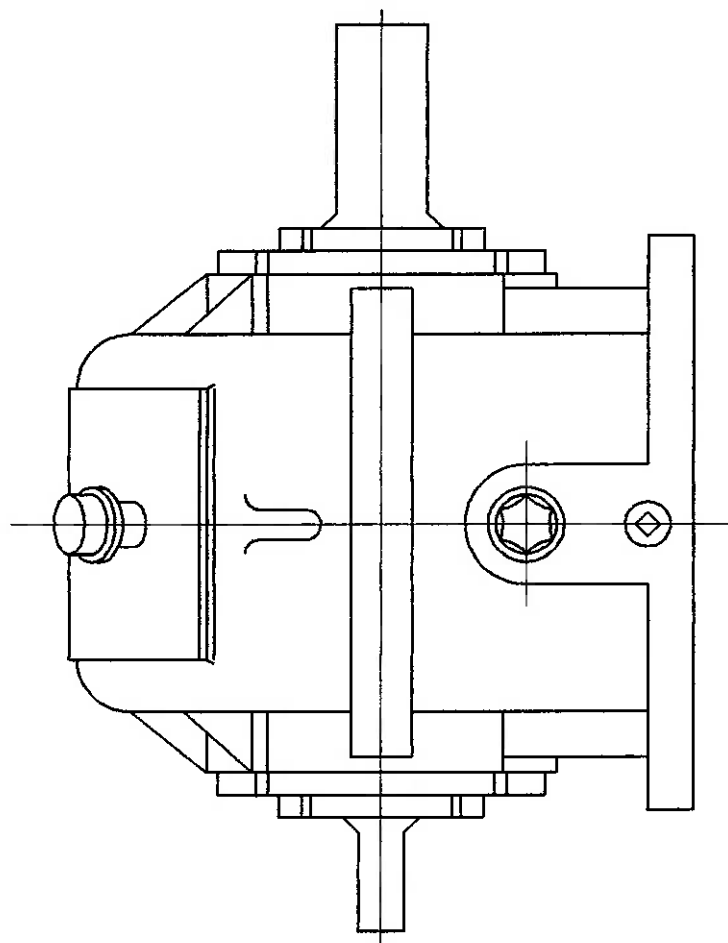
escala 1:5



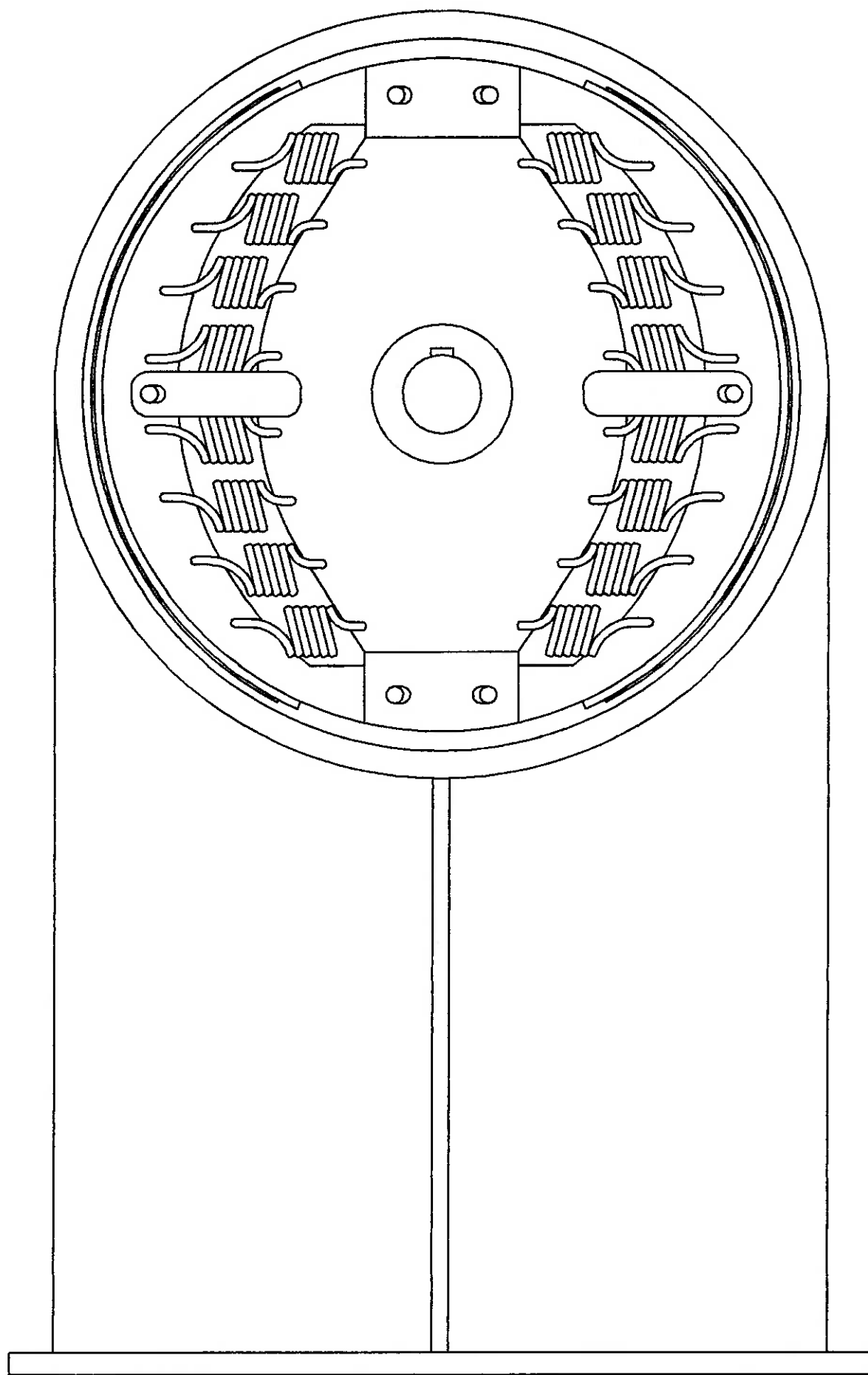
escala 1:5



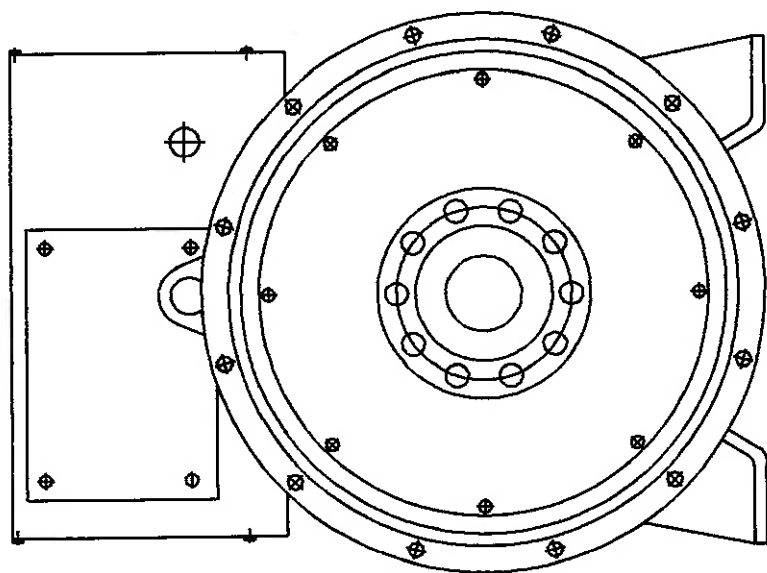
escala 1:5



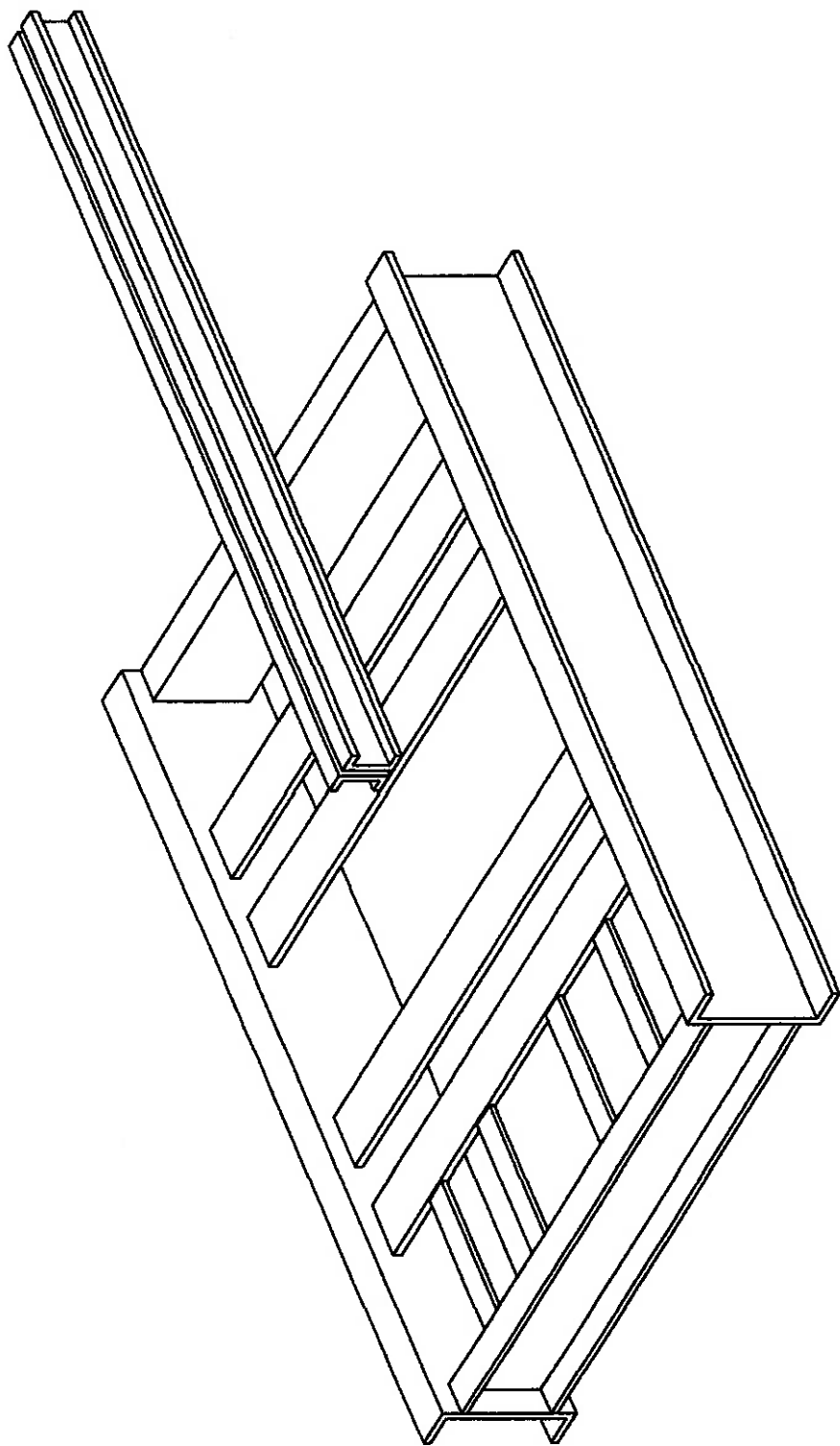
escala 1:5



escala 1:5



escala 1:5



Seleção do tipo de rolamento

Esta matriz é apenas um guia orientativo, sendo que em cada caso individual deve-se fazer uma seleção mais criteriosa tomando como referência as informações contidas nas pág. precedentes ou as informações detalhadas existentes nos textos que antecedem as tabelas de cada rolamento. Se várias construções de um tipo de rolamento forem mostradas uma ao lado da outra, as informações relevantes são indicadas pela mesma letra utilizada para identificar a construção.

Símbolos:
- - - excelente
+ - - bom
+ - - regular
- - - ruim
- - - insatisfatório
↑ - - um sentido
↑↓ - - ambos os sentidos

Tipo de rolamento

Rolamentos rígidos de esferas



Rolamentos autocompensadores de esferas



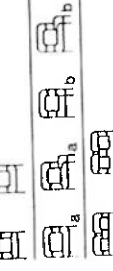
Rolamentos de esferas de contato angular (dispostos em O)



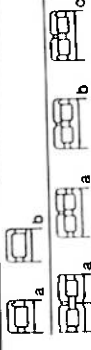
Rolamentos de esferas de quatro pontos de contato



Rolamentos de rolos cilíndricos



Rolamentos de rolos cilíndricos com o máximo número de rolos



Rolamentos de agulhas



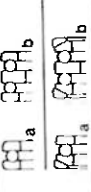
Rolamentos autocompensadores de rolos



Rolamentos de rolos cônicos (dispostos em X)



Rolamentos axiais de esferas



Rolamentos axiais de rolos cilíndricos



Rolamentos axiais de agulhas



Rolamentos axiais auto-compensadores de rolos



Tipos de rolamentos - construções e características

Características Rolamento adequado para

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

Construção

deslocamento axial possível no rolamento

arranjos com rolamentos livres

arranjos com rolamentos bloqueados

compensação de erros de alinhamento (inicial)

compensação de desalinhamentos em operação

baixa altura

funcionamento silencioso

alta rigidez

alta precisão de giro

alta velocidade

carga excêntrica

carga combinada

carga puramente axial

carga puramente radial

separável

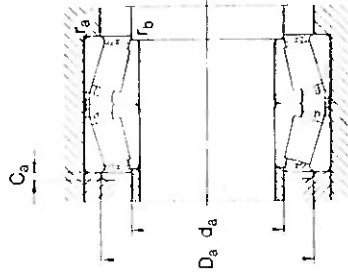
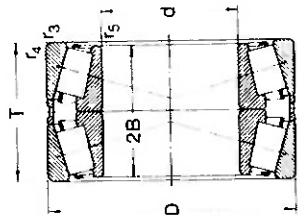
não separável

auto-alinhante

placas de proteção ou de vedação

luro cônico

Rolamentos de rolos cônicos,
 uma carreira, dispostos em X
 d 110-280 mm



Dimensões principais		Capacidades de carga dinâm.			Carga limite de fadiga P_u	Velocidades de referência Lubrificação graxa óleo	Massa	Designação
d	D	T	C	C ₀				
mm								
N								
110	170	75	402 000	780 000	85 000	1 800	2 200	32022 X/DF
	200	112	682 000	1 140 000	122 000	1 400	1 900	32222/DF
	240	126	781 000	1 160 000	125 000	1 000	1 500	31322 X/DF
120	180	75	418 000	830 000	90 000	1 300	1 800	32034 X/DF
	215	87	583 000	915 000	102 000	1 300	1 800	32234/DF
	215	123	792 000	1 400 000	146 000	1 300	1 800	32244/DF
	260	136	935 000	1 400 000	146 000	950	1 400	31324 X/DF
130	200	90	530 000	1 080 000	110 000	1 300	1 800	32026 X/DF
	230	135,5	952 000	1 660 000	170 000	1 100	1 600	32226/DF
	280	144	1 050 000	1 560 000	163 000	900	1 300	31326 X/DF
140	210	90	561 000	1 160 000	118 000	1 200	1 700	32028 X/DF
	250	143,5	1 100 000	2 000 000	200 000	1 000	1 500	32228/DF
	300	154	1 190 000	1 800 000	176 000	850	1 200	31328 X/DF
150	225	96	644 000	1 320 000	132 000	1 100	1 600	32030 X/DF
	270	98	737 000	1 120 000	114 000	900	1 300	32030/DF
	270	154	1 250 000	2 280 000	224 000	900	1 300	32230/DF
	320	164	1 340 000	2 040 000	200 000	800	1 100	31330 X/DF
160	240	102	737 000	1 560 000	156 000	1 000	1 500	32032 X/DF
180	220	128	1 100 000	2 320 000	280 000	1 300	1 900	32036 X/DF
	320	182	1 720 000	3 250 000	300 000	800	1 100	32236/DF
190	290	128	1 060 000	2 400 000	224 000	850	1 200	32038 X/DF
200	310	140	1 280 000	2 750 000	255 000	800	1 100	32040 X/DF
220	340	152	1 540 000	3 350 000	300 000	750	1 000	32044 X/DF
240	360	152	1 570 000	3 550 000	315 000	700	950	32048 X/DF
280	420	174	2 050 000	4 750 000	400 000	600	800	32056 X/DF

Outras dimensões				Dimensões de encostos				Fatores de cálculo				
d	2B	r_{a1} mm	r_{a2} mm	d_a mm	D_a mm	C_a mm	r_{b1} mm	r_{b2} mm	e	Y_1	Y_2	Y_0
mm												
110	76	2	0,6	123	152	160	7	2	0,4	0,43	1,6	2,3
	106	2,5	1	127	170	188	6	2	0,8	0,43	1,6	2,3
	114	3	1	135	188	226	7	2,5	0,8	0,83	0,81	1,2
120	76	2	0,6	132	161	170	7	2	0,4	0,46	1,5	2,2
	80	2,5	1	141	187	203	6	2	0,8	0,43	1,6	2,3
	116	2,5	1	137	181	203	7	2	0,8	0,43	1,6	2,3
	124	3	1	145	203	246	9	2,5	0,8	0,83	0,81	1,2
130	90	2	0,6	144	178	190	7	2	0,4	0,43	1,6	2,3
	128	3	1	146	193	216	7	2,5	0,8	0,43	1,6	2,3
	132	4	1,5	157	218	262	8	3	1	0,83	0,81	1,2
140	90	2	0,6	153	187	200	7	2	0,4	0,46	1,5	2,2
	136	3	1	159	210	236	8	2,5	0,8	0,43	1,6	2,3
	140	4	1,5	169	235	282	9	3	1	0,83	0,81	1,2
150	96	2,5	1	164	200	213	8	2	0,8	0,46	1,5	2,2
	90	3	1	175	234	256	9	2,5	0,8	0,43	1,6	2,3
	146	3	1	171	226	256	8	2,5	0,8	0,43	1,6	2,3
	150	4	1,5	181	251	302	9	3	1	0,83	0,81	1,2
160	102	2,5	1	175	213	228	8	2	0,8	0,46	1,5	2,2
180	128	2,5	1	199	247	268	10	2	0,8	0,43	1,6	2,3
	172	4	1,1	204	267	302	10	3	1	0,46	1,5	2,2
190	128	2,5	1	210	257	278	10	2	0,8	0,44	1,5	2,3
200	140	2,5	1	222	273	298	11	2	0,8	0,43	1,6	2,3
220	152	3	1	244	300	326	12	2,5	0,8	0,43	1,6	2,3
240	152	3	1	262	318	346	12	2,5	0,8	0,46	1,5	2,2
260	174	4	1,5	305	370	402	14	3	1	0,46	1,5	2,2